

Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de materia prima y energía

Sara Ojeda Benitez, Samantha E. Cruz Sotelo
Paul Taboada González, Quetzalli Aguilar Virgen
Coordinadores



Memorias

4° Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos
4° Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos

*Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como
fuente de materia prima y energía*





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Dr. Felipe Cuamea Velázquez
Rector

Lic. Ricardo Dagnino Moreno
Secretario General

Dr. Oscar Roberto López Bonilla
Vicerrector Campus Ensenada

M.C. Miguel Ángel Martínez Romero
Vicerrector Campus Mexicali

Dr. José David Ledezma Torres
Vicerrector Campus Tijuana

Dr. Hugo Edgardo Méndez Fierros
Secretario de Rectoría e Imagen Institucional

Dr. Benjamin Valdez Salas
Director del Instituto de Ingeniería

UNIVERSIDADES COLABORADORAS



ORGANIZADORES



PATROCINADORES



Los trabajos incluidos fueron arbitrados por pares académicos, se privilegia con el aval de la institución editora

4 Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos y 4 Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos. México D. F.

Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de materia prima y energía / S. Ojeda-Benítez ...[et al.] (coordinadores): Universidad Autónoma de Baja California, (2011).
ISBN 978-607-607-015-4

© 2011

Universidad Autónoma de Baja California

<http://www.uabc.mx>

ISBN: 978-607-607-015-4

Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indirecta del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización por escrito de los editores. En términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y, en su caso, de los tratados internacionales aplicables

Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de materia prima y energía

Sara Ojeda Benítez

Samantha Cruz Sotelo

Paul Adolfo Taboada González

Quetzalli Aguilar Virgen

Coordinadores

MEMORIAS



**Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos
Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos**



Presentación

La Red de Ingeniería de Saneamiento Ambiental (REDISA) nació en el año 2003 con el financiamiento de la Agencia Internacional de Cooperación Internacional (AECI). A partir del año 2008, la REDISA se vio apoyada por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

El objetivo de la red es configurar un espacio común, en el que sus miembros puedan compartir su experiencia, entablar colaboraciones, promover el intercambio de estudiantes y profesores y fomentar la propuesta de soluciones multidisciplinarias en la gestión de los residuos sólidos. El ámbito de trabajo de REDISA es principalmente la gestión sostenible de los residuos, entendiendo por ello el diseño de su recolección, tecnologías de tratamiento y valorización, diseño de vertederos y diseño de programas de integración social de los recicladores informales.

REDISA está formada por una amplia gama de universidades/centros de investigación: Universitat Jaume I (Coordinación general), Universidad Politécnica de Madrid y Universidad de Cantabria, de España; Universidad del Norte (Colombia); Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile); Universidad Nacional de Cuyo (Argentina); Universidad Federal de Paraíba (Brasil); Universidad de los Andes (Venezuela); el bloque en México incluye a la Universidad Autónoma de Baja California, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el Instituto Politécnico Nacional y el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social además de la Universidad Autónoma Metropolitana. En la actualidad un total de 51 investigadores son miembros de REDISA.

Conscientes de las particularidades de la gestión de residuos sólidos en Iberoamérica, anualmente se organiza el Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos (SIIR), en el que se suelen presentar más de 100 trabajos, publicados en actas con ISBN, y cuyo número de asistentes oscila entre 200 y 350.

El primero Simposio se llevó a cabo en julio de 2008 en Castellón, España, organizado por la Universitat Jaume I, con una asistencia de 280 personas. El segundo simposio se realizó en Barranquilla, Colombia organizado por la Universidad del Norte con una asistencia de 300 participantes los dos primeros simposios se organizaron bajo el lema “La gestión sostenible de los residuos”. En el 2010 se llevó a cabo el tercer simposio en Joao Pessoa Brasil con la unificación de dos eventos organizado por la Universidad Federal de Paraíba y la Asociación Brasileña de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. En 2011 se han unificado el Simposio Iberoamericano y el Encuentro Nacional de Expertos en Residuos, este año le tocó a la Universidad Autónoma de Baja California coordinar la organización del evento académico en el que la UAM ha abierto sus instalaciones al fungir como sede. Este evento se organiza bajo el lema “Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de materias primas y energía”.

Dra. Sara Ojeda Benítez

Presidenta del comité técnico-científico

Representante de REDISA capítulo México

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Análisis de la generación y composición de los residuos urbanos en las ciudades españolas	1
Caracterização do lodo residual das lagoas de lodo da estação de tratamento de água – estudo de caso: ETA – Gramame	8
Caracterización de lámparas fluorescentes compactas usadas	15
Caracterización de los residuos sólidos municipales en el sector “B” del ITVH.....	21
Caracterización de residuos sólidos en una IES; el caso del ITMexicali	25
Caracterización de residuos sólidos domiciliarios en Quintana Roo	31
Caracterización de residuos sólidos en la industria cerámica y su relación con las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs)	36
Caracterización de residuos sólidos generados por el sector comercial de Mexicali, B.C.	42
Caracterización de sedimentos procedentes de cauce artificial contaminado para definir su disposición final	48
Caracterización del contenido metálico y del potencial de generación de ácido de escombreras antiguas originadas por la actividad carbonífera en Río Turbio, Santa Cruz, Argentina.....	54
Caracterización y cuantificación de subproductos de residuos sólidos en las playas del sur de Costa Maya, Quintana Roo	60
Comparación del manejo de residuos en la UTL y UPIIG IPN	64
Determinación de la influencia del factor “nivel de renta” en la eficiencia de la recogida selectiva de residuos urbanos. Caso de estudio Castellón de la Plana (España)	70
Disposición temporal de residuos sólidos en una institución educativa; propuesta de almacenaje eficiente	76
El consumo y la generación de residuos sólidos: una problemática ambiental	81
El efecto de los residuos de la industria de la construcción y demolición en la degradación de los residuos sólidos urbanos	86
Estudio comparativo de la composición de residuos sólidos urbanos en dos sitios de disposición afines	90
Modelos suaves para el análisis de la gestión de residuos biológico infecciosos generados en el hogar.....	95
Situación de la gestión de los residuos de construcción y demolición en Mendoza. Estimación de la generación con objetivos de planificación regional.....	100
Tasa de generación y variación en cantidad de distintas corrientes de residuos urbanos en comunidades de 10.000 a 200.000 habitantes	106

GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

Actitud ante la recogida selectiva de biorresiduos en un municipio de España.....	112

Análisis de la eficiencia de las plantas de selección de residuos sólidos urbanos del Distrito Federal	117
Análisis de la problemática en la prestación del servicio público de limpia en el municipio de Toluca, Estado de México	121
Análisis de la situación actual de la gestión de la categoría 7 juguetes) de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en España.....	127
Ciudades mexicanas y su manejo de residuos.....	133
Comparación de las prácticas de manejo de los celulares al final de su vida útil entre México y España.....	139
Comparación de métodos de optimización de rutas en la recogida de residuos sólidos urbanos aplicado a Castellón de la Plana.....	145
Derecho ambiental y remediación de sitios contaminados, hacia una integral instrumentación de su valorización.....	151
Directrices para la gestión de residuos sólidos urbanos en el área oeste de Godoy Cruz.....	157
Elementos necesarios para una gestión eficiente de desechos peligros en laboratorios de investigación y docencia en Venezuela	163
Estrategias de gestión sustentable para el aprovechamiento de biogás del relleno sanitario Bordo Poniente.....	169
Estrategia para el manejo de residuos sólidos en una comunidad rural de México	175
Estrategia regional de gestión de residuos. Caso: Área Metropolitana de Barranquilla (Colombia).....	181
Evaluación de alternativas para el manejo de residuos sólidos ordinarios en la ciudad de Cartagena de Indias mediante la metodología del análisis del ciclo de vida	187
Guía de identificación e incompatibilidad de residuos químicos peligrosos generados en escuelas.....	193
Indicadores para construir un modelo de evaluación de programas de manejo de residuos sólidos municipales.....	198
Identificación de la problemática de operación (operatividad) de la NOM-054-SEMARNAT-1993 y sus posibles soluciones	204
La distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la frecuencia de separación de residuos urbanos	209
Manejo de residuos sólidos domiciliarios en un sector vulnerable del Distrito de Santa Marta, Magdalena (Colombia).....	214
Medidas de mitigación y gestión para la contaminación hídrica en el Gran Mendoza.....	220
Optimización de la gestión integral de residuos en una empresa de productos químicos.....	226
Plan de manejo de residuos sólidos en casas de estudiante espartaco de Michoacan	231
Recolección de residuos sólidos, servicio no prioritario en los municipios mexicanos	236
Situación actual de las pilas usadas en México.....	241

IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

A questão da agricultura urbana e a produção de resíduos na bacia do rio Tambay - Bayeux/PB – Brasil.....	248
Afectación ambiental del tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río, Estado de México	253
Avaliação ambiental sobre o Rio Tambay – Bayeux-pb/Brasil	258

Diagnostico y clausura del botadero “La Concepción”. Soledad - Colombia	263
Emisiones de las quemas de residuos agrícolas en el Valle de Mexicali, 1987-2010	270
Estudio preliminar de la presencia de compuestos emergentes en las aguas residuales del Hospital Universidad del Norte	275
Estudio preliminar del balance radiativo en tiraderos municipales de Mexicali, B.C., México	281
Evaluación de riesgo ambiental en sitios contaminados en el Valle de Mexicali, B.C. Caso de estudio basurero Vado Carranza.....	287
Evaluación del riesgo ambiental de un predio contaminado con Mercurio. Estudio de caso	293
Evolución química del agua subterránea en un relleno sanitario ubicado en el Valle de Mexicali, B. C.....	299
Modelo de flujo del agua subterránea en una zona impactada por un tiradero a cielo abierto de residuos sólidos	304
Modelo experimental de difusión de biogás en raíces vegetales.....	310
Perfil estratigráfico del suelo de dos sitios de disposición final de residuos sólidos y su influencia en la contaminación de suelo y agua subterránea	316
Propuesta metodológica para medir el comportamiento de las temperaturas de suelos en tiraderos municipales.....	321
Restauración ambiental y paisajística de un vertedero incontrolado en Castellón (Este España).....	326
Restauración de una cantera de áridos mediante cambios de uso: extractivo-vertedero de residuos de construcción y demolición (RCD)-forestal.....	331

XIII

RECUPERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS

Biocombustibles: una alternativa para la disposición de residuos del cultivo de trigo en el Valle de Mexicali.....	337
El potencial de generación de energía eléctrica empleando biosólidos como fuente de materia prima: El caso de la ciudad de Ensenada, Baja California.	343
Estimación de las constantes de la tasa de generación de biogás en sitios de disposición final en Baja California, México	349
Evaluación del potencial de generación de electricidad con residuos sólidos. Caso: Estado de Hidalgo.....	355
Viabilidad de la valorización energética de los RSU que se generan en el vertedero el Iztete, de Tepic-Nayarit.	361

RELLENOS SANITARIOS Y VERTEDEROS

Efectos del tratamiento mecánico biológico en las emisiones de vertedero – Revisión bibliográfica	369
Los retos de la disposición final de residuos municipales en México	375
Reinserción de un antiguo basural para uso agrícola en la provincia de Mendoza, Argentina.....	380
Relaciones hidráulicas y de calidad entre el botadero a cielo abierto “La Concepción” y el Río Magdalena en Colombia.....	386
Rellenos sanitarios sostenibles para municipalidades pequeñas: el método semi-mecanizado de trincheras de Villanueva, Honduras.....	392
Revisión y propuesta de modificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003.....	397

Simulación de una celda-vertedero aislada usando MODUELO 4.0	403
Tratabilidad fisicoquímica de lixiviados generados en el tiradero municipal de Guanajuato	409
Uso de carbón activado reciclado en barreras permeables para disminuir la materia orgánica en los lixiviados del vertedero del municipio de Mexicaltzingo	415

GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

“A tu basura echa...arte”: taller para fortalecer la separación de residuos sólidos y su reutilización	421
Análisis de redes sociales de los establecimientos de acopio, tratamiento y reciclaje de los residuos sólidos urbanos en Distrito Federal y Estado de México	426
Basura, territorio y sociedad. Premisas espaciales y comunitarias para la prevención, remediación y recuperación de espacios degradados por residuos industriales. Una iniciativa integradora	433
Educación ambiental: estrategias utilizadas en la separación y manejo de residuos sólidos en espacios académicos del centro de Veracruz.....	439
El manejo integral de los desechos como sistema de autorregulación para el cambio social, caso: Mérida-Venezuela.....	445
El Manejo de los residuos en una comunidad rural de México: Prácticas actuales y planes futuros.....	451
Condiciones socioeconómicas y psicosociales de los habitantes del botadero La Concepción en el municipio de Soledad-Atlántico-Colombia	456
Gestión para el manejo de residuos sólidos urbanos en Xico, Veracruz	462
La evolución de la percepción de la basura del 2005 al 2011 en la ciudad de Ensenada, Baja California, México	467
La familia, factor clave para la reducción de desechos orgánicos	473
Los residuos sólidos en la educación primaria, caso de estudio México	477
Participación del sector informal en el manejo de residuos en sitios de disposición final en México	482
Propuesta de un plan de manejo integral de los residuos sólidos urbanos en Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil, localidades del estado de Oaxaca	488
Reuso de lonas de plástico; un ejemplo práctico de participación ciudadana	494
Variables psicográficas que influyen en el comportamiento proambiental del consumidor por estrato socioeconómico	500

TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS

Construcción de una cámara de intemperismo acelerado UV para evaluación de la degradación de plásticos en el ambiente	507
Diseño de una trituradora para plástico Polietileno de Tereftalato (PET)	514
Estudio de factibilidad de biodegradación de plásticos mediante composteo	519
Influencia del tiempo de residencia hidráulica sobre la hidrólisis solubilización en un reactor de codigestión.....	524
Modelo para estimar el asentamiento de la matriz de RSU en biorreactores con recirculación de lixiviados	529
Tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos del sector residencial y su aprovechamiento como fuente de energía.....	535

TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Aceite esencial: potencial de obtención a partir de residuos de naranja en Mexicali, Baja California	544
Agregados no convencionales para la preparación de concretos ecológicos.....	549
Aprovechamiento de los escombros generados en actividades de demolición de placas de pavimento en Cartagena - Colombia	554
Biorremediación de lodos de recortes de perforación base aceite, contaminados con hidrocarburos mediante un consorcio bacteriano y la adición de ácidos húmicos como surfactantes	560
Biosecado de residuos verdes en invernadero para la producción de combustibles alternos	566
Caracterización y evaluación de ácidos húmicos como biosurfactante, con uso potencial en tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.....	571
Comparación de dos técnicas para la detección y cuantificación de las poblaciones celulolíticas y hemicelulolíticas en residuos sólidos urbanos	576
Comparación del efecto de la recirculación de lixiviados sobre la capacidad calórica y el pH de los residuos sólidos urbanos	581
Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas con limadura metálica	587
Compostaje en biorreactores de lodos residuales y residuos orgánicos	592
Criterios para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios mediante evaporación por radiación solar.....	598
Detección y cuantificación de las poblaciones hemicelulolíticas en residuos sólidos urbanos a regímenes de recirculación de lixiviados	602
Determinación de metales pesados en sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación.....	606
Diseño, construcción y operación de un biodigestor anaerobio tipo cúpula a escala real para la obtención de biogás.....	612
Efecto de la densidad poblacional sobre el tamaño de las lombrices eisenia andrei, y la biomasa total, para el tratamiento de estiércol bovino	617
Evaluación de la eficiencia de un tratamiento fisicoquímico para lixiviados de un sitio de disposición final de residuos sólidos utilizando un coadyuvante orgánico	621
Evaluación de la generación de lixiviados en pacas impermeabilizadas de RSU. Experimento a gran escala	626
Lodos residuales provenientes de la planta termoeléctrica de la rosita en Mexicali Baja California, alternativas de reuso y disposición final	630
Los microorganismos en los abonos orgánicos a partir de podas en la Universidad del Norte	634
Microorganismos que intervienen en la generación de biogás	640
Potencial de degradación de los residuos sólidos confinados en el relleno clausurado de Morelia, Michoacán	645
Reciclaje en una empresa purificadora de agua empleando programas del municipio de Orizaba, Veracruz	649
Secado de residuos de jardinería en reactor mediante procesos biológicos	654
“Separación” a siete años de su nacimiento: Los avances hacia la consolidación	660

Viabilidad del proceso de compostaje con biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de San Miguel de Allende, México	665

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Análisis de la generación y composición de los residuos urbanos en las ciudades españolas

Antonio Gallardo, Miriam Prades, María Dolores Bovea, Francisco J. Colomer
gallardo@emc.uji.es

Resumen

En este estudio se analiza la generación y la composición de los residuos domiciliarios en las ciudades españolas mayores de 5,000 habitantes. Los datos se han obtenido mediante cuestionarios enviados a 216 ayuntamientos seleccionados aleatoriamente y mediante un estudio anterior. Con el 53% de las ciudades de la muestra se ha calculado la composición total de los residuos domiciliarios y los valores del Tasa de Generación Anual (TGA) del total de los residuos urbanos y de los residuos de materia orgánica. Además se han definido variables relativas al tamaño de los municipios, las zonas climáticas y las zonas turísticas para determinar si existen diferencias significativas en cuanto a la generación de los residuos según dichas variables. Con los contrastes realizados se ha obtenido que el tamaño del municipio es la única variable que no influye en la TGA. También se han calculado modelos de regresión lineal para modelizar la generación de residuos urbanos y de materia orgánica en función de variables socio-económicas (*Extranjeros*, *Parados* y *Hab/coche*) por zonas. Con ello se ha obtenido que los modelos que dan un mejor ajuste son los relativos a la zona más turística.

Palabras Clave: *tasa de generación anual, composición, regresión lineal, test de significación*

1. Introducción

El conocimiento de la generación y composición de los residuos sólidos urbanos (RSU) es esencial a la hora de diseñar un sistema de recogida. Si además se conocen determinados factores que influyen en dichos valores, los técnicos pueden diseñar una gestión más eficiente.

Existen numerosos estudios que analizan la generación y la composición de los RSU en función de factores socio-económicos, demográficos y logísticos [1], [2], [3], [4] y [5] utilizando mayoritariamente modelos de regresión lineal.

Algunos autores han centrado este tipo de trabajos en el análisis de fracciones concretas de los RSU, ya que en cada fracción pueden influir factores distintos y de distinta manera. Es el caso de los estudios de [5] y [6] con la materia orgánica, [5] y [7] con el papel y [5] con el plástico.

Cuando se estudia un área geográfica puede ocurrir que determinadas zonas sean distintas con respecto a un determinado factor, y los modelos tengan que establecerse por separado según zonas [2] y [6].

En el estudio que aquí se presenta se ha analizado la generación y la composición de los RSU de los municipios españoles mayores de 5,000 habitantes en función de una serie de variables demográficas, climáticas y socio-económicas. Los datos de generación y composición se han obtenido a partir de cuestionarios enviados a los ayuntamientos de los municipios seleccionados en una muestra aleatoria y de un estudio anterior [8]. El análisis realizado ha consistido en determinar si se pueden establecer diferencias en la TGA en cuanto al tamaño de las ciudades, la zona climática y las zonas turísticas. Se ha determinado si existen tales diferencias mediante contrastes de hipótesis. Además se han establecido modelos de regresión lineal [9] con las variables socio-económicas. Los cálculos requeridos, tanto para los contrastes de hipótesis como para la regresión, se han realizado con el software SPSS 17.0 [10].

2. Desarrollo

2.1 Área de estudio

España ocupa la mayor parte de la península Ibérica, y se añaden a ella los archipiélagos de las islas Baleares (en el Mediterráneo occidental) y de las islas Canarias (en el océano Atlántico nororiental), y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla, situadas en el norte de África.

Como características demográficas, según el Instituto Nacional de Estadística [11], en el año 2008 había en España 46,745,807 habitantes. Del conjunto total de la población, 5,648,671 son de nacionalidad extranjera, lo que representa un 12% de la población total. La densidad de población, de 92.63 *hab=km²*; e muy irregular a lo largo del territorio. Las zonas más densamente pobladas se concentran en la costa y en el área metropolitana de Madrid en el centro del país. En total hay 8,112 municipios [11].

En cuanto al clima, es muy diverso debido a su posición y a las características propias del territorio. Las costas del sur y mediterráneas tienen un clima denominado mediterráneo de costa. En el centro el clima es más extremo, se trata del clima continental, que abarca casi toda la Península. La zona de la vertiente cantábrica y atlántica (norte de España) posee un clima oceánico.

En lo que respecta a la economía, el principal sector es el de servicios, cuya contribución al producto interior bruto es del 69% [12]. El turismo es la aportación más relevante al sector servicios. Dentro del país los principales destinos turísticos en 2008 fueron: Cataluña (14.3 millones de turistas), Baleares (10.1 millones), Canarias (9.4 millones), Andalucía (8 millones) y la Comunidad Valenciana (5.7 millones) [14].

2.2 Obtención de la información

Los municipios mayores de 5,000 habitantes suponen el 87% de la población total de España que corresponde a 1,304 municipios. Para ello se va a definir una muestra que sea representativa para la característica que se va a estudiar, es decir, se determinará el número de municipios a los que enviar el cuestionario para cumplimentar con los datos de generación y composición.

Como se dispone de datos de generación y composición de ciudades mayores de 50,000 habitantes [8] se calculará el tamaño muestral para las ciudades comprendidas entre 5,000 y 50,000 habitantes. Una vez obtenidos los datos de las respuestas se realizará un test de contraste de hipótesis para comprobar si existen diferencias entre las dos muestras, lo cual determinará la realización de un análisis conjunto o separado de los datos.

2.2.1 Cálculo del tamaño muestral

Dependiendo de la característica que se vaya a estudiar, la formulación para el cálculo del tamaño muestral varía. En este caso, como el objetivo es determinar la generación de residuos urbanos por habitante, se trata de datos continuos. Según [15], la ecuación correspondiente es la siguiente:

$$n_0 = \frac{t^2 S^2}{d^2} \quad (1)$$

donde t es el nivel de confianza que viene determinado por el valor de α . Habitualmente se utiliza una confianza del 95% ($\alpha = 0.05$); con lo cual $t = 1.96$. S es la desviación estándar, que en este caso se tomará la desviación obtenida en el estudio anterior [8] y d es la precisión, es decir, el margen de error aceptable para media que se estima, que en el caso de datos continuos se utiliza un margen de error del 3% [15].

Si el tamaño muestral resultante supera al 5% del tamaño poblacional debe utilizarse la ecuación del tamaño muestral corregida [15]:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (2)$$

donde N es el tamaño de la población.

Se aplica la ecuación 1 a nuestro caso tomando $S = 91.25$ y $d = 0.03 \cdot 366.26$; donde 366.26 es la media de kilogramos generados por persona y año obtenidos del estudio anterior [8]. Se obtiene que $n_0 = 265$. Si hallamos el 5% del tamaño poblacional, es decir, $0.05 \cdot 1,159 = 58$; observamos que el número de ciudades obtenido mediante la ecuación 1 supera a este valor. Por tanto, debe aplicarse la ecuación 2 que permite obtener una muestra de 216.

Por tanto, se enviará el cuestionario a 216 municipios. Como en cada comunidad autónoma hay un número diferente de municipios entre 5,000 y 50,000 habitantes, se ha determinado proporcionalmente el número necesario de ciudades en cada una de ellas.

2.2.2. Obtención de la muestra

Tras obtener el tamaño muestral hay determinar qué ciudades formarán parte de la muestra. La elección debe ser aleatoria y para ello se ha creado un algoritmo para implementarlo en el software R [16]. Se ha creado una base de datos con los municipios de cada comunidad autónoma. Los datos de entrada al algoritmo son las distintas bases de datos y el tamaño de la muestra correspondiente a cada comunidad autónoma. El algoritmo devuelve los municipios aleatoriamente.

2.2.3 Elaboración, envío y recepción de las encuestas

Se creó un cuestionario para que los ayuntamientos de los diferentes municipios seleccionados cumplimentasen con sus datos de generación y composición. En él se pedía información acerca de la composición y las toneladas recogidas de cada una de las fracciones de residuos recogidas separadamente. A partir de estos datos se obtendrá la composición total de los residuos domiciliarios y la tasa anual de generación de residuos, TGA_i definida como los kilogramos que genera una persona en un año. El subíndice i toma el valor ru para los residuos urbanos y o para la materia orgánica.

En esta etapa del estudio se han obtenido datos del 53% del total de la muestra considerada. Si se unen estos datos con los de los municipios mayores de 50,000 que se disponían del estudio anterior, se tiene información del 45% de las poblaciones consideradas entre ambos estudios.

2.2.3 Variables demográficas, climáticas y socioeconómicas

Además de los datos de generación y composición, se requiere un conjunto de variables independientes, que serán variables demográficas, climáticas y socio-económicas con las que se analizará su influencia en la generación de residuos urbanos.

Como variable demográfica se ha considerado el tamaño de las ciudades. Se define una variable categórica, *Tamaño*; que toma los valores: 1, si la ciudad tiene entre 5,000 y 20,000 habitantes; 2, si la ciudad tiene entre 20,000 y 50,000 habitantes; y 3 si la ciudad tiene más de 50,000 habitantes. Como ya se ha comentado, en España existe cuatro zonas climatológicas: Norte, Centro, Este y Sur. La variable *Zona climática* es una variable categórica que toma el valor 1 para la zona *Norte-Centro* y 2 para el *Este-Sur*.

En el ámbito de las variables socio-económicas se ha definido otra variable categórica que es la variable *Turismo*. Las comunidades autónomas que registran un mayor número de visitantes son las pertenecientes a las zonas este y sur. Por ello se ha definido la variable *Turismo* de la siguiente

manera: toman el valor 0 los municipios de la zonas *Norte-Centro*; 1, los municipios que no tienen costa de la zona *Este-Sur*; y 2, los municipios costeros de la zona *Este-Sur*. Se ha hecho esta división porque los municipios costeros registran un mayor número de turistas que el resto y de este modo no se realizará el mismo análisis que en las zonas climáticas.

Otras variables socio-económicas que se han considerado han sido el porcentaje de inmigrantes, *Extranjeros*, el porcentaje de personas en paro, *Parados*, y el número de personas por automóvil, *Hab/coche*. Estas tres variables han sido obtenidas de los Institutos de Estadística de las diferentes comunidades autónomas. En cada ciudad se toma la variable correspondiente al año del que remite sus datos de generación de residuos urbanos que están comprendidos entre el 2006 y el 2009.

3. Resultados

3.1 Composición

A partir de los datos de composición de las diferentes fracciones recogidas en cada municipio se ha determinado la composición media de los residuos urbanos (Tabla 1). Se puede observar cómo la fracción de la materia orgánica sigue siendo la mayoritaria.

Tabla 1. Composición media de los residuos urbanos (%)

MO	Papel-cartón	Vidrio	Plástico	Metal	Brik	Textil	Tierras	Madera	Pilas	Otros
37,42	18,38	8,70	10,83	3,97	1,25	2,60	7,78	2,48	0,08	6,51

3.2 Análisis de la generación por años

Se calculan los valores de la TGA_{ru} y TGA_o en cada municipio. El TGA_o se calcula por ser el componente mayoritario en la composición de los residuos urbanos. Una vez obtenidas los valores de TGA_{ru} y TGA_o para cada municipio analizado, se realiza el contraste de hipótesis según el año del que proceden los datos. Esto se hace como primer paso ya que los datos pertenecen a diferentes años.

El contraste a realizar será no paramétrico, ya que, como los coeficientes de asimetría y curtosis no están entre ± 0.5 [17] se trata de una muestra no normal [18] y son el tipo de test adecuados para este tipo de muestras. La prueba no paramétrica que se va a utilizar para comprobar si existen diferencias significativas en cuanto a la TGA_{ru} y TGA_o entre los años de los que se disponen los datos, es el test de Kruskal-Wallis. Este test es la alternativa a la ANOVA cuando los datos no son normales. La hipótesis nula es la igualdad de medias y se rechazará dicha hipótesis cuando el nivel crítico sea inferior a 0.05.

Se han obtenido para los test de la TGA_{ru} y TGA_o unos p-valores de 0.914 y 0.548, respectivamente. Por tanto no se rechazan las hipótesis nulas, es decir, no se puede afirmar que las muestras de los diferentes años sean significativamente distintas y se utilizarán los datos como una sola muestra para cada tasa de generación.

3.3 Análisis por tamaños

Para determinar si existen diferencias significativas entre los tamaños de población definidos por la variable *Tamaño* se ha aplicado el test de Kruskal-Wallis. Se han obtenido unos p-valores de 0.928 y 0.260 para la TGA_{ru} y TGA_o , respectivamente. En ninguno de los dos casos se puede rechazar la hipótesis nula dado que el p-valor no es inferior a 0.05 en ningún caso. Por tanto se puede concluir que no existen diferencias en cuanto a la generación de residuos urbanos y de materia orgánica dependiendo del tamaño que tengan los municipios.

3.4 Análisis por zonas climáticas

Se ha determinado la influencia de la variable *Zona climática* en la TGA_{ru} y TGA_o . Para ello se ha utilizado el mismo procedimiento que se ha empleado en los apartados anteriores, el test de Kruskal-Wallis. Se han obtenido p-valores con valor 0.000 en los dos casos, por tanto se puede afirmar que existen diferencias significativas entre ambas zonas. La zona *Este-Sur* se caracteriza por la dieta Mediterránea, con mayor consumo de productos perecederos durante más tiempo, por tanto con mayor generación de residuos orgánicos. Mientras que en la zona *Norte-Centro* el período de frío es más largo y se consumen menos productos frescos.

3.5 Influencia del turismo

Con la variable *Turismo* se realizará el mismo contraste de hipótesis que en los apartados anteriores. Se han obtenido p-valores con valor 0.000, por tanto existen diferencias significativas entre los tres grupos en cuanto a las TGA_{ru} y TGA_o .

La Tabla 2 recoge los datos medios de las TGA_{ru} y TGA_o en cada zona. Se puede ver como la zona *Este-Sur* con costa posee una generación superior al resto de zonas debido a la influencia del turismo.

Tabla 2. TGA_{ru} y TGA_o medias según la variable *Turismo*

	Norte-Centro	Este-Sur (sin costa)	Este-Sur (costa)
TGA_{ru}	411.44	451.48	600.49
TGA_o	144.41	181.68	234.96

3.6 Modelos de regresión

Con el resto de variables socio-económicas (*Extranjeros*, *Parados* and *Hab/coche*) se han establecido modelos de regresión lineal en las tres zonas del apartado anterior, con las variables independientes TGA_{ru} y TGA_o . Se han hecho todas las combinaciones posibles con las tres variables socio-económicas con cada una de las variables independientes y solamente se han hallado buenos ajustes para las variables TGA_{ru} y TGA_o en la zona *Este-Sur* con costa con las variables independientes *Extranjeros* y *Hab/coche*; y *Hab/coche* y *Parados*; respectivamente. En la Tabla 3 se recogen las ecuaciones de cada modelo con los p-valores obtenidos en cada variable entre paréntesis y los coeficientes de determinación (R^2).

Tabla 3. Modelos de regresión

Modelo	R^2
$TGA_{ru}(costa) = 1095.15 + 4.89Extranjeros - 272.28Hab/coche$ (0.000) (0.102) (0.000)	0.607
$TGA_o(costa) = 639.56 - 155.09Hab/coche - 13.40Parados$ (0.000) (0.000) (0.074)	0.570

Con los datos obtenidos de la regresión que modeliza la variable TGA_{ru} en la zona *Este-Sur* con costa, se puede observar que la variable *Extranjeros* no se puede considerar significativa por tener un p-valor no inferior a 0.1 y que la variable *Hab/coche* influye negativamente en la generación de residuos urbanos. La justificación del modelo es lógica puesto que la disminución de personas por vehículo está directamente relacionada con un aumento en el nivel de renta y, como se analizó en el estudio de [19], ello conlleva a que a mayor renta haya una mayor generación de residuos.

Con los datos obtenidos de la regresión que modeliza la variable TGA_o en la zona *Este-Sur* con costa, se puede observar como las variables *Hab/coche* y *Parados* influyen negativamente en la

generación de residuos de materia orgánica. La justificación del modelo es lógica puesto que el aumento de personas sin empleo está directamente relacionado con la disminución en su nivel de renta y ello conlleva a que a menor renta haya una menor generación de residuos. La justificación de la influencia de la variable *Hab/coche* es la misma que en el modelo anterior.

4. Conclusiones

Con los datos obtenidos en este trabajo se ha calculado la composición total de los residuos domiciliarios, obteniéndose que la materia orgánica es el componente mayoritario (38%).

Se han calculado los valores de la Tasa de generación anual del total de los residuos urbanos y de la materia orgánica (TGA_{ru} y TGA_o). Además, con las variables categóricas *Tamaño*, *Zonas climáticas* y *Turismo* se ha determinado que no existen diferencias en la generación de residuos urbanos y de materia orgánica según el tamaño de los municipios, mientras que sí que se pueden hallar diferencias según las zonas climáticas y las zonas turísticas.

Por otra parte, se han calculado modelos de regresión lineal para modelizar TGA_{ru} y TGA_o a través las variables independientes *Extranjeros*, *Parados* y *Hab/coche*. Los mejores ajustes se han hallado para la zona *Este-Sur* con costa. Las variables que describen la TGA_{ru} son *Extranjeros*, que influye positivamente, y *Hab/coche*, que influye negativamente, aunque *Extranjeros* no se puede considerar que sea significativa. Mientras que la variables que determinan la TGA_o son *Parados* y *Hab/coche*, ambas influyen negativamente.

Referencias Bibliográficas

- [1] Abu-Qdais, H. A., Hamoda, M. F., Newham, J. "Analysis of residential solid waste at generation sites". *Waste Management & Research*. Vol.15. 1997. pp. 395–406.
- [2] Beigl, P., Wassermann, G., Schneider, F., Salhofer, S. "Forecasting municipal solid waste generation in major European cities". 2004. (27 de septiembre de 2008) <http://www.ieemss.org>
- [3] Daskalopoulos, E., Badr, O., Probert, S. D. "Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and the United States of America". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 24(1). 1998. pp. 155–166.
- [4] Hockett, D., Lober, D., Pilgrim, K. "Determinants of per capita municipal solid waste generation in the Southeastern United States". *Journal of Environmental Management*. Vol. 45(3). 1995. pp. 205–217.
- [5] Thanh, N., Matsui, Y., Fujiwara, T. "Household solid waste generation and characteritic in Mekong Delta city, Vietnam". *Journal of Environmental Management*. Vol. 91(11). 2010. pp. 2307–2321.
- [6] Bandara, N., Hettiaratchi, J., Wirasinghe, S., Pilapiiya, S. "Relation of waste generation and composition to socioeconomic factors: a case study". *Environmental Monitoring Assessment*. 2007. Vol. 135 (1-3). pp. 31–39.
- [7] Bach, H., Mild, A., Natter, M., Weber, A. "Combining socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of waste paper". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 41(1). 2004. pp. 65–73.
- [8] Gallardo, A., Bovea, M., Colomer, F., Prades, M., Carlos, M. "Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain". *Waste Management*. Vol. 30(12). 2010. pp. 379–406.
- [9] Peña, D. *Regresión y Diseño de Experimentos*. 2002. Alianza Editorial, Madrid. 741páginas.
- [10] Pérez, C. *Técnicas Estadísticas con SPSS*. 2001. Prentice Hall, Madrid.
- [11] Instituto Nacional de Estadística. *Demografía y población. Cifras de población y censos demográficos*. 2008. (16 de marzo de 2011) <http://www.ine.es>.

- [12] Instituto Nacional de Estadística. *Sociedad. Análisis sociales*. 2008. (16 de marzo de 2011) <http://www.ine.es>
- [13] World Tourism Organization. "World's Top Tourism Destinations 2009". *UNWTO World Tourism Barometer*. Vol. 8(2). June 2010. pp. 9–11.
- [14] Instituto de Estudios Turísticos. "Balance del turismo. Resultados de la actividad turística en España". *Informe 2008*. (16 de marzo de 2011) <http://www.iet.tourspain.es>.
- [15] Bartlett, J. E., Kotrlik, J. W., Higgins, C. C. "Organizational research: Determining appropriate sample size in survey researches". *Information Technology, Learning and Performance Journal*. Vol. 19(1). 2001. pp. 43–50.
- [16] R Development Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. 2008. Vienna, Austria, <http://www.R-project.org>
- [17] Martínez, C. *Estadística y Muestreo*. Septiembre 2005. Ecoe editores.
- [18] Siegel, S., Castellan, N. 1998. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. 1998. McGraw-Hill.
- [19] Gallardo, A. *Metodología para el diseño de redes de recogida selectiva de RSU utilizando sistemas de información geográfica. Creación de una base de datos aplicable a España*. Ph.D. thesis. 2000. Universidad Politécnica de Valencia.

Caracterização do lodo residual das lagoas de lodo da estação de tratamento de água – estudo de caso: ETA – Gramame

Claudia Coutinho Nóbrega, Sabrina Livia de Medeiros Pereira, Gilson Barbosa A
claudiacn@uol.com.br

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido nas lagoas de lodo da Estação de Tratamento de Água - ETA Gramame, localizada no município do Conde, Estado da Paraíba/Brasil e que abastece as cidades de João Pessoa (capital) e Cabedelo. O objetivo dessa pesquisa foi caracterizar o lodo das lagoas de lodo oriundo dos decantadores da ETA Gramame, no intuito de sugerir alternativas de tratamento e disposição final para esses despejos. Com os resultados obtidos das análises do resíduo se constatou que o valor médio de sólidos totais foram de 57.839,65 mg/L (lagoa 1) e de 37.048,95 mg/L (lagoa 2) e que deste valor 76,71% e 37,52% são de sólidos fixos, lagoa 1 e 2, respectivamente, e 23,29% (lagoa 1) e 62,48% (lagoa 2) são de sólidos voláteis. Esses resultados indicaram a presença de uma porção maior de material biodegradável na lagoa 2. A partir da análise granulométrica do lodo estudado, pode-se observar que o mesmo apresentou maior teor de areia grossa. Já dentre os metais encontrados na análise do lodo os maiores índices foram o de Alumínio, Chumbo e Ferro. Sendo os dois últimos acima dos padrões de lançamento exigidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Resolução Nº 357/2005). De acordo com as análises realizadas no lodo se verificou que algumas das alternativas de destino final seriam a recuperação do coagulante (sulfato de alumínio), a utilização no solo e por último o encaminhamento a aterros sanitários.

Palavras Chaves: *estação de tratamento de água – gramame, caracterização do lodo, destino final, ETA, lagoa de lodo, Paraíba - Brasil*

8

1. Introdução

De acordo com [1], o Brasil produz nas estações de tratamento de água (ETA) convencionais, não convencionais e por desinfecção simples, 41x10⁶ m³/dia de água tratada. As ETA's convencionais de ciclo completo são responsáveis pela produção de 30,5x10⁶ m³/dia, ou seja, 74,40 % da água tratada. As ETA's podem ser vistas como mini fábricas de resíduos, com produção na faixa de 1% a 4% do volume total de água tratada [2]. Correspondendo a uma geração de valor médio de 762.500 m³/dia de resíduos gerados nessas ETA's convencionais.

Esses resíduos são gerados durante o tratamento da água nas ETA's, através dos processos de coagulação, floculação, decantação e filtração. No decorrer dessas atividades, são adicionados produtos químicos conduzindo a formação de resíduos. O lodo que tem origem nos decantadores e nas águas de lavagem dos filtros possui características variadas, dependendo, essencialmente, das condições apresentadas pela água bruta, dosagens dos produtos químicos utilizados, como também da forma de lavagem dos decantadores [3].

Apesar de não ser um problema recente, o efeito da disposição inadequada dos resíduos sólidos gerados pelas ETA's no meio ambiente, tem-se mostrado danoso ao mesmo, especialmente nos grandes centros urbanos, uma vez que os lodos gerados nessas estações contêm concentrações elevadas de metais pesados, principalmente de alumínio e ferro [2] – [4], que ao serem lançados "in natura" em cursos d'água pode vir a levar toxicidade aos organismos aquáticos. Além desses lodos conterem metais pesados, apresentam também elevadas concentrações de sólidos, demanda química

de oxigênio (DQO) e alta turbidez, que podem causar assoreamento de cursos d'água, criação de bancos de lodo, alterações na cor e na composição química, além de alterações biológicas [5].

Na maioria das ETA's esses resíduos são lançados nos corpos d'água próximos sem tratamento, em alguns casos o próprio manancial que abastece a estação de tratamento. No entanto, o aumento da preocupação e a regulamentação sobre a preservação e recuperação da qualidade do meio ambiente têm restringido e até mesmo proibido o uso deste método de disposição, impondo a procura por outros métodos que não causem danos ao meio ambiente.

Os lodos de ETA's são classificados pela série de normas NBR-10.004 (2004) [6] como resíduos sólidos, não sendo permitido seu lançamento "in natura" em águas superficiais. A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97 estabelece que, o lançamento de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final em corpos d'água, além de outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água, está sujeita à outorga do Poder Público [7].

De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, o resíduo sólido é um material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semi sólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível [8].

O lançamento dos resíduos gerados em ETA's, em corpos d'água, pode ser considerado crime ambiental, de acordo com a Lei 9.605/98, devido aos efeitos diretos causados ao ambiente aquático do corpo receptor e danos à fauna aquática.

De acordo com [9], os métodos de disposição final de lodos podem-se incluir lançamento na rede coletora, em lagoas com grande tempo de detenção, aplicação no terreno, aterros sanitários e aproveitamento de subprodutos. Os três últimos métodos exigem a redução de seu volume, através da drenagem da água livre, reduzindo assim o seu volume e aumentando a sua densidade, de tal forma que possa promover seu manuseio com facilidade.

Este estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água de Gramame, que abastece os municípios de João Pessoa e Cabedelo. O resíduo (lodo) gerado pelos decantadores dessa estação é encaminhado a duas lagoas de lodo que se situam adjacente a ETA. As lagoas foram construídas com o objetivo de sedimentar o resíduo e eliminar a água sobrenadante através de dispositivo que lança o efluente descartável no rio Gramame à jusante do reservatório Gramame/Mamuaba, reduzindo assim o volume do lodo para a disposição final no aterro sanitário. Porém, desde sua inauguração, em março de 1991, esse processo de remoção e encaminhamento ao aterro não foi realizado.

Uma das grandes dificuldades na escolha de alternativas de engenharia que contemplem o tratamento de despejos gerados em ETA é a escassez de dados e de bibliografia nacional a respeito do assunto. No Brasil, poucas ETA's têm apresentado soluções que objetivem a minimização da quantidade de despejos gerados, seu tratamento e sua disposição final [10].

O objetivo dessa pesquisa foi caracterizar o lodo das lagoas de lodo oriundo dos decantadores da ETA Gramame, no intuito de sugerir alternativas de tratamento e disposição final para esses dejetos.

2. Desenvolvimento

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água Gramame, localizada no município do Conde/Paraíba, Brasil. A tecnologia de tratamento é convencional de ciclo completo, vazão média atual de 1917 L/s, utiliza como coagulante Sulfato de Alumínio e o lodo gerado nos decantadores são encaminhados a 2 lagoas de lodo localizadas adjacentes a ETA.

2.1 Descrição das Lagoas de Lodo da Estação de Tratamento de Água de Gramame

As duas lagoas de lodo da ETA-Gramame foram executadas para receber o lodo gerado pelo decantadores, onde por sedimentação o lodo é processado.

O volume de água tratada atualmente na ETA Gramame é de 1917 L/s que corresponde a 3,84 L/s a 76,68 L/s de lodo gerado. Segundo [9] o lodo gerado pela ETA's são de 0,2% a 4% do volume de água tratada.

Na lagoa foi projetado dispositivo de eliminação da água sobrenadante, facilitando assim a desidratação do lodo. Após o processo de desidratação o lodo deveria ser periodicamente, removido das lagoas e encaminhado ao aterro, porém esse processo de remoção nunca ocorreu.

Atualmente, as duas lagoas da ETA/Gramame estão desativadas e durante o tempo de funcionamento, que foi de 18 anos, de 1999 a 2008, o lodo dos decantadores encaminhados as lagoas não foram direcionados ao destino final. Portanto, o estudo será focado nesse lodo existente nas lagoas para assim encontrar soluções adequadas de destino final.

2.2 Experimento

O trabalho de avaliação do experimento foi dividido nas seguintes etapas: coleta e análise qualitativa das amostras de lodo das lagoas e, análise estatística dos dados. As análises foram realizadas entre o período de Outubro de 2009 a Abril de 2010 nas duas lagoas de lodo.

2.2.1 Definição dos Pontos de Amostragem e Métodos Utilizados

- Definição dos pontos de coletas nas lagoas de lodo – Em função dos dados obtidos sobre as lagoas foram definidos 4 pontos de amostragem distribuídos. Os pontos de coletas estão localizados a 75 cm da linha de referência e a profundidade de coleta foi de aproximadamente 1m abaixo da linha d'água.
- Período de amostragem: As amostras foram coletadas mensalmente, tendo início em outubro de 2009 e finalizada em abril de 2010.
- Parâmetros analisados para as amostras de lodo: pH, DBO₅, DQO, ST, SV, SF, Al, Chumbo, Ferro, Fósforo, Nitrogênio, Potássio, COT, assim como os coliformes totais e termotolerantes.
- Coleta, preservação, preparação e análise das amostras: Os procedimentos de coleta, preservação, preparação e análise das amostras seguiram as metodologias preconizadas no [11] – [12] – [13].

Foram realizadas seis coletas nas lagoas de lodo. As referidas coletas foram feitas manualmente e os procedimentos foram realizados de acordo com o que segue abaixo:

- Foram coletadas 4 amostras de lodo da lagoa, em seguida as amostras foram homogeneizadas e armazenadas em 2 garrafas PET's. O procedimento foi utilizado tanto para a lagoa 1 quanto para a lagoa 2.
- Uma amostra de cada lagoa foi encaminhada ao Laboratório de Saneamento da Universidade da Paraíba para realizar as análises de pH, Umidade, DQO, DBO₅, Sólidos Totais, Sólidos Fixos, Sólidos Voláteis, Sólidos Totais Dissolvidos e Solúveis. E as outras amostras para o laboratório do Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP), onde foram realizadas as análises de Alumínio, Ferro, Chumbo, Carbono Orgânico Total, Coliformes Totais e Termotolerantes.

3. Análise e Discussão dos Resultados

De acordo com [10], o lodo oriundo de decantadores contém um teor de sólidos totais que variam de 1g/L a 40 g/L, ou seja 1.000 mg/L a 40.000 mg/L. Do total de sólidos encontrados, geralmente 75% a 90 % são sólidos fixos e 20 % a 35 % são sólidos voláteis, que representa a pequena porção biodegradável.

Os valores de sólidos totais encontrados nas lagoas de lodo, que variaram de 37.510,27 mg/L a 88.458,38 mg/L e valor médio de 62.834,92 mg/L para a lagoa 1 e de 43.950,89 mg/L a 84.403,85 mg/L e valor médio de 59.668,49 mg/L para a lagoa 2, valores estes que estão acima dos valores citados por [10]. Os valores encontrados de sólidos fixos variaram de 37.114,28 mg/L a 64.016,68 mg/L e valor médio de 49.189,02 mg/L para a lagoa 1 e de 27.334,38 mg/L a 67.216,04 mg/L e valor médio de 40.646,07 mg/L para a lagoa 2. De acordo com o resultado pode-se observar que do valor médio de sólidos totais encontrados 78,28% e 68,12% são de sólidos fixos, lagoa 1 e 2, respectivamente. O percentual médio encontrado para a lagoa 1 está situado na faixa dos valores citados por [10].

Os valores de sólidos voláteis encontrados no lodo das lagoas foram de 13.645,90 mg/L, lagoa 1 e 19.022,42 mg/L, lagoa 2. De acordo com o resultado constatou-se que do valor médio de sólidos totais encontrados 21,72% e 31,88% são de sólidos voláteis, lagoa 1 e 2, respectivamente. Estando a lagoa 2 com o maior teor de material biodegradável e, conseqüentemente, menor teor de sólidos fixos, como explicado anteriormente.

Os valores obtidos para a DQO variaram de 253,00 mg/L a 387,60 mg/L para o resíduo da lagoa 1 e de 213,00 mg/L a 343,00 mg/L para o resíduo da lagoa 2.

Os resultados estão coerentes aos encontrados por diversos autores citados em [10]. Segundo o autor supracitado o lodo de Estação de Tratamento de Água que utiliza como coagulante o sulfato de alumínio apresenta uma maior parcela de material não biodegradável na sua composição.

Os valores obtidos para a DBO₅ encontrados nas amostras de lodo das lagoas da ETA/Gramame, ficaram na faixa de 88,10 mg/L a 49,10 mg/L para a lagoa 1 e de 72,90 mg/L a 49,80 mg/L para a lagoa 2. Os resultados apresentam-se na faixa de valores citados por [10].

A relação DQO/DBO₅ dá uma idéia do tipo de matéria orgânica. A relação DQO/DBO₅ é pouco elevada, quando se encontra na ordem de 2 a 3, quando é maior, indica a predominância de matéria não biodegradável [14]. O valor da relação DQO/DBO₅ foi maior que 3, característicos para resíduos industriais onde há presença de material não biodegradável. De acordo com [15], a relação DQO/DBO₅ elevada indica a predominância de material não biodegradável no lodo.

Os valores de pH ficaram compreendidos entre 5,30 a 6,47 para lagoa 1 e de 5,00 a 6,50 para lagoa 2, que é condizente com os valores encontrados na literatura referentes a lodos que utilizam como coagulante o sulfato de alumínio [10].

Os valores médios de umidades obtidos com as amostras de lodo encontradas nas lagoas foram de 92,47% para lagoa 1 e 90,15% para lagoa 2. Segundo [16], o teor de umidade de lodo de decantadores de ETA's é, geralmente, maior que 95%, apesar do lodo analisado ser oriundo de decantadores o seu teor de umidade ficou em média abaixo do valor citado pelo referido autor. Isso pode ter ocorrido em decorrência do tempo de detenção que esse lodo se encontra nas lagoas, cerca de 20 anos, e sendo assim com o passar dos anos a umidade desse lodo decresceu.

Os valores de Carbono Orgânico Total (COT), encontrados nas amostras da lagoa 1, nas duas coletas analisadas, foi encontrado valores de <4800 mg/kg, primeira coleta e de 93000 mg/kg para a segunda coleta, ou seja variando aproximadamente 0,48 % a 9,3%. No caso da lagoa 2 os valores encontrados foram de 18800 mg/kg, primeira coleta e de 102300 mg/kg para a segunda coleta,

aproximadamente 1,88% a 10,23%. Em geral as concentrações de carbono orgânico de ETA's são inferiores a 3% [17].

Foram observados que os maiores valores de metais pesados encontrados foi o alumínio, devido ao uso do sulfato de alumínio como coagulante no tratamento da água. Em relação aos outros teores de metais Além dos alumínio também foram detectados o chumbo e o ferro. Sendo os dois últimos acima dos padrões de lançamento exigidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Resolução 357/2005) [18]. Os metais em especial o alumínio proveniente de ETA's, segundo [2] e [16], possuem ações tóxicas, podendo apresentar efeitos positivos ou negativos nas técnicas de tratamento, disposição final e, até mesmo, na reutilização destes resíduos.

De acordo com [19] o índice de coliformes totais avalia as condições higiênicas e o de coliformes termotolerante é empregado como indicador de contaminação fecal e avalia as condições higiênico-sanitárias deficientes. Para a lagoa 1 os valores encontrados de coliformes totais foram de 52 NMP/100g e de <0,3 NMP/100g e para lagoa 2 foi de $2,4 \times 10^3$ NMP/100g e <0,3 NMP/100g. Apresentando uma pequena parcela de matéria orgânica decomposta.

Os valores de coliformes termotolerantes foram de 8 NMP/100g e <0,3 NMP/100g para a lagoa 1 e de 81 NMP/100g e < 0,3 NMP/100g para lagoa 2. Os valores encontrados representam contaminação de organismos patogênicos, presente no lodo.

A partir da análise de granulométrica realizada no lodo foi detectado um material com características de areia grossa, em ambos os resultados apresentados tanto para o lodo da lagoa 1 quanto para o lodo da lagoa 2. Usualmente, o lodo de ETA's apresenta características de materiais argiloso o que não foi comprovado com o lodo das lagoas de lodo da ETA Gramame. Vale salientar, que o lodo das lagoas se encontram depositado cerca de 20 anos, podendo ser este um dos motivos das características encontrados na análise do lodo.

4. Conclusões

12

A partir dos resultados obtidos nos experimentos realizados no resíduo (lodo), conclui-se que:

- Os lodos das lagoas apresentaram um alto teor médio de sólidos, descartando a possibilidade do descarte em corpos receptores uma vez que não se enquadram nos padrões de lançamento exigidos pelas normas vigentes.
- lodo estudado apresentou valores expressivos de teor de alumínio indicando assim a possibilidade de recuperação de coagulante.
- Como análise granulométrica realizado no lodo das lagoas não apresentou características de material argiloso, descartou-se a possibilidade do uso do lodo em materiais, como no caso das cerâmicas vermelhas e argamassa de concreto.
- No lodo estudado foram encontrados valores médios de sólidos dentro da faixa indicada por [10], onde o mesmo indica um teor de sólidos entre 1% a 15% como critério básico para disposição no solo. Vale ressaltar que deve ser realizada pesquisa no solo que irá receber o lodo para avaliar a capacidade de assimilação desse lodo uma vez que o lodo analisado possui um teor considerado de alumínio.
- lodo estudado se encontra na faixa permitida de teor de sólidos (inferior a 25%) para a disposição em aterro municipal.

Referência Bibliográfica

- [1] Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística – IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Departamento de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 431 p.

- [2] Barroso, m. M.; cordeiro, J. S. Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.
- [3] Tsutiya. M. T.; Hirata, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações e tratamento de água do Estado de São Paulo. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Paraíba, 2001. Anais... ABES: João Pessoa. 2001.
- [4] Hall, W.S. & Hall, L.W., Jr (1989). Toxicity of alum sludge to *Ceriodaphnia dubia* and *Pimephales promelas*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v.42, p.791-798.
- [5] Vicory, A.H. & Weaver, L. (1984). Controlling discharges of water plant wastes to the Ohio River. *Journal of American Water Works Association*, v.76, n.4, p.122-125.
- [6] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004. (1987). Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, Brasil.
- [7] BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário oficial da união, Brasília, 16p.
- [8] BRASIL, Lei nº- 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário oficial da união, Brasília, 5p.
- [9] Richter, C. A.. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo: Edgard Blucher. 2001. 102 f.
- [10] Ferreira Filho, S. S.; Além Sobrinho, P. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 3, n. 3, Jul/Set. e n. 4, out/dez. 1998. p. 128-136.
- [11] APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20ª edição, Washington, E.U.A. (1998).
- [12] ASTM. American Society for Testing and Materials.
- [13] EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Manual de Métodos de Análise de Solo.
- [14] Souza, M. E. Problemática da digestão anaeróbia dos resíduos industriais. São Paulo: CETESB, 1982. 35p. (Trabalho apresentado no I Simpósio Latino-Americano sobre produção de biogás a partir de resíduos orgânicos. Anais... São Paulo, 6-17 de dezembro de 1982).
- [15] Von Sperling, M. (1998). Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamentos de efluentes. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH*. Porto Alegre, v. 3,n. 1, p. 111-132, jan./mar.
- [16] Cordeiro, J.S. Remoção Natural de Água de Lodos de ETAs Utilizando Leitões de Secagem e Lagoas de Lodo, Rio de Janeiro: ABES, 250p. 1999.
- [17] Araújo, A. P. M. de. Avaliação Operacional e Características do Lodo Gerado na Indústria da Água do Litoral sul de Pernambuco. Recife, 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006.

- [18] Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas segundo o seu uso preponderante.
- [19] Siqueira, R.S. Manual de microbiologia de alimentos. Brasília: EMBRAPA, 1995. 159p.

Caracterización de lámparas fluorescentes compactas usadas

Natalia Rey Raap, Antonio Gallardo Izquierdo

gallardo@emc.uji.es

Resumen

La Directiva Europea 2002/96/CE sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos establece que las plantas de tratamiento de lámparas fluorescentes deben procesar adecuadamente este tipo de dispositivos a fin de reducir su concentración de mercurio. Con el objeto de obtener tratamientos adecuados aplicables a este tipo de lámparas es necesario conocer la cantidad de mercurio que hay en su interior y dónde se encuentra este metal pesado cuando la lámpara se convierte en residuo. En este estudio se caracterizaron lámparas fluorescentes compactas usadas para poder determinar la distribución de mercurio en su interior. El procedimiento utilizado en esta investigación permite extraer separadamente el mercurio en fase vapor, el mercurio adherido al polvo fluorescente y el mercurio difundido en el vidrio. La concentración de mercurio en las tres fases se determina mediante el método de vapor frío por espectrometría de absorción atómica (AAS-FIAS). Como valores medios se obtiene que una lámpara CFL contiene $24,5 \pm 0,44$ ppb de mercurio en fase vapor, $204,16 \pm 8,97$ ppb de mercurio como componente del polvo fluorescente y $18,74 \pm 0,47$ ppb de mercurio difundidos a través del vidrio. Es decir, el 85,76% del mercurio introducido en una lámpara CFL se convierte en un componente del polvo fluorescente mientras que más del 13,66% se difunde a través de la matriz vítrea. Por tanto, aplicando tratamientos que eliminen tanto el polvo fluorescente como el mercurio difundido en el vidrio se conseguiría reducir la concentración de mercurio en estos residuos en un 99%.

Palabras Clave: *espectroscopía de absorción atómica (aas), lámparas cfl, mercurio, polvo fluorescente*

1. Introducción

El problema ambiental más importante que presentan las lámparas fluorescentes compactas (CFL) es su contenido en mercurio, ya que este metal pesado es uno de los elementos de mayor toxicidad del planeta. Por este motivo, la Comisión Europea mediante la Directiva 2002/95/CE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), prohibió el uso de esta sustancia en los AEE. No obstante, dado que en las lámparas mercuriales es imprescindible la utilización de este metal para su correcto funcionamiento, esta directiva las incluye dentro de una serie de AEE que pueden contener mercurio. En el caso de las lámparas CFL la concentración de este metal pesado no debe exceder de 5 mg por lámpara [1].

El mercurio introducido en una lámpara CFL se emplea para producir luz visible pero, debido a la generación de radiación ultravioleta, algunos de los electrones se excitan provocando la interacción de éstos con los distintos componentes de la lámpara [2], [3]. Por tanto, durante el funcionamiento el mercurio se adhiere al polvo fluorescente y se difunde a través del vidrio. Cuando la lámpara se convierte en residuo y se separan los distintos componentes, la concentración de mercurio en éstos es superior a los límites establecidos por la legislación, considerándose residuos peligrosos.

La gestión de las lámparas mercuriales en desuso viene regulada por la Directiva 2002/96/CE sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos (RAAEs) [4]. En esta Directiva se establece la obligación por parte de las plantas de tratamiento de reducir la concentración de mercurio y de valorizar el 70% en peso de las lámparas tratadas. Sin embargo, en los últimos años se han llevado a cabo estudios sobre la trazabilidad del mercurio contenido en este tipo de lámparas demostrando que los procesos de las plantas de tratamiento de residuos mercuriales no eliminan

completamente el mercurio [5] - [8]. Este hecho dificulta enormemente el cumplimiento de la legislación. Por tanto, para poder aumentar las posibilidades de valorización de los residuos de las lámparas se debe mejorar el proceso de tratamiento. Para ello es necesario caracterizar el residuo y, sobre todo, conocer la distribución del mercurio en el interior de la lámpara cuando ésta queda en desuso.

2. Metodología de trabajo

La determinación de la distribución del mercurio en el interior de una lámpara CFL en desuso engloba el mercurio en fase vapor que no ha reaccionado, el mercurio que ha reaccionado con el polvo fluorescente y el mercurio difundido a través de la matriz vítrea. La concentración de mercurio se analiza mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica (AAAnalyst 100 de Perkin Elmer) basada en la generación de hidruros/mercurio (MHS) y equipado con un Sistema de Análisis con Inyección de Flujo (FIAS). Este dispositivo de detección de mercurio, aunque es uno de los más utilizados, requiere que las muestras a analizar estén en estado líquido y, dado que se quiere analizar mercurio en fase vapor y mercurio contenido dentro de sólidos (polvo fluorescente y vidrio), es necesario aplicar técnicas de extracción de mercurio que permitan disolver el metal pesado en una solución líquida. Por tanto, la cantidad de mercurio introducida en una lámpara puede variar mucho de una unidad a otra, por lo que en este estudio se analizan ocho lámparas CFL Philips Master PL-C con 26 vatios de potencia, obteniéndose tres muestras líquidas por cada una de ellas. La concentración de mercurio se analiza por triplicado. Por otro lado, se estudia la peligrosidad del vidrio mediante la aplicación del test de lixiviación.

2.1 Experimentación

Las lámparas a analizar deben limpiarse correctamente con agua ultrapura para no introducir impurezas que puedan alterar los resultados del proceso. Cada una de las lámparas limpia y seca se introduce en una bolsa de plástico con cierre hermético. Antes de cerrar la bolsa completamente se introduce un extremo de un tubo de PTFE de 7 mm de diámetro interno y 10 mm de diámetro externo que pasa a través de una bomba peristáltica. Una vez montado se asegura el cierre de la bolsa con cinta aislante para que no entre ni salga nada de aire, dejando el otro extremo del tubo libre. Mediante el uso de la bomba peristáltica a velocidad máxima (220 r.p.m.) se hace el vacío en el interior de la bolsa. La obtención del vacío es fácilmente identificable puesto que la bolsa de plástico queda adherida completamente a la lámpara. Durante el funcionamiento de la bomba peristáltica se introducen en un frasco lavador 40 ml de una mezcla ácida compuesta por HCl y HNO₃ con relación 1:1 en volumen. Una vez conseguido el vacío se adapta el extremo libre del tubo de teflón a un tubo acodado de vidrio de pequeño diámetro introducido dentro de un frasco lavador. En ese mismo instante se rompen los tubos de vidrio de la lámpara golpeándolos con un mazo de goma. El caudal de aspiración máximo de la bomba peristáltica permite que el vapor de mercurio pase a través del tubo de teflón y barbotee en la mezcla ácida. Del resto de la lámpara se elimina el casquillo mientras que los trozos de vidrio junto al polvo fluorescente se someten a agitación rotativa durante $24 \pm 0,5$ horas según las especificaciones de la norma UNE-EN 12457-1 [9]. De modo que se introduce en la botella del agitador todo el vidrio que conforma la lámpara y una cantidad de agua ultrapura doble al peso del vidrio y se agita a 10 r.p.m. Una vez finalizada la agitación se separa el sólido (vidrio) del líquido (agua de lavado). Por otro lado, la bolsa donde se rompe la lámpara se lava manualmente con agua ultrapura para recuperar el polvo fluorescente desprendido durante la rotura. Esta agua se mezcla con el agua de lavado obtenida en la agitación de modo que se recoge todo el polvo fluorescente correspondiente a una lámpara.

La extracción de mercurio contenido en el polvo fluorescente se realiza mediante digestión microondas siguiendo las indicaciones de la UNE-EN 1483 [10]. Se ha utilizado un digestor microondas MILESTONE-1200 MEGA que dispone de un programa específico para digerir aguas

residuales contaminadas con metales pesados que, posteriormente, se pueden analizar mediante técnicas de AAS. El programa descrito en el manual del digestor aconseja introducir 5 gramos de muestra líquida y utilizar como mezcla digestora 6 ml de HNO_3 , 3 ml de HCl y 0,25 ml de H_2O_2 .

El vidrio, exento de polvo fluorescente y separado tras la agitación, se deja secar a temperatura ambiente durante 24 horas envuelto en papel blanco de laboratorio. La extracción de mercurio se realiza mediante digestión microondas siguiendo la metodología de trabajo utilizada para el agua de lavado pero con una muestra de vidrio de 1,5 gramos.

Todas las muestras obtenidas se trasvasan a un matraz aforado de 100 ml y se enrasan con agua ultrapura. Dado que la determinación de mercurio se realiza mediante el método de vapor frío empleando el FIAS, es necesario que las muestras no contengan partículas sólidas en suspensión para evitar obturar los capilares. Para ello, cada una de las muestras se filtra al vacío utilizando filtros con diámetro de mallado de $0,45\ \mu\text{m}$, tal como se indica en las especificaciones del equipo de análisis. Una vez filtradas, se mide su pH para asegurar que se encuentra por debajo de 2 y se guardan a 4°C hasta unas horas antes del análisis, ya que a la hora de analizarlas es conveniente que se encuentren a temperatura ambiente.

2.2 Test de lixiviación

Las especificaciones del test de lixiviación europeo vienen definidas en la *Norma UNE-EN 12457 sobre caracterización de residuos: Lixiviación*. Según esta norma el lixiviado obtenido debe analizarse mediante la Norma UNE-EN 1483. Una vez conocida la concentración de mercurio se puede comparar con los límites establecidos en la Decisión 2003/33/CE por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE [11], [12]. De modo que si la concentración de mercurio es inferior a $0,003\ \mu\text{g/g}$, el vidrio se considera un residuo inerte y debe depositarse en un vertedero de inertes. Si la concentración se encuentra entre $0,003$ y $0,05\ \mu\text{g/g}$, el vidrio se considera un residuo peligroso pero puede depositarse en un vertedero de no peligrosos. Y finalmente, si la concentración se encuentra entre $0,05$ y $0,5\ \mu\text{g/g}$ el vidrio se considera un residuo peligroso y debe depositarse en un vertedero de peligrosos. Si la concentración es superior a este último límite, el residuo debería depositarse en un vertedero de seguridad.

2.3 Análisis de mercurio

El análisis de mercurio se realiza según la norma *UNE-EN 1483:2007. Calidad del agua. Determinación de mercurio. Método por espectrometría de absorción atómica*, empleando como solución portadora ácido clorhídrico al 3% en volumen y como reductor borohidruro de sodio al 0,2 % y al 0,05% en sosa. Esta última solución se filtra al vacío con un filtro de $0,45\ \mu\text{m}$ y se prepara siempre un momento antes de ser utilizada ya que no se puede almacenar.

3. Resultados y discusión

3.1 Distribución de mercurio

Mediante la metodología de trabajo seguida se obtienen tres muestras líquidas con mercurio disuelto correspondientes a cada una de las lámparas CFL analizadas. El mercurio contenido en cada una de las muestras corresponde a un componente distinto de la lámpara: mercurio en fase vapor, mercurio en el polvo fluorescente y mercurio en el vidrio limpio. Se considera vidrio limpio al obtenido del lavado mediante agitación rotativa ya que, tras el lavado, queda exento de polvo fluorescente. Los resultados del análisis de mercurio para cada una de las muestras, expresados en ppb, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentración de mercurio en cada lámpara

N° CFL	Concentración de mercurio (ppb)		
	Fase vapor	Polvo fluorescente	Vidrio limpio
1	20,27 ± 0,22	180,05 ± 11,32	14,17 ± 1,52
2	26,66 ± 0,29	201,65 ± 44,88	23,83 ± 1,07
3	17,73 ± 1,39	195,66 ± 13,21	15,63 ± 0,26
4	22,61 ± 0,31	226,75 ± 1,71	18,05 ± 0,88
5	25,68 ± 0,11	137,45 ± 1,85	19,81 ± 0,21
6	31,30 ± 0,31	232,07 ± 0,41	19,86 ± 0,16
7	23,46 ± 0,57	227,84 ± 7,09	19,58 ± 0,01
8	28,49 ± 0,80	231,82 ± 0,74	18,97 ± 0,13
Media	24,52 ± 3,06	204,16 ± 23,02	18,74 ± 2,03

A partir de las concentraciones medias y conociendo el peso total de las lámparas, la cantidad de vidrio que conforma cada lámpara y las diluciones realizadas durante los ensayos, se puede determinar la concentración de mercurio total por unidad de lámpara, por gramo de vidrio residual y la distribución en porcentaje de este metal en el interior de una lámpara. En la Tabla 2 se muestran los valores medios obtenidos.

Tabla 2. Distribución del mercurio en el interior de una lámpara CFL

Concentración de mercurio	ppb	µg/lamp	µg/g	%
Fase Vapor	24,52 ± 3,06	2,45 ± 0,31	0,05 ± 0,01	0,58
Polvo fluorescente	204,16 ± 23,02	364,97 ± 45,08	7,77 ± 0,99	85,76
Vidrio limpio	18,74 ± 2,03	58,15 ± 6,54	1,24 ± 0,14	13,66
TOTAL	247,42 ± 24,64	425,57 ± 46,54	9,06 ± 1,02	100,00

La concentración de mercurio en fase vapor analizada en distintas lámparas oscila entre 17,73 ppb y 31,30 ppb con un valor medio de 24,52 ppb equivalentes a 2,45 µg/lamp. La concentración de mercurio en el agua de lavado, correspondiente al mercurio en el polvo fluorescente, es un grado de magnitud superior a la de mercurio en fase vapor registrándose un valor medio de 204,16 ppb, es decir, 364,97 µg/lamp. Por último, la concentración en el vidrio exento de polvo fluorescente y extraída mediante digestión microondas oscila entre 14,17 ppb y 23,83 ppb, siendo el valor medio de 18,74 ppb equivalentes a 58,15 µg/lamp. La diferencia de concentración entre las lámparas aun siendo del mismo tipo y fabricante, confirma que hay otros factores que afectan tanto al contenido de mercurio en el interior de una lámpara como a su distribución como son el año de fabricación o las horas de funcionamiento. Sin embargo, en todos los casos queda patente que la mayor parte del mercurio introducido en una lámpara CFL se encuentra en el polvo fluorescente.

La distribución de mercurio en el interior de lámparas CFL usadas indica que el 85,76% del mercurio permanece en el polvo fluorescente cuando éstas quedan en desuso. Este dato concuerda con dos estudios llevados a cabo por Jang et al. [5] y Santos et al. [6] en los cuales la concentración de mercurio en el polvo fluorescente era de 89,35% y 87,73% respectivamente. Estos valores son ligeramente superiores a los obtenidos en el presente estudio debido a que, para eliminar el polvo fluorescente, utilizaron agua acidificada que no sólo elimina el polvo fluorescente sino también parte del mercurio difundido a través del vidrio.

Por otro lado, un estudio realizado por Aucott et al. [13] indica que, tras finalizar la vida útil de una lámpara mercurial, su concentración de mercurio en fase vapor no debe ser superior al 0,4% del mercurio total introducido durante su fabricación. Dado que, según el fabricante de las lámparas analizadas la concentración de mercurio total es de 1,4 mg/lamp, la cantidad de este metal pesado en fase vapor no debe superar los 5,6 µg/lamp. El valor obtenido en este estudio concuerda con lo indicado por Aucott et al. [15] ya que se detectan 2,45 µg/lamp en fase vapor, es decir, el 0,17% del mercurio total introducido.

3.2 Test de lixiviación

El vidrio obtenido de la rotura de las lámparas CFL está clasificado como residuo peligroso según los resultados obtenidos del test de lixiviación europeo y debería depositarse en un vertedero de seguridad, ya que la concentración de mercurio en el lixivante ($7,77 \pm 0,99 \mu\text{g/g}$) es muy superior al límite de $0,5 \mu\text{g/g}$ establecido en la Decisión 2003/33/CE. Sin embargo, tras aplicar un segundo test de lixiviación, esta vez al vidrio limpio, es decir, exento de polvo fluorescente, se obtiene una concentración de mercurio en el lixivante de $0,06 \pm 0,02 \mu\text{g/g}$. Aunque la concentración de mercurio se reduce en un 99%, según la legislación el vidrio se sigue considerando un residuo peligroso pero que puede depositarse en un vertedero de no peligrosos.

4. Conclusiones

La concentración media de mercurio registrada en ocho lámparas CFL del mismo fabricante y con las mismas características es de $425,57 \pm 74,94 \mu\text{g/lámpara}$. Esta variación demuestra que la cantidad de mercurio en las lámparas no sólo varía en función de estos dos factores sino también en base al año y lugar de fabricación. Por otro lado, la distribución de mercurio en el interior varía de una lámpara a otra debido a las diferencias en las horas de funcionamiento. Sin embargo, en todos los casos queda patente que la mayor parte del mercurio introducido en una lámpara CFL se encuentra en el polvo fluorescente cuando alcanza el final de su vida útil (85,76%). Por tanto, eliminando el polvo se consigue reducir enormemente la concentración de mercurio, disminuyendo su peligrosidad. Dado que las plantas de tratamiento no eliminan por completo el polvo fluorescente adherido al vidrio, la cantidad de mercurio en éste será mayor al 13,66% correspondiente únicamente al mercurio difundido en el vidrio. Para conseguir reducir este porcentaje es necesario estudiar procesos de tratamiento que consigan eliminar tanto el polvo fluorescente adherido al vidrio, ya que es el componente con mayor concentración de mercurio, como el mercurio difundido a través del vidrio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Directiva 2002/95/CE del parlamento europeo y del consejo de 27 de enero de 2003 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos. [DOCE L37/19, de 13 de febrero de 2003].
- [2] Durao W., Andrevia de Castro, C., Carvalhinho Windmöller, C. Mercury reduction studies to facilitate the thermal decontamination of phosphor powder residues from spent fluorescent lamps. *Waste Management*, vol. 28, pp. 2311–2319, 2008.
- [3] Dang T. A., Frisk T.A., Grossman M.W. Applications of surface analytical techniques for study of the interactions between Mercury and fluorescent lamp materials. *Anal Bioanal Chem*, vol. 373, pp. 560–570, 2002.
- [4] Directiva 2002/96/CE del parlamento europeo y del consejo de 27 de enero de 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). [DOCE L37/24, de 13 de febrero de 2003].
- [5] Jang M., Hong S.M., Park J.K. Characterization and recovery of mercury from spent fluorescent lamps. *Waste Management*, vol. 25, pp. 5–14, 2005.
- [6] Santos, E. J., Herrmann, A. B., Vieira, F., Satie Sato, C. Determination of Hg and Pb in compact fluorescent lamp by slurry sampling inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Microchemical Journal*, vol. 96, pp. 27–31, 2010.
- [7] Chang T.C., You S.J., Yu B.S., Chen C.M., Chiu Y.C. Treating high-mercury-containing lamps using full-scale thermal desorption technology. *Journal of Hazardous Materials*, vol.162, pp. 967–972, 2009.

- [8] Raposo C., Roeser H.M. Contamination of the environment dy the current disposal methods of mercury-containing lamps in the state of Minas Gerais, Brazil. Waste Management, vol. 21, pp. 661-670, 2001.
- [9] UNE-EN 12457-1:2003 Caracterización de residuos. Lixiviación. Ensayo de conformidad para la lixiviación de residuos granulares y lodos. Parte 1: Ensayo por lotes de una etapa con una relación líquido-sólido de 2 l/kg para materiales con un alto contenido en sólidos y con un tamaño de partícula inferior a 4 mm (con o sin reducción de tamaño). CTN: AEN/CTN 77/SC 5- residuos.
- [10] UNE-EN 1483:2007. Calidad del agua. Determinación de mercurio. Método por espectrometría de absorción atómica. CTN: AEN/CTN 77/SC 1 - agua.
- [11] Decisión 2003/33/CE del consejo de 19 de diciembre de 2002 por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE. [DOCE L11/27, de 16 de enero de 2003].
- [12] Directiva 1999/31/CE del consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos. [DOCE L182/1, de 16 de julio de 1999].
- [13] Aucott M., McLinden M., Winka M. Release of Mercury From Broken Fluorescent Bulbs. Journal of the Air and Waste Management Association, vol. 53, n. 2, pp. 143-151, 2003.

Caracterización de los residuos sólidos municipales en el sector “B” del ITVH

¹Ricardo García García, ¹Mario José Romellón Cerino, ¹Manuel Ruíz Pérez, ¹Jesús Manuel Palomeque Hernández, ^{1,2}Julio Cesar Romellón Cerino, ¹José Luis Sansores Castro, ¹Armando Tosca Castillo
mromellon@itvillahermosa.edu.mx

Resumen

Los residuos sólidos municipales generados en las instituciones educativas son cuantiosos dependiendo del nivel académico que se trate y la infraestructura física de estas. Dichos residuos se envían a los tiraderos a cielo abierto o rellenos sanitarios del servicio municipal. Conocer la cantidad y tipo de residuos sólidos municipales generados en el sector “B” del ITVH es primordial. Se dividió el ITVH en 3 sectores, siendo el “B” el trabajado para este proyecto, el cual consta de 8 edificios. El manejo integral que se le da a los residuos en el ITVH fue estudiado y analizado; para poder cuantificar los residuos sólidos municipales generados se etiquetaron las bolsas donde recogen los residuos. Los residuos se clasificaron en **Plásticos:** botellas, platos, bolsas; **Papel:** hojas, cartón, bolsas y **Otros residuos:** vidrio, metal, residuos de comida, madera, etc. Durante los 31 días de monitoreo se produjeron 2,569.6 Kg de residuos sólidos municipales, de los cuales 1,156 Kg son plásticos. La generación de los plásticos en las instituciones educativas es sobre todo por las bebidas que se consumen y los productos desechables que se consumen en las cafeterías para la venta de comida, si se aprovechan estos residuos se pueden generar ingresos para las mismas instituciones. Aunque se debe procurar minimizar la generación de los mismos.

Palabras Clave: *diagnostico, manejo, plásticos*

1. Introducción

La tendencia mundial al establecimiento de sistemas de calidad en todas las ramas y en todos los sectores de la industria y de servicios públicos, ha llevado a las instituciones educativas a acreditarse en el sistema de calidad ambiental ISO 14000. Los institutos que pertenecen al Sistema Nacional de Educación Tecnológica y la Dirección General de Educación Superior Tecnológica se están acreditando en dicho sistema ambiental. El Instituto Tecnológico de Villahermosa (ITVH) cuenta con un área para el establecimiento de la ISO 14000, uno de los rubros que este sistema abarca es el manejo integral de los residuos sólidos municipales, el cual debe realizarse en todo el instituto, motivo por el cual se realizó este proyecto. Bajo las condiciones para un manejo integral de los residuos sólidos municipales. [1]

2. Desarrollo

Las actividades que realizadas para la elaboración de este proyecto fueron resumidas en cinco funciones vitales y de gran importancia para la elaboración de una propuesta para el tratamiento de los residuos sólidos municipales.

Las cuales contienen la información necesaria de los pasos realizados en la elaboración del sistema.

- Análisis de procesos y actividades.
- Selección del sector “B”.

- Monitoreo del sector “B”.
- Inspección del tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales del sector “B”.
- Análisis de la información y elaboración de la propuesta para el tratamiento de los residuos sólidos municipales.

2.1 Análisis de procesos y actividades

Se solicito autorización con autoridades del ITVH para establecer coordinación con personal de la compañía encargada de la limpieza para que en el lapso de tiempo que duro el proyecto nos colocaran etiquetas con el número de edificio a las bolsas de basura.

2.2. Selección del área a diagnosticar

Las instalaciones del ITVH se dividan en dos sectores, los cuales se mencionan, sector “A” y sector “B”, y por lo consiguiente se nos designo es sector “B” el cual está compuesto como a continuación se describe:

SECTOR “B” (Compuesto Por 8 edificios):

Edificio **No. 6** Aulas de Ingeniería Civil (Fotografía No. 1); Edificio **No. 7** Aulas de Ingeniería Química y Bioquímica; Edificio **No. 8** Aulas diversas; Edificio **No. 9** Aulas de Ingeniería en Sistemas computacionales; Edificio **No. 11** Aulas de la Licenciatura en Administración; Edificio **No. 28** Aulas del Laboratorio de idiomas; Edificio **No. 29** Unidad académica departamental I; Edificio **No. 30** Unidad Académica Departamental II.

2.3. Monitoreo

Una vez designado el sector, que nos correspondió monitorear, el cual es el sector “B”, se procedió a seleccionar las muestras que estaban etiquetadas por número de edificio, esta actividad se llevó a cabo en el depósito de residuos sólidos del ITVH.

Una vez que seleccionamos nuestras muestras etiquetadas, se procedió al pesado de las muestras por cada una de ellas, esta actividad la llevamos a cabo en el laboratorio de ingeniería civil lugar donde se encontraba la báscula facilitada para hacer el pesado de nuestras muestras.

Una vez obtenido el peso total de cada una de las muestras, hacemos las anotaciones correspondientes, trasladamos las muestras al área del depósito de residuos sólidos y a un costado de este depósito hacemos la separación de los residuos sólidos, el cual consta con la siguiente clasificación con la que se determinó con los asesores.

Clasificación de residuos del sector “B”.

- **Plásticos:** botellas, platos, bolsas.
- **Papel:** hojas, cartón, bolsas.
- **Otros residuos:** vidrio, metal, residuos de comida, madera, etc.

2.4. Inspección del tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales

Después de haber pesado las muestras en su totalidad por edificio y por residuos de cada muestra, se hicieron las anotaciones correspondientes y luego se procedió a colocar las muestras en el depósito de residuos sólidos municipales del ITVH, para su disposición final de la cual es encargado el servicio de limpia y recolección de basura del H. Ayuntamiento del Centro.

Este procedimiento se llevó a cabo durante un lapso de tiempo de veinticinco días hábiles que duro el muestro conforme a nuestro cronograma de actividades, en el cual no se incluyeron días festivos, sábados y domingos.

En este proceso, nos encontramos con diversos factores que afectaron la medición del muestreo, debido a que el depósito de RSM del ITVH se encuentra al aire libre, afectando el peso de las muestras cuando se presentaban lluvias.

3. Resultados

El monitoreo fue de 25 días laborales, considerando que los estudiantes de nivel superior del Instituto tienen un periodo de receso escolar, se puede observar que las fechas de estudio fueron durante el otoño de 2010, lo cual puede influir en el consumo de sus alimentos.

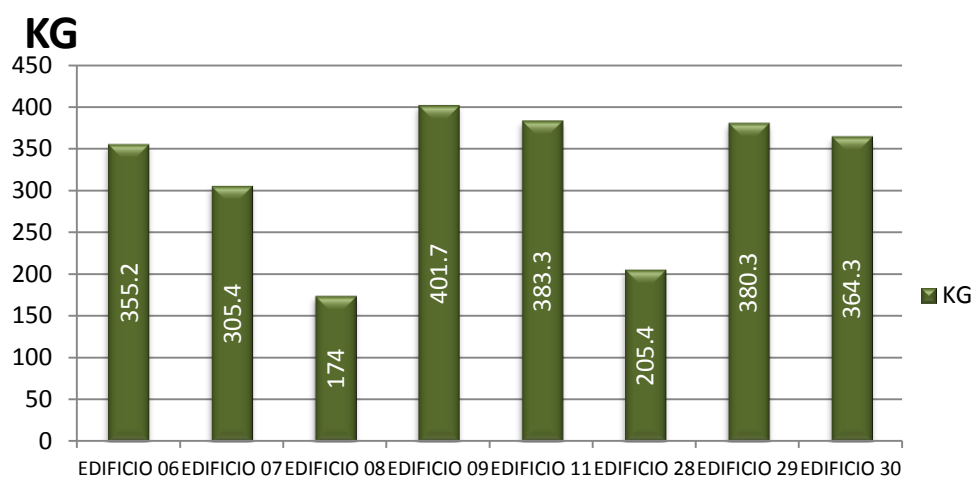


Figura 1. Peso total de los RSM del Sector B

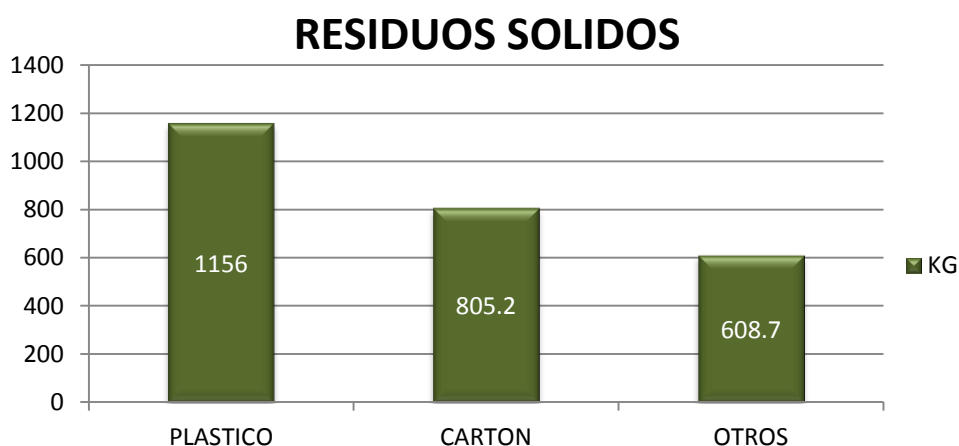


Figura 2. Peso total de los RSM del Sector B por tipo de residuo

4. Conclusiones

La generación de residuos es considerablemente mayor en el edificio 9, lo cual se debe al número de estudiantes que por el circulan y que asisten a clases en dicha área. Podemos observar que de los 2,569.9 Kg de residuos generados en todos los edificios del sector “B”, más del 44% son plásticos, esto debido al consumo de bebidas embotelladas en su presentación individual de 600 ml, aunque existen máquinas dispensadoras de refresco en lata que son hechos en aluminio no se encontró ninguna de estas entre los residuos recolectados, muy posiblemente el personal de limpieza realiza una recolección de dichas latas de refrescos ya que son de aluminio y tienen un buen valor en el mercado del reciclaje. Más sin embargo la recolección de plásticos en el instituto debe ser vista como una oportunidad de reciclar material con beneficio económico, ya que pese a que es un material barato se generan cantidades considerables de plástico de buena calidad. El consumo de bebidas embotelladas se verá incrementado seguramente en la época de calor que en estado de Tabasco alcanza hasta los 42 °C, lo cual aumentara la generación de plásticos.

Referencias Bibliográficas

[1] INE-SEMARNAT, 2001. Minimización y Manejo Ambiental de Residuos Sólidos. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. México, D.F.

Caracterización de residuos sólidos en una IES; el caso del ITMexicali

José Gpe. Melero Oláquez, Dora A. Hernández Martínez, Hugo Favela Ávila, Sara Ojeda Benítez

brechista@yahoo.com

Resumen

Para manejar en forma integral los residuos sólidos que se generan en una Institución de Educación Superior, es necesario conocer la composición de dichos residuos, por ello en este trabajo se presentan los resultados de la generación y cuantificación de los residuos sólidos generados en el Instituto Tecnológico de Mexicali, con el propósito de conocer cuántos residuos genera en promedio un miembro de esta institución, así como proponer un programa de concientización en la comunidad tecnológica para fomentar prácticas de reuso, de reducción y de reciclaje y proponer su inserción en el modelo educativo por competencias de esta institución, construyendo con ello una formación integral que incluya el área ambiental y contribuir para que el Instituto Tecnológico de Mexicali sea una Institución de Educación Superior que promueva el desarrollo sustentable.

Palabras Clave: *composición de residuos, generación, programa de concientización, desarrollo sustentable*

1. Introducción

25

Actualmente, uno de los problemas más fuertes que tenemos como humanidad es el deterioro ambiental lo cual lleva a un deterioro en la conducta de la sociedad [1], pues normalmente ningún problema se genera y/o se multiplica solo.

Para el caso de esta investigación que es referida a los residuos sólidos, claramente podemos ver en cualquier parte del mundo la gran cantidad de desechos que genera el ser humano, como son: papel en todas sus presentaciones, cajas de todos tipos, botellas de plástico, vidrio y aluminio, diversos metales, desechos domésticos (desde pañales hasta muebles, pasando por ropa, calzado, joyería de fantasía, juguetes, etc.), desechos considerados peligrosos como son aparatos de refrigeración, aparatos que funcionan con baterías altamente contaminantes, aparatos que funcionan con energía nuclear, etc. todo esto hace pensar que como humanidad no estamos aportando beneficios a nuestro medio ambiente, sino todo lo contrario.

Así pues los residuos sólidos, su recolección, transporte y procesamiento constituyen un problema en las aglomeraciones urbanas y se agrava conforme éstas crecen, de la misma forma estos constituyen un problema en la Institución ya que con el paso de los años se ha dado un crecimiento tanto humano como en edificios con la consiguiente problemática que esto implica.

Al aumentar los residuos sólidos, se elevan los costos administrativos de su manejo [2], además de afectar estéticamente y en la salud de la comunidad tecnológica. No basta con acondicionar un lugar dentro de la Institución lo más lejos posible del contacto humano para tener un depósito temporal de los residuos, más bien se necesita preparar y re-educar a toda la comunidad tecnológica para que realice una adecuada disposición de los residuos que incluya principalmente el acopio y la separación para reuso[3], además de un lugar adecuado conforme las normas oficiales.

2. Metodología

Este trabajo se realizó en la ciudad de Mexicali, en el Instituto Tecnológico de Mexicali, Institución de Educación Superior que es parte del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica con 259 planteles en la República Mexicana. Actualmente la Institución cuenta con 2,431 alumnos en 12 carreras de licenciatura, 250 docentes y 79 administrativos. Junto con las áreas verdes, jardines, estacionamientos y espacios deportivos se cuenta con una extensión aproximada de 30 hectáreas.

2.1 Caracterización de los residuos sólidos

La caracterización se llevó a cabo con el total de los residuos generados diariamente tomando en cuenta la NMX-AA-022-1985 [4] en cuanto al equipo y aparatos que se deben usar para tal fin.

En común acuerdo con el departamento de servicios generales de la Institución quien proporcionó los medios necesarios para llevar a cabo la recogida y el transporte al depósito temporal para su pesaje, se procedió a recoger la basura durante cinco días de la semana, en bolsas de plástico que contenían la basura del día en el área donde se encontraba ubicado cada contenedor, para ello se etiquetaron señalando el edificio de donde provenían, esto para determinar la generación y composición de los residuos por edificio, al recoger toda la basura de la Institución, se llevó al depósito temporal, allí se contabilizaron las bolsas por edificio y se procedió a pesarlas.

Los residuos de jardín no se incluyeron en este trabajo porque la recolección de estos residuos tiene periodos distintos que el resto de los residuos, tampoco se incluyeron los residuos del área de la cafetería porque estos son manejados en forma privada, esto es, la compañía que tiene en concesión la cafetería de la Institución, contrata sus propios servicios de disposición de los residuos. Posterior a la recolección y registro de las muestras, se procedió a pesarlas y caracterizarlas, proceso en el cual se usaron dos tipos de balanzas:

- balanza Detecto scales 11s con capacidad para 100 Kg con una resolución de 500gr.
- balanza VitaMinder con una capacidad para 500 gr y una resolución de 10 gr.

La cuantificación de subproductos se realizó de acuerdo a la NMX-AA-022-1985, con modificaciones de acuerdo con Ojeda-Benítez et al [5], para protección personal se usaron guantes de látex y de carnaza (juntos), cubrebocas y batas de laboratorio.

También se usaron cuatro botes de plástico con capacidad de cuatro litros y una tara de 100 gramos, esto para pesar botellas de vidrio, vasos de foam, bolsas de alimentos chatarra, etc.

Para residuos de gran volumen tales como envases de plástico (PET 1), papel, cartón, etc. se usaron dos botes de plástico de 50 litros de capacidad y con una tara de 2.5 Kg.

Para evitar posibles vapores emanados de las bolsas, la caracterización se llevó a cabo en un lugar techado con buena ventilación, lo anterior para desechar cualquier problema de salud generado por la acumulación de vapores que se generan dentro de las bolsas, pues aunque estas contengan residuos del acopio de un día, con las altas temperaturas que se registran en Mexicali, aproximadamente 30 a 35 grados C en Abril o Mayo, es suficiente para hacer pasar un momento incomodo a cualquier persona.

3. Resultados

En la tabla 1 se muestran en peso y en porcentaje los resultados promedio de la caracterización, con el resultado en porcentaje se puede observar cual es la proporción de la basura generada con respecto a su categoría, estos resultados incluyen la agrupación de las categorías con menos de 1,000 gr. que se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Caracterización de los residuos sólidos en el ITMexicali

Tipo de residuo	Peso (gr)	Pctje. (%)
Residuos sanitarios	20,560	
Plástico 1 PET	18,960	
Residuos de comida	16,475	
Hojas y pasto	10,400	
Papel oficina	8,100	
Papel diverso	6,780	
Vidrio ámbar	6,700	
Plástico 3-7	5,906	
Orgánicos diversos	3,700	
Cartón diverso	3,440	
Residuos diversos	1,573	
Envases con comida	1,450	
Envases diversos	1,355	
Residuos difíciles de cuantificar	1,222	
Bolsas de plástico	1,035	
Residuos peligrosos	677	
Metales diversos	668	
TOTAL	109,001	

De las 26 categorías que se caracterizaron, algunas son muy bajas tanto en peso como en volumen por lo que, para efectos del presente trabajo, se determinó agruparlas en 4 grupos como se muestran en la tabla 2, cada una de éstas categorías pesan menos de 1,000 gr.

En su conjunto ésta subcategoría representa menos del 4% del total de la basura además solamente los metales diversos (0.06%) son los únicos que se pueden considerar como potencial de recuperación, obviamente en la Institución si hay generación de latas de aluminio, pero estas no llegan a los depósitos de basura porque en su mayoría el personal de limpieza las separa o los mismos alumnos lo realizan para venderlas o para donarlas a alguna Institución donde llevan a cabo visitas de estudio.

Tabla 2. agrupación de residuos de bajo peso

Tipo de residuo	Peso (gr)
Residuos diversos (telas, foam, bolsas con comida chatarra, folletos plastificados)	1,573
Envases diversos (tetrapack, plásticos diversos)	1,355
Metales diversos (latas de hojalata y aluminio, otros metales)	668
Residuos peligrosos (envases de productos de limpieza)	677
total	4,273

La figura 1 muestra el porcentaje de cada una de las categorías caracterizadas, se puede observar que las primeras 8 categorías son las que tienen un nivel significativo en cuanto al peso y volumen que representan.

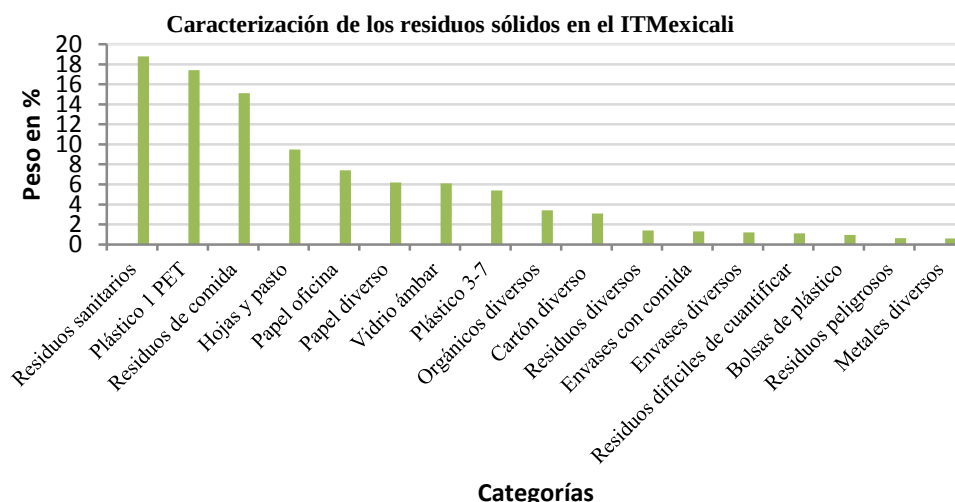


Figura 1. Generación de residuos en el ITMexicali

En la figura 2 se muestran los porcentajes diarios de los residuos sólidos en una forma más clara, como se puede observar, los residuos sanitarios, el plástico 1 (PET) y los residuos de comida de difícil separación (bolsas, platos de foam u otro tipo de envase con restos de comida de todos tipos pegada a estos), son las 3 categorías de residuos que más se generan en la Institución. En el caso de los residuos de comida de difícil separación se pudo observar que existe una cultura de desperdicio de lo que se consume, porque antes de tirarla a los botes de basura era comida comestible.

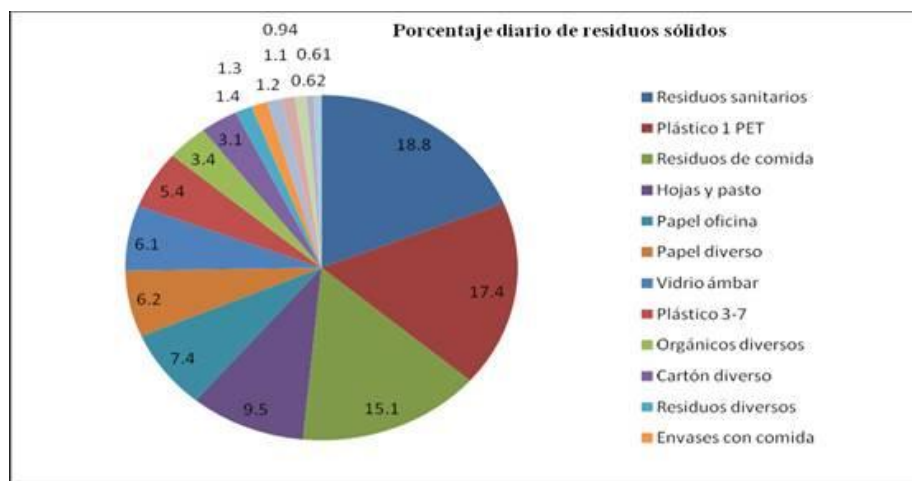


Figura 2. Porcentaje diario de residuos sólidos generados en el ITMexicali

4. Conclusiones

El estudio de generación realizado, muestra la importancia de conocer la dimensión del problema de los residuos en una institución, así como el potencial de recuperación de dichos residuos para desviar un porcentaje de estos que van a la disposición final sin haber sido valorizados.

A partir de este conocimiento se proponen las siguientes acciones a seguir para que la disposición final de los residuos generados disminuya:

1. Presentar los resultados de este trabajo a la alta gerencia (Directivos, subdirectores y jefes de departamento), con el objetivo de hacerles ver la importancia que tiene el tener buenos hábitos de separación de los residuos antes de disponerlos en los botes de basura.
2. Formar un equipo de trabajo comprometido que incluya directivos, docentes y alumnos; en este caso, mientras llevábamos a cabo la caracterización de los residuos se acercaron docentes y alumnos para ver en que podían participar, por lo que, estamos seguros, es factible formar un equipo de trabajo para *trabajar en equipo*.
3. Preparar depósitos para la basura indicando donde deben estar y qué tipo de residuos se deben depositar en cada uno de ellos, indicándolo en un mapa de la Institución.
4. Planear, junto con la alta dirección, la forma de presentar los resultados y de disponer los residuos en los depósitos, a todos los miembros de la Institución (Docentes y alumnos). Principalmente se llevará a cabo a través de:
 - a. Comunicados en el portal oficial de Internet de la Institución
 - b. Mandando mensajes usando los medios más comunes entre los estudiantes; entre otros el twitter y facebook.
 - c. Realizando pláticas-talleres de una hora semanal con el fin de motivar y promover la separación de los residuos y la importancia de llevarlo a cabo.
5. Incluir en la campaña semestral “un día por el tec” [6] un equipo que realice una práctica de caracterización de los residuos ese mismo día y presentar los resultados al final del día.
6. Entrenamiento en técnicas de reciclado principalmente de orgánicos, por medio de talleres para todos los integrantes de la Institución [7].
7. Acondicionar un área en los terrenos baldíos de la Institución para realizar prácticas de composteo a través de servicios sociales [7].

Estas propuestas y las que se puedan agregar conforme este programa se dé a conocer en la Institución nos permitirá tener además de una cultura en pro del medio ambiente, una mejor imagen ante la sociedad a la cual servimos. El cambio que podemos esperar para revertir cualquier situación no necesariamente es tecnológico, sino de ACTITUD, o sea de cambios en nuestra conducta, en nuestras creencias y a un verdadero compromiso por hacer y decir las cosas que nos lleven a tomar las riendas de nuestras vidas. Este cambio, por sus implicaciones tanto prácticas como teóricas, debe iniciar en los lugares donde el pensar y el actuar se dan de manera natural, libre y en grandes cantidades, es decir en una IES, puesto que los alumnos en ellas tienen la iniciativa, el ingenio y donde se permite promover el pensamiento crítico-constructivo mucho más amplio que en cualquier otro lugar.

Agradecimientos

Este trabajo se llevó a cabo gracias a la oportunidad que tengo de disfrutar un año sabático por parte de la DGEST y a través de una beca CONACYT que me permite estudiar en el Instituto de Ingeniería de la UABC. *JGMelero*.

Agradezco el apoyo financiero del Instituto Tecnológico de Mexicali para la realización de este trabajo. *DAHernández*.

Esta actividad se llevó a cabo con la valiosa ayuda de 4 alumnos de la carrera de Ingeniería Química que están prestando su servicio social en este trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial a la Doctora Sara Ojeda por su paciencia y apoyo en todo momento.

Referencias Bibliográficas

- [1] Tonglet M., Phillips P., Bates P. Determining the drivers for householder pro-environmental behaviour: waste minimization compared to recycling. *Resources, Conservation and Recycling*. 2004. Vol. 42, pp 27-48.
- [2] Castillo H. Garbage work and society. *Resources, Conservation and Recycling*. 2003. Vol. 39, pp 193-210.
- [3] Buenrostro O, Bocco G, Cram S. Classification of sources of Municipal solid wastes in developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*. 2001. Vol. 32, pp 29-41.
- [4] Normas Mexicanas vigentes. NMX-AA-022-1985. Consulta 13 Mayo 2011.
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/>
- [5] Ojeda S, Armijo C y Ramírez E. Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city. *Resources, Conservation and Recycling*. 2003. Vol. 39: pp 211-222.
- [6] Dpto. de comunicación del ITMexicali. Día por el tec 2010. Comunicación Institucional.
- [7] Maldonado L. Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. *Revista Ingeniería*. Vol. 10(1). 2006. pp. 59-68.

Caracterización de residuos sólidos domiciliarios en Quintana Roo

José Luis Guevara Franco, Laura Patricia Flores Castillo

luisguev@uqroo.mx

Resumen

Uno de los mayores problemas de nuestra sociedad es la producción de residuos sólidos, la cual se incrementa constantemente. El estudio de generación, caracterización y cuantificación de los subproductos de los residuos sólidos, son la base para establecer las acciones a realizar para el manejo de los residuos sólidos, en este estudio se presentan la caracterización de siete poblaciones del estado de Quintana Roo: Chetumal (1998 y 2006), Felipe Carrillo Puerto, Javier Rojo Gómez, Laguna Guerrero, Holbox, Tulum y Bacalar, basándose en las normas oficiales mexicanas NMX-AA-61-1985, NMX-AA-19-1985 y NMX-AA-22-1985. Identificando los residuos que son susceptibles a ser reciclados, composteados y los que requieren un sitio de disposición final u otro tratamiento. Se observan características muy similares en Javier Rojo Gómez, Laguna Guerrero y Felipe Carrillo Puerto, con aproximadamente el 50% de residuos orgánicos, el 25 % de residuos inorgánicos y del 6 al 8% de residuos sanitarios. En Bacalar, Tulum y Holbox los residuos orgánicos se encuentran entre el rango de 28 a 35%, los sanitarios del 11 al 17% y los inorgánicos en Bacalar y Tulum 38% siendo estas tres poblaciones con una vocación turística. En la ciudad de Chetumal se observó un incremento en la cantidad de residuos inorgánicos del 19% en 1998 a 34% en el 2006, en este último con una mayor semejanza con los residuos generados por las poblaciones turísticas. En promedio 41% de los residuos son orgánicos composteables, 28 % son inorgánicos reciclables y 10% son sanitarios.

Palabras Clave: *basura, composición, desechos, separación de residuos*

1. Introducción

Uno de los principales problemas de todos los asentamientos humanos es la basura, problema que se magnifica en proporción directa al tamaño de la población; para plantear soluciones, es necesario cuantificar y conocer la composición de los residuos que se generan; en el presente trabajo se describe la cantidad y composición de los residuos sólidos domiciliarios generados en las poblaciones de Chetumal, Bacalar, Tulum, Javier Rojo Gómez, Laguna Guerrero, Felipe carrillo puerto e Isla Holbox, Quintana Roo, así como una perspectiva de los posibles escenarios y posibilidades de separación de los residuos para su aprovechamiento, recuperación o reciclado.

2. Área de Estudio

La ciudad de Chetumal, capital del estado de Quintana Roo, se localiza al sur del estado, con 121,602 habitantes [1], cuenta con un tiradero a cielo abierto de 13.2 ha, que se diseñó originalmente como relleno sanitario, cuenta con 15 camiones recolectores y cubre 22 rutas de recolección domiciliaria, otros vehículos recolectan los residuos de mercados, parques y jardines, generándose en promedio 94 440 Kg. por día de residuos sólidos domiciliarios [2].

La comunidad de Laguna Guerrero, con 535 habitantes, se encuentra a 40 km de Chetumal a la orilla de la laguna con su mismo nombre, su principal actividad es la agricultura, las viviendas son pequeñas casas que cuentan con amplios patios, apreciándose gran cantidad de vegetación, no existe un sitio definido para la disposición final de los residuos y no cuenta con servicio de recolección de basura; se generan en promedio de residuos sólidos domiciliarios 345 kg por día [3].

La comunidad Javier Rojo Gómez “el Ingenio”, recibe este sobrenombre debido a que la principal actividad de sus 2 934 habitantes, está relacionada con el ingenio azucarero Álvaro Obregón, éste se localiza a 65 km de la Cd de Chetumal, sus viviendas son pequeñas, están construidas bajo un mismo diseño en su mayoría, con pocos metros para patios y jardines; se genera 1 305 Kg. por día en promedio de residuos sólidos domiciliarios, la recolección se realiza con un solo vehículo tipo “Pick Up”, y se lleva a un tiradero a cielo abierto de aproximadamente 4 hectáreas, sin ningún control [4].

Holbox es una pequeña isla al norte de la Península de Yucatán, con una extensión de 40 km de largo por 2 de ancho, una población fija de 1 237 habitantes, se calcula que en época de vacaciones puede llegar hasta los 10 000 visitantes, situada dentro del área natural protegida Yum Balam, la principal actividad es el turismo. En el poblado las calles se encuentran sin recubrimiento asfáltico, la mayor parte de la isla es zona de manglar, y zonas inundables. La generación per cápita de residuos domiciliarios es de 1 257 Kg. por día [5].

Tulum desde el 13 de marzo de 2008 cabecera del Municipio de Tulum y situada en el extremo sur de la Riviera Maya, con una población de 14 790 habitantes [1], es uno de los principales destinos turísticos internacionales, se encuentra junto a ruinas arqueológicas de la ciudad maya de Tulum, de la que recibe su nombre. Se localiza geográficamente en los 20°12'29" N y los 87°27'59" W. Su altitud es de 5 msnm. Su acceso es por la carretera 307 la cual comunica 128 km al norte con Cancún y al sur a 260 km con Chetumal capital del estado.

Felipe Carrillo Puerto en el centro del estado de Quintana Roo situada a 159 Km. al norte de la ciudad de Chetumal y a 229 Km. al sur de Cancún, por su situación geográfica es un centro comercial de muchas comunidades, sus principales actividades económicas son agricultura y comercio, tiene una población de 25 744 habitantes [1].

Bacalar está situada en el sur del estado de Quintana Roo en las coordenadas geográficas 18°40'37" N 88°23'43" O y a una altitud de 10 metros sobre el nivel del mar, se encuentra a 45 kilómetros al norte de la ciudad de Chetumal con la que une la Carretera Federal 307 que entre Bacalar y Chetumal es una autopista de cuatro carriles, Bacalar se encuentra junto a la laguna que le da nombre, la Laguna de Bacalar, con una población de 9 833 habitantes [1].

3. Metodología

Este trabajo recopila algunos de los estudios que se han realizado en el estado de Quintana Roo, desde 1996 hasta el 2010, basándose en las normas oficiales mexicanas NMX-AA-61-1985 [6], esta Norma Oficial Mexicana especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio, la NMX-AA-19-1985 [7] establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación de "cuarteo" y la NMX-AA-22-1985 [8], que establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos municipales. Al inicio del muestreo de cada sitio, se seleccionan aleatoriamente cierto número de muestras y se entrevista casa por casa, invitando y explicando la finalidad del estudio; se investiga el número de habitantes por casa y se entrega una bolsa para depositar la basura generada cada día, durante los siete días que dura el estudio. Las bolsas recogidas son etiquetadas y se pesan registrando los datos, posteriormente se vacían para aplicar el método de cuarteo y realizar la caracterización de los

residuos, en este punto es necesario alcanzar 200 kg de muestra para obtener al menos 50 kg en el cuarteo.

Después de haber realizado la caracterización, se agruparon en residuos orgánicos que comprenden los residuos alimenticios y de jardinería; residuos inorgánicos que comprenden vidrio, papel, cartón, plástico rígido, plástico de película, lata y material ferroso; como residuos sanitarios se agruparon papel sanitario, pañal desechable y medicamentos; y en otros se agruparon cuero, fibras sintéticas, hueso, hule, loza y cerámica, trapo y residuos finos los cuales son materiales no reciclables, con la finalidad de poder realizar un análisis del potencial de aprovechamiento y recuperación de residuos reciclables y del material orgánico que pudiera ser susceptible para la elaboración de composta y finalmente los residuos sanitarios que requieren tratamiento o disposición final adecuada junto con otros residuos no aprovechables.

4. Resultados y Discusión

La tabla 1 muestra la composición de los residuos sólidos domiciliarios de las diferentes comunidades de muestreadas del Estado de Quintana Roo.

Tabla 1. Composición de residuos en comunidades de Quintana Roo

Población	Tipo de residuos (%)			
	Orgánicos	Inorgánicos	Sanitarios	Otros
Bacalar	28.25	38.79	14.21	18.75
Isla Holbox	35.48	23.65	10.76	30.10
Tulum	28.10	37.95	17.47	16.45
Laguna Guerrero	52.18	22.19	5.62	20.01
Javier Rojo Gómez	52.40	24.25	7.75	15.62
Felipe Carrillo Puerto	53.34	29.68	7.50	9.46
Chetumal (1998)	42.38	18.45	6.09	33.11
Chetumal (2006)	40.59	34.03	10.24	15.19

Podemos observar algunas similitudes en las composiciones de algunas de las comunidades, como sucede con Bacalar, Isla Holbox y Tulum las cuales presentan una proporción de residuos orgánicos entre el 35 y 28%, encontrándose dentro de los valores típicos de residuos orgánicos [9] reportados entre el 29% y 37 %, y la proporción de residuos sanitarios del 10 al 17% . Estas tres poblaciones tienen características muy similares por ser poblaciones turísticas y encontrarse cerca de un cuerpo de agua como Bacalar o Tulum y Holbox a la orilla del mar con una proporción alta de residuos inorgánicos por una gran proporción de plástico, vidrio y cartón.

Las comunidades de Chetumal, Javier Rojo Gómez, Laguna Guerrero y F. Carrillo Puerto presentan similitud en la proporción de residuos orgánicos, los cuales son casi la mitad de los residuos, los inorgánicos con un 22 al 34% y los residuos sanitarios con una proporción entre el 6 y 10%.

Como Chetumal es la población muestreada de mayor número de habitantes observamos una proporción de 30% de residuos inorgánicos y el 40% de orgánicos observando un aumento de la proporción de residuos inorgánicos en el muestreo del 2006. Encontrando una tendencia a utilizar mayor cantidad de envases que generan mayor cantidad de residuos sólidos inorgánicos.

La proporción de residuos orgánicos es mayor en casi todos los casos, a excepción de Tulum y Bacalar. Los residuos inorgánicos aprovechables fluctúan del 18 al 37 % y finalmente los residuos que no son aprovechables o que deben de llegar al sitio de disposición final se encuentran entre el 16 y 36 %, esta última fracción es la que quedaría en un posible escenario de aprovechamiento y recuperación de los residuos sólidos.

Tabla 2. Residuos en comunidades de Quintana Roo

Población	Tipo de residuos	
	Recuperables (%) Orgánicos +Inorgánicos	Disposición final (%) Sanitarios + Otros
Bacalar	67.05	32.95
Isla Holbox	59.13	40.86
Tulum	66.05	33.92
Laguna Guerrero	74.37	25.63
Javier Rojo Gómez	76.65	23.37
Felipe Carrillo Puerto	83.02	16.97
Chetumal (1998)	60.83	39.02
Chetumal (2006)	74.62	25.42

La tabla 2 representa un posible escenario para un manejo sustentable de los residuos sólidos, reduciendo la cantidad de material que llega a los sitios de disposición final, disminuyendo el potencial de contaminación por residuos, ya que en ninguno de los sitios se cuenta con un relleno sanitario, de acuerdo con la normatividad aplicable.

Los resultados de la generación per cápita de residuos sólidos, no se encuentra fuera del rango para los reportados para México y Latinoamérica e incluso, algunos de las comunidades se encuentran por debajo de estos valores.

4. Conclusiones

Se puede apreciar que para todos los sitios, más del 60 por ciento de los residuos pueden ser aprovechados, recuperados o reciclados; la separación de los residuos orgánicos de los inorgánicos permitiría potenciar más la recuperación de los residuos.

Este trabajo permite visualizar escenarios posibles en el estado, para el mejor manejo de los residuos sólidos en las diferentes comunidades, en base al potencial de aprovechamiento y recuperación de materiales, así como las necesidades mínimas para planear la disposición final.

Es necesario aplicar campañas para fomentar la separación de los residuos, a fin de poder recuperar estos materiales de la mejor manera.

Aún con las mejores tecnologías, no es posible recuperar los residuos de manera eficiente si no se realiza desde la fuente, por lo que es necesario considerar el factor humano en este proceso, por medio de modificación de hábitos y actitudes pro ambientales para la separación de los residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda, 2000
- [2] Guevara Franco, J.L, “Aprovechamiento y recuperación de residuos sólidos municipales”, Gaceta Regional del Sistema regional de Investigación Justo Sierra, año 01, número 1, Enero-marzo 2000.
- [3] Sarmiento Mariscal, M.C.; Guevara Franco, J.L; Flores Castillo, L.P.; “Generación y caracterización de residuos sólidos municipales en la comunidad rural Laguna Guerrero, Quintana Roo”. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 17, suplemento 1, 2001, Pág. 86.
- [4] Guevara Franco, J.L; Flores Castillo, L.P.; Saldaña Hernández, B.; Estrada Ramos, R.E; “Generación y caracterización de residuos sólidos municipales en la comunidad rural Javier Rojo Gómez, Quintana Roo” Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 17, suplemento 1, 2001, Pág. 85.

- [5] Guevara Franco, J.L; Flores Castillo, L.P; Canul Ku J.C., “Manejo de los residuos sólidos municipales, caso de estudio Isla Holbox” VII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Baja California, 2002.
- [6] SEMARNAT, 2010 <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Mexicanas%20Vigentes/NMX-AA-061-1985.pdf>
- [7] SEMARNAT, 2010, <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Mexicanas%20Vigentes/NMX-AA-015-1985.pdf>
- [8] SEMARNAT, 2010 <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Mexicanas%20Vigentes/NMX-AA-022-1985.pdf>
- [9] Tchbanoglous, G., Theisen, H. Vigil, S. “Integrated Solid Waste Management”. 1993. McGraw-Hill. p. 978.

Caracterización de residuos sólidos en la industria cerámica y su relación con las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs)

Valeria Ibáñez-Forés, Ana Gómez-Parra, M^a Dolores Bovea*, Antonio Gallardo, Francisco J. Colomer
*bovea@uji.es

Resumen

El objeto de este trabajo es realizar una caracterización de los residuos sólidos, tanto peligrosos como no peligrosos, producidos en la industria cerámica. Para ello, se ha analizado los residuos sólidos procedentes de más de 40 empresas fabricantes de pavimento y revestimiento cerámico en España. Tras su asignación a m² de baldosa cerámica producida, se han caracterizado de acuerdo al código LER y RD 952/1997, y distribuido entre los procesos unitarios en que puede dividirse la producción de dichas baldosas. Finalmente, se han estudiado las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) propuestas en el documento BREF sectorial correspondiente, y se ha realizado una selección de las más adecuadas para su implantación en cada proceso unitario.

Palabras clave: *industria cerámica, mejores técnicas disponibles, MTD, residuos sólidos*

1. Introducción

Hasta el inicio de la crisis económica mundial en 2008, la cerámica española representaba el 40% de la producción europea de pavimento y revestimiento cerámico [1]. Dicha industria está muy concentrada territorialmente, y más del 90% de la producción nacional procede de la Comunidad Valenciana, concretamente del área delimitada por un radio de unos 30 kilómetros en torno a Castellón, la capital de provincia del área de La Plana [2] y [3].

La elevada concentración industrial y la cada vez más exigente legislación europea en materia medioambiental [4] y [5], requieren la aplicación de medidas de seguimiento y control para la gestión y reducción del impacto ambiental producido por las altas tasas de generación de residuos, vertidos y emisiones atmosféricas en la zona.

El objetivo principal de este estudio es analizar la generación y la gestión de los residuos peligrosos (RP) y no peligrosos (RNP), producidos por el sector cerámico español, a partir de datos procedentes de 40 azulejeras localizadas en la provincia de Castellón. Concretamente, se pretende:

1. inventariar los residuos (RP y RNP) generados, caracterizándolos en función de las normativas vigentes españolas;
2. Identificar la etapa u origen de generación de cada residuo a lo largo del proceso de fabricación de la baldosa;
3. Proponer medidas para minimizar la generación de residuos en planta; y
4. Sugerir técnicas de valorización in situ para aumentar la sostenibilidad de su ciclo de vida.

Para ello, se ha seguido la metodología mostrada en la Figura 1.

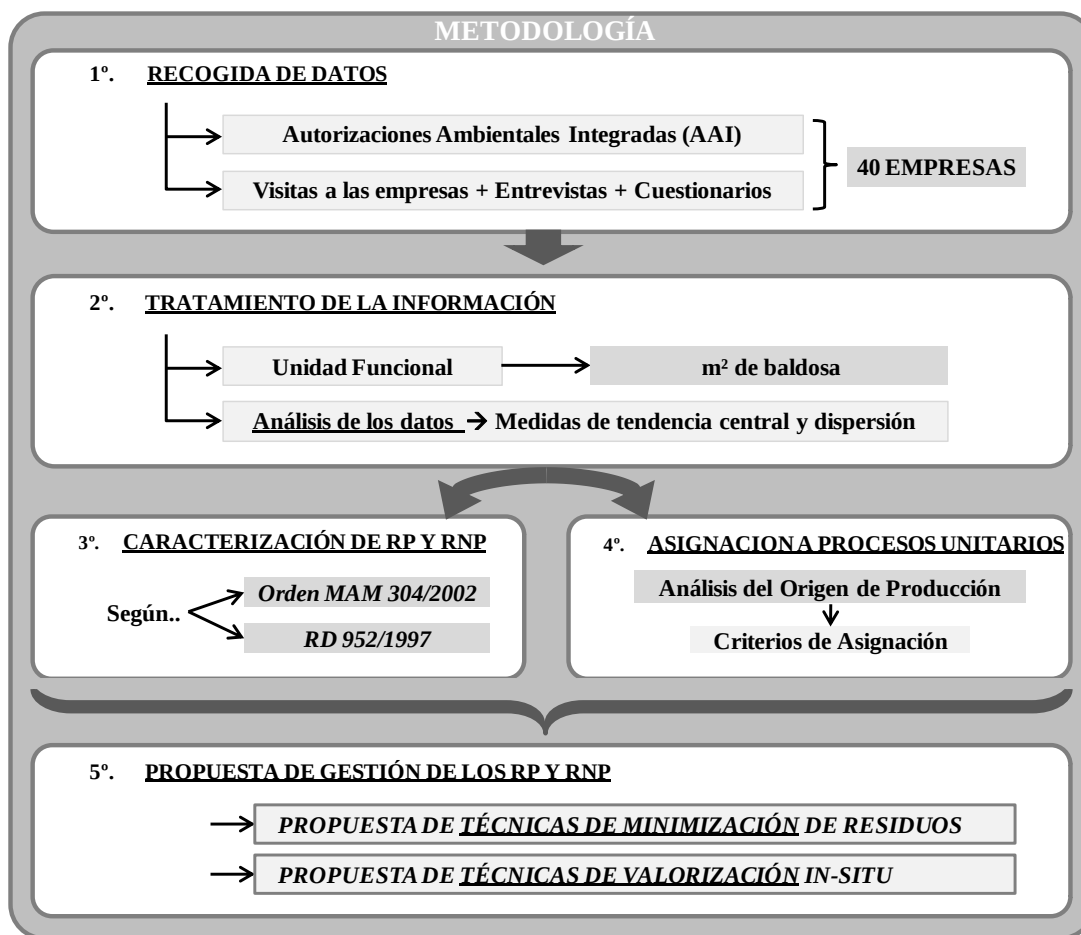


Figura 1. Metodología empleada

2. Descripción del proceso de fabricación de la baldosa cerámica

El principal producto fabricado por las empresas del sector cerámico de la región de La Plana es el gres esmaltado producido mediante monococción. En dicha técnica de producción se identifican ocho procesos unitarios mostrados en la Figura 2.

El proceso comienza con la recepción en planta de las arcillas previamente molidas y atomizadas. Dicho polvo granulado alimenta a las prensas que conforman la pieza según la forma y espesor elegidos. Una vez conformadas, las piezas son secadas, dando paso a lo que se le denomina *bizcocho*. En el proceso de monococción, el secado da paso a la fase de engobe y esmaltado. Ésta consiste en la aplicación de varias capas de esmaltes, con diferente composición según el modelo a elegir, encargadas de embellecer la pieza y de aportarle las características técnicas superficiales deseadas. Seguidamente, las piezas se introducen en un horno para su cocción en ciclos más o menos rápidos y temperaturas más o menos elevadas según el tipo de producto a fabricar.

La última fase de la fabricación es la clasificación, embalaje y paletizado de las piezas en función de su calidad. Este proceso asegura la conservación del producto durante su almacenamiento y distribución.

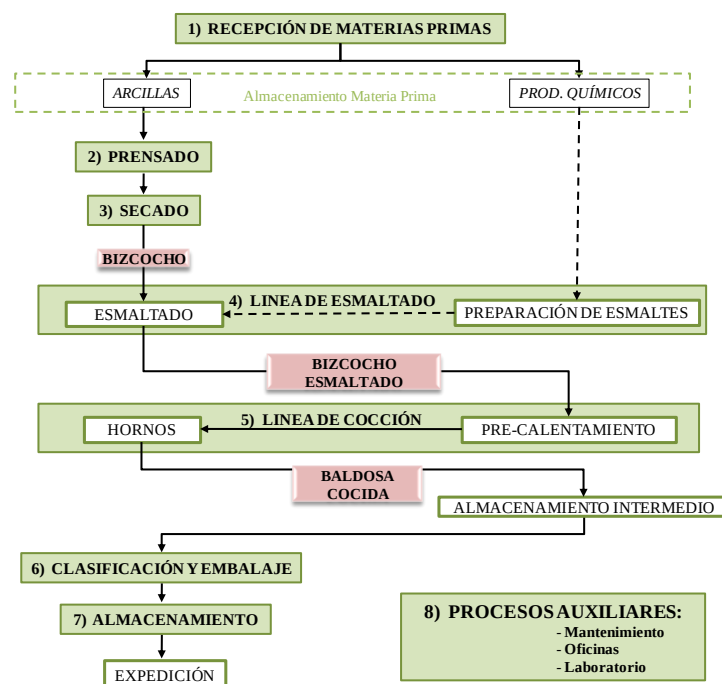


Figura 2. Diagrama de proceso de la fabricación de baldosas cerámicas mediante monococción

3. Generación y caracterización de RP y RNP

Las Tablas 1 y 2 recogen la caracterización, según la Orden MAM 304/2002 (Código LER), el Real Decreto 952/1997 y el Real Decreto 833/1988, de los RNP y RP, respectivamente, producidos en la industria azulejera.

Tabla 1. Codificación de los RP y RNP según la legislación española

RESIDUOS NO PELIGROSOS	CÓDIGO LER	DEFINICIÓN
Lodos acuosos con material cerámico	08 02 02	Lodos acuosos que contienen materiales cerámicos
Suspensión acuosa con material cerámico	08 02 03	Suspensiones acuosas que contienen materiales cerámicos
Residuos de mezclas antes de cocción	10 12 01	Residuos de la preparación de mezclas antes del proceso de cocción
Residuos cerámicos cocidos	10 12 08	Residuos de cerámica, ladrillos, tejas y materiales de construcción (después del proceso de cocción)
Papel y cartón	15 01 01	Envases de papel y cartón
Plástico	15 01 02	Envases de plástico
Palets rotos/madera	15 01 03	Envases de madera
Envases metálicos	15 01 04	Envases metálicos
Filtros de mangas no contaminados	15 02 03	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras distintos de los especificados en el código 15 02 02
Revestimientos y refractarios/ Lamas y rodillos cerámicos	16 11 06	Revestimientos y refractarios procedentes de procesos no metalúrgicos, distintos de los especificados en el código 16 11 05
Chatarra	17 04 07	Metales mezclados
RSU	20 03 01	Mezclas de residuos municipales
Lodos de fosas sépticas	20 03 04	Lodos de fosas sépticas

Tabla 2. Codificación de los RP y RNP según la legislación española

RESIDUOS PELIGROSOS	CÓDIGO LER	DEFINICIÓN	CÓDIGO DEL RESIDUO (Orden MAM/304/2002, RD 952/1997 y RD 833/1988)
Aceite hidráulico usado/ ceras y grasas	13 01 10*/ 13 02 05*/ 12 01 12*	Aceites hidráulicos minerales no clorados/ Aceites minerales no clorados de motor, de transmisión mecánica y lubricantes/ Ceras y grasas usadas	Q7//R9//L8-9/P19//C51//H5-14//A272//B4201/B4203/B0019
Disolventes y mezclas de disolventes	14 06 03*	Otros disolventes y mezclas de disolventes	Q7//R13//L5//C41//H3B-5//A272//B0005/B4203
Envases de plástico contaminados	15 01 10*	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	Q5//R3//S36//C15-18-40-41-51//H5-14//A272//B4203
Envases de papel contaminados	15 01 10*	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	Q5//R3-5//S36//C15-18//H5-14//A272//B4203
Aerosoles	15 01 11*	Envases metálicos, incluidos los recipientes a presión vacíos, que contienen una matriz porosa sólida peligrosa (por ejemplo, amianto)	Q5//D15//R4//S12-36//C40-41-51//H3B-5//A272//B4203
Filtros de aceite usados	16 01 07*	Filtros de aceite	Q6//R4//S8//C51//H5-14//A272//B4201/B0019
Trapos y absorbentes contaminados	15 02 02*	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	Q5//D15//S34//C40-41-51//H5//A272//B0019
Componentes eléctricos y electrónicos/ equipos informáticos	16 02 13*	Equipos desechados que contienen componentes peligrosos, distintos de los especificados en los códigos 16 02 09 a 16 02 12	Q14//R13//S40//C6-18//H6-14//A272//B4201
Sólidos contaminados	15 02 02*	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	Q5//D15//S34//C51//H5-6//A272//B4201
Tierras contaminadas	17 05 03*	Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas	Q12//D9/R13//S23//C51//H5-6//A272//B4201
Telas de pantallas serigráficas	15 02 02*	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	Q5//D15//S40//C41-51//H5-14//A272//B4201
Materiales de aislamiento	17 06 01*	Materiales de aislamiento que contienen amianto	Q14//D15//S40//C25//H7-14//A272//B4201
Pilas y acumuladores	20 01 33*	Baterías y acumuladores especificados en los códigos 16 06 01, 16 06 02 ó 16 06 03 y baterías y acumuladores sin clasificar que contienen esas baterías	Q6//R13//S37//C5-11-16//H6//A272//B4201
Baterías	16 06 01*	Baterías de plomo	Q6//R13//S37//C18-23//H6//A272//B4201
Tóner en polvo	08 03 17*	Residuos de tóner de impresión que contienen sustancias peligrosas	Q6//R3//S40//C41//H14//A272//B0019
Tubos fluorescentes y lámparas Hg	20 01 21*	Tubos fluorescentes y otros residuos que contienen mercurio	Q6//R13//S40//C16//H6//A272//B4201
Filtros de mangas	15 02 02*	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	Q9//D15//S28//C15-18//H5-14//A272//B4201
Envases metálicos contaminados	15 01 10*	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	Q5//R4-13//S36//C41-51//H5//A272//B4203
Líquidos reveladores/ fijadores/ fotolitos	09 01 02*/ 09 01 04*	Soluciones de revelado de placas de impresión al agua/ Soluciones de fijado	Q7//R13//L16//C23-24//H6-8//A272//B0019
Productos cerámicos caducados	08 01 11*/ 16 03 03*	Residuos de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas/ Residuos inorgánicos que contienen sustancias peligrosas	Q7//D9//S-P12-27//C7-18//H6-14//A272//B4201
Sólidos inorgánicos de laboratorio	06 04 05*/ 10 12 11*	Residuos que contienen otros metales pesados/ Residuos del vidrio que contienen metales pesados	Q7//D9//S25//C15-18//H6-14//A272//B4201
Revestimientos y refractarios	16 11 05*	Revestimientos y refractarios, procedentes de procesos no metalúrgicos, que contienen sustancias peligrosas	Q6//D15//S40//C25//H6//A272//B4201

La Tabla 3 muestra, en su última columna, las cantidades de residuos peligrosos y no peligrosos generados por m² de baldosa producida, como promedio de los valores obtenidos de 40 empresas fabricantes de pavimento y revestimiento cerámico en España. En función del origen de generación se ha realizado una asignación a los procesos unitarios que los generan. Para ello, se han aplicado los siguientes criterios de asignación:

- Los residuos originados por el mantenimiento general de la planta se reparten por igual entre las ocho etapas del proceso de fabricación.
- Los residuos mercuriales (lámparas y tubos fluorescentes) se originan entre todas las etapas desarrolladas en el interior de la nave industrial.
- Los residuos originados por el mantenimiento de la maquinaria utilizada en cierta etapa, se reparten entre la etapa de mantenimiento (procesos auxiliares) y el proceso unitario donde éste se realiza.

Tabla 3. Cantidades de RP y RNP generados por m² de baldosa producida. Asignación a procesos unitarios

	1.Recepción de tierras	2.Prensado	3.Secado	4.Esmaltado	5.Cocción	6.Clasificación y embalaje	7.Almacenaje	8.Procesos auxiliares	TOTAL
RP									
Productos cerámicos caducados				1,03E-03				1,03E-03	2,05E-03
Aceite hidráulico usado/ceras/grasas		3,85E-04						3,85E-04	7,69E-04
Envases de papel contaminados				6,51E-04					6,51E-04
Líquidos reveladores/fijadores/fotolitos								5,08E-04	5,08E-04
Envases de plástico contaminados				5,08E-04					5,08E-04
Sólidos inorgánicos de lab								3,94E-04	3,94E-04
Sólidos contaminados	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,18E-04
Materiales de aislamiento			1,34E-04		1,34E-04				2,67E-04
Tierras contaminadas		2,29E-04							2,29E-04
Trapos y absorbentes contaminados	5,22E-05	5,22E-05	5,22E-05		5,22E-05				2,09E-04
Revestimientos y refractarios			1,04E-04		1,04E-04				2,07E-04
Guías, correas, cintas transportadoras	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	1,74E-04
Disolventes y mezclas de disolventes								1,33E-04	1,33E-04
Baterías								1,31E-04	1,31E-04
Filtros de mangas	4,20E-05	4,20E-05		4,20E-05					1,26E-04
Telas de pantalla serigrafía								9,05E-05	9,05E-05
Envases metálicos contaminados				8,99E-05					8,99E-05
Filtros de aceite usados		1,89E-05						1,89E-05	3,78E-05
Tubos fluorescentes y lámparas Hg		3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	2,28E-05
Aerosoles	6,25E-06	6,25E-06						6,25E-06	1,87E-05
Pilas								5,57E-06	5,57E-06
Tóner en polvo								5,27E-06	5,27E-06
Cintas de impresora								3,77E-06	3,77E-06
SUMA:	1,62E-04	7,98E-04	3,54E-04	2,38E-03	3,54E-04	6,48E-05	6,48E-05	2,77E-03	6,95E-03
RNP									
Suspensión acuosa con material cerámico				1,42E+00					1,42E+00
Lodos acuosos con material cerámico				8,45E-01					8,45E-01
Testillo previa-cocción		6,49E-01							6,49E-01
Testillo esmaltado cocido					1,37E-01	1,37E-01			2,74E-01
Lodos de fosas sépticas								1,15E-01	1,15E-01
Plástico						1,29E-02		1,29E-02	2,58E-02
Chatarra						1,25E-02		1,25E-02	2,50E-02
Rodillos cerámicos					4,39E-03				4,39E-03
Papel y cartón						2,19E-03		2,19E-03	4,39E-03
Palets rotos/madera						1,37E-03	1,37E-03		2,74E-03
RSU								2,50E-04	2,50E-04
Filtros de mangas no contaminados		1,25E-05	1,25E-05	1,25E-05	1,25E-05				5,00E-05
SUMA:	0,00E+00	6,49E-01	1,25E-05	2,26E+00	1,41E-01	1,66E-01	1,37E-03	1,43E-01	3,36E+00

4. Mejores Técnicas Disponibles aplicables

Según las políticas europeas en materia de residuos (Directiva 2006/12/CE [6] y Directiva 2004/12/CE [7]), así como las nuevas normativas medioambientales impulsadas desde la Unión Europea (IPPC), para realizar una buena gestión de los residuos es esencial llevar a cabo acciones previas a la eliminación segura, que permitan minimizar y valorizar los residuos mediante reciclado, nuevo uso, recuperación o cualquier otra acción destinada a obtener materias primas secundarias. Es en la legislación IPPC donde se introduce el concepto de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) como medida de protección del medio ambiente y supone para las industrias la exigencia de estar al corriente de las MTD consideradas para su sector.

En la industria cerámica, la aplicación de estas técnicas a la generación de residuos consiste en la minimización, recuperación y el reciclado de las pérdidas o residuos. Los objetivos de reducción de residuos del proceso y las soluciones correspondientes se presentan, en lo que se refiere a los lodos generados en la fabricación de productos cerámicos y a los residuos sólidos, en forma de técnicas de optimización del proceso, reciclado y reutilización, según resume la Tabla 4. En general suele utilizarse una combinación de estas medidas para la reducción de la generación de residuos.

Tabla 4. Técnicas aplicables para la minimización y valorización de RP y RNP del sector cerámico

minimización de residuos	Reducir las bajas en la etapa de cocido: mediante el control electrónico del proceso en el horno, reglaje optimizado y mejora en la distribución de la carga. Recogida y almacenamiento adecuado de los residuos de máxima generación: piezas crudas rotas (testillo crudo), piezas cocidas rotas (testillo esmaltado cocido) y lodos o suspensiones acuosas con elementos cerámicos para su posterior valorización in-situ. Control continuo de mermas de esmalte en su preparación y aplicación (mediante la realización de un seguimiento con registro). Uso adecuado de aceite de máquinas, intentando su máximo aprovechamiento. Diseño óptimo de las cajas utilizadas para el encajado, intentando el máximo aprovechamiento espacial del conjunto. Utilizar o programar las máquinas embaladoras para que optimicen la cantidad de plástico utilizado en cada embalaje. Control de restos de cartón y plástico para detectar posibles fallos en máquinas que dañen e invaliden dichos materiales.
valorización in-situ	<u>Testillo crudo:</u> Incorporación al proceso de producción, tanto si es esmaltado como no esmaltado, mezclándose con la barbotina en los atomizadores. Previo a este paso, todo el testillo debería mezclarse, en balsas especializadas, con desleidores. El polvo recuperado de los filtros de mangas también podría recuperarse mezclándolo con agua para incorporar la mezcla al proceso, del mismo modo que se hace con el testillo. <u>Testillo esmaltado cocido:</u> Tras su trituración, se puede almacenar en los propios silos de materia prima para su atomización y reincorporación al proceso de fabricación de la baldosa. <u>Lodos y suspensiones acuosas:</u> Por un lado, las suspensiones acuosas que contienen material cerámico podrían incorporarse a los atomizadores, en caso de que la planta atomice sus propias tierras. Por otro lado, aquellas suspensiones producidas durante la limpieza de filtros pueden ser depuradas incorporándolas en las balsas del sistema de aguas residuales.

5. Conclusiones

La recopilación de datos primarios procedentes de 40 empresas del sector cerámicos localizadas en la provincia de Castellón (España) ha permitido inventariar los RP y RNP característicos del mismo. La etapa de esmaltado, junto con el mantenimiento de la planta, son los principales orígenes de producción de residuos. El testillo tanto crudo como cocido, así como las suspensiones o lodos con material cerámico son los residuos que más se generan. Consecuentemente, se han propuesto ciertas técnicas de valoración in-situ de dichos residuos. La clasificación y el embalaje también producen altas cantidades de residuos. Por ello, es necesario ajustar las dimensiones de las cajas de envase, así como optimizar la cantidad de plástico utilizado en cada embalaje. Cabe señalar que la etapa de recepción de tierras genera principalmente polvo y PST que se emiten a la atmósfera, por lo que no han sido objeto de estudio en este trabajo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación y Generalitat Valenciana la financiación recibida para la realización de este estudio (Proyecto DPI2008- 04926 y ACOMP/2011/036, respectivamente).

Referencias Bibliográficas

- [1] Criado E., Sánchez E., Regueiro M., “All tiled up: Spanish ceramics and glass”. *Ind. Miner.* Vol. 444. 2004.
- [2] ASCER, “Los sectores español y mundial de fabricantes de baldosas cerámicas”, 2004.
- [3] Miranda J.A., “Eficiencia colectiva y competitividad internacional: La exportación de los distritos industriales valencianos en el último tercio del siglo XX”. *IX Congreso Internacional de la Asociación Española de la Historia Económica*. 2008. Murcia.
- [4] Directiva IPPC (Directiva 96/61/CE del 24 septiembre de 1996 y Directiva 2008/1/CE del 15 de enero de 2008) relativa a la Prevención y al Control Integrados de la Contaminación.
- [5] Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).
- [6] Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y Consejo, 5 de abril 2006, relativa a residuos.
- [7] Directiva 2004/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de febrero de 2004, por la que se modifica 94/62/CE de envases y residuos de envases.

Caracterización de residuos sólidos generados por el sector comercial de Mexicali, B.C.

Karla Garduño Palomino, Sara Ojeda Benítez, Carolina Armijo de Vega

kzahori@hotmail.com

Resumen

En Mexicali durante el último censo económico del 2009 existían 20,330 unidades económicas comerciales y de servicios, se estima por los prestadores del servicio de recolección comercial, que estos establecimientos contribuyen con el 22% de los residuos sólidos urbanos generados en la ciudad, sin embargo se desconoce el peso y composición de los residuos generados por este sector. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio de generación y composición de los residuos del sector comercial de la ciudad de Mexicali, específicamente micro-comercios establecidos en la zona centro y centro cívico de la ciudad. Para realizar la investigación se seleccionó la ruta comercial que incluyera los micro-comercios a incluir en el estudio, se identificaron los tipos de establecimientos comerciales y finalmente se realizó el muestreo en el sitio de disposición durante cinco días consecutivos de los residuos recolectados. Los resultados muestran que la composición de los residuos comerciales son 60.3% de orgánicos y 39.6% inorgánicos, de los inorgánicos el cartón corrugado aporta el 15.5% y el polietileno de baja densidad el 10.6% del total de los residuos.

Palabras clave: *composición, establecimientos comerciales, generación, residuos comerciales*

42

1. Introducción

En las últimas décadas se ha observado un incremento en la generación de residuos sólidos en México, esto debido a factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo urbano, cambios en los hábitos de consumo y las actividades productivas entre otros. Las alteraciones ecológicas provocadas por la cantidad de residuos generados en las grandes ciudades, traen como consecuencia diversos cambios que afectan el nivel de vida de determinadas zonas y desencadenan efectos que pueden resultar perniciosos para la salud humana y el medio ambiente [1].

El manejo de los residuos sólidos es ahora un reto para todos los municipios del país, pues el volumen diario generado sobrepasa las capacidades instaladas de infraestructura dedicada a este rubro. Uno de los objetivos del programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2009-2012, en relación a la prevención y gestión de los residuos sólidos urbanos es el de “Transformar el manejo tradicional de los residuos sólidos urbanos en una gestión integral que involucre la modernización operativa y administrativa de los sistemas de recolección tratamiento y disposición final, apoyados en tecnologías complementarias, economías de escala, esquemas regionales y de 3R’s en corresponsabilidad con los sectores de la sociedad”[2]. Por lo que conocer la composición física de los residuos es esencial para el diseño adecuado de los planes de gestión, ya que nos permite evaluar las necesidades de infraestructura, personal, sistemas de tratamiento, entre otros elementos necesarios.

De acuerdo a cifras proporcionadas por el departamento de limpia del municipio en Mexicali se generan cerca de 1300 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos y se estima que el 67% corresponden a residuos domiciliarios, 22% a residuos comerciales y 11% de residuos industriales, sin embargo se desconoce la generación real y composición de los residuos producidos por cada

sector. Los residuos comerciales son considerados como residuos sólidos urbanos cuando son generados por micro y pequeños generadores y son clasificados como residuos especiales cuando son generados por grandes generadores de residuos sólidos urbanos [3].

Actualmente en la ciudad de Mexicali existen aproximadamente un total de 20,330 establecimientos comerciales y de servicios de los cuales el 56% se consideran micro-comercios. De acuerdo a la estratificación de empresas publicado en los Censos Económicos de 2004, un micro-negocio es todo aquel establecimiento comercial o de servicio que cuenta con un número de empleados de 0 a 10 personas [4]. Por lo general estos micro-negocios también se consideran micro/pequeño generador de residuos debido a que el volumen de residuos que producen no es mayor a 10 toneladas anuales.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos del estudio de generación y composición de los residuos generados por el sector comercial de la ciudad de Mexicali, específicamente de los micro-negocios establecidos en la zona centro de la ciudad, considerados como micro y pequeños generadores de residuos.

2. Desarrollo

En la figura 1 se esquematizan los pasos metodológicos empleados en este estudio. Primeramente se definieron y seleccionaron los sujetos de estudio, el criterio de inclusión fue el tamaño del establecimiento comercial/servicio basado en el número de personal ocupado de 0 a 10 personas y la generación diaria de residuos menor a 30kg al día.

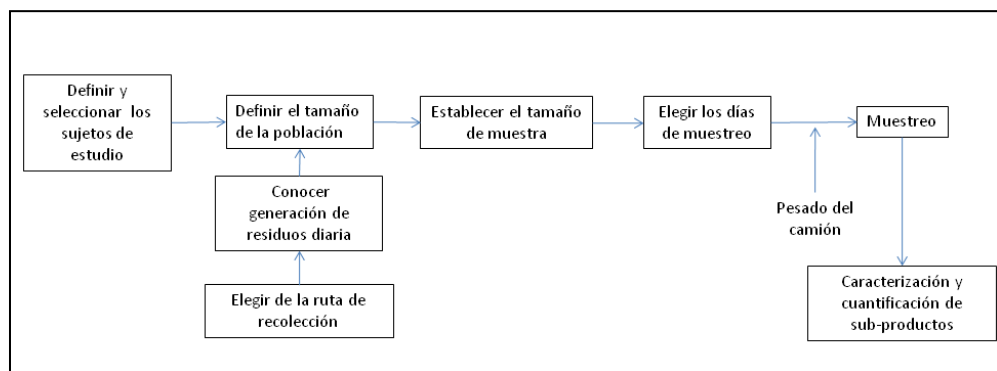


Figura 1. Metodología para la caracterización y cuantificación de residuos comerciales

Se definió la población a estudiar como los residuos generados por los 900 establecimientos comerciales/servicios que se encuentran localizados en la zona centro y centro cívico de la ciudad, estos establecimientos producen en promedio 13.9 toneladas de residuos al día. Estos son recolectados diariamente dos veces al día, el primer recorrido se lleva a cabo de seis a diez de la mañana y el segundo de seis de la tarde a diez de la noche. La ruta siempre se realiza en la misma secuencia iniciando y finalizando siempre en la misma calle.

Para su recolección los residuos deben ser depositados en las aceras frente a la calle en bolsas de plástico cerradas minutos antes de que pase el camión recolector. Una vez recolectados los residuos, éstos son llevados a la unidad de transferencia Xochimilco para después ser enviados a disposición final en el relleno sanitario.

La caracterización y cuantificación de sub-productos se efectuó durante cinco días consecutivos, para esto fue necesario llevar los residuos recolectados directamente al relleno sanitario donde se realizó el trabajo.

El tamaño de la población se definió como todos los residuos generados por los establecimientos de la ruta seleccionada durante una semana. Se eligió como unidad de muestreo los residuos

recolectados durante el turno matutino; para definir el tamaño mínimo de la muestra total se consideró un muestreo aleatorio sin reemplazo de una población finita con un grado de confianza del 95% y un error de 0.04, con μ, σ y p desconocidas, con la ecuación 1:

$$n = Npq[Z\alpha/2]^2 / pq[Z\alpha/2]^2 + (N-1)E^2 \quad (1)$$

En donde:

n : Tamaño de muestra.

N : Tamaño de la población

p : Proporción de la población (cuando no se conoce se supone 0.5)

q : $1-p$

E : Error

Las sub-muestras se definieron en base a la muestra mínima total dividiendo el tamaño de la muestra entre los días especificados para el muestreo.

Dado que no se contaba con equipo para la homogenización de los residuos, para la selección de muestras a cuantificar, se estableció un patrón de muestreo en el cual se dividió en cinco cuadrantes el montículo de residuos como se muestra en la figura 2, se seleccionó la muestra del cuadrante asignado para el primer día y se fue rotando de cuadrante en los días sucesivos de muestreo hasta completar los cinco cuadrantes, esta rotación fue posible debido a que la ruta de recolección siempre sigue el mismo recorrido, con lo que se aseguró que cada camión muestreado tuviera la misma distribución de residuos.

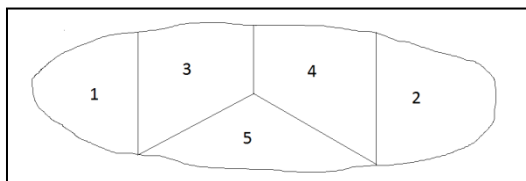


Figura 2. División para muestreo de los montículos de residuos.

Durante el muestreo se trabajó con el apoyo del personal del departamento del servicio de limpieza de municipio; se tomaron muestras de cada uno de los sub-productos hasta completar la muestra total establecida del día. Los subproductos se depositaron en bolsas de plástico de 58.42cm x 119.38cm de calibre 1.5 mil, se pesaron y se registró este peso en una hoja de registro de campo para selección y cuantificación de subproductos como lo marca la NMX-AA-022-1985 [5] con modificaciones de acuerdo al tipo de subproductos presentes en el flujo de los residuos comerciales, quedando como se muestra en la tabla 1.

Se determinó el peso volumétrico de los residuos y de los sub-productos de acuerdo a NMX-AA-019-1985 [6]. El porcentaje en peso de cada uno de los sub-productos se obtuvo en base a NMX-AA-022-1985 [5] con la siguiente fórmula:

$$PS = (G1 / G) \times 100 \quad (2)$$

En donde:

PS : Porcentaje del subproducto considerado.

$G1$: Peso del subproducto considerado, en kg. descontando el peso de la bolsa empleada.

G : Peso total de la muestra

3. Resultados y Discusión

Los resultados de la cuantificación de los residuos comerciales muestreados se presentan en este apartado.

El tamaño de la población de residuos comerciales se estableció en 97,300 kg promedio, por lo que se determinó un tamaño de muestra de 820 kg, por lo tanto el tamaño de las sub-muestras fue de 164 kg. El peso volumétrico promedio determinado in situ fue de 169.9 kg/m³. El porcentaje en peso de la categorización de sub-productos se muestra en la tabla 2.

Tabla 1. Porcentaje en peso de la categorización de sub-productos encontrados en la muestra.

Tipo de producto	Porcentaje	Tipo de producto	Porcentaje
Restos de comida	17.6%	(1) PET	4.9%
Residuos de jardín	13.2%	(2) HDPE	1.5%
Restos de animales sin procesar y huesos	6.0%	(3) PVC	0.1%
Periódicos, revistas, papel bond	3.0%	(4) LDPE	10.6%
Papel encerado	0.2%	(5) Polipropileno (PP)	1.6%
Papel plastificado	0.0%	(6) Poliestireno (PS)	1.0%
Papel tissue	4.5%	(7) Otros plásticos	1.8%
Cartón corrugado	15.5%	Aluminio	1.4%
Madera	0.6%	Metales	4.5%
Otros residuos orgánicos	0.0%	Vidrio transparente y color	4.7%
		Toallas sanitarias y pañales	0.7%
		Textiles	4.9%
		Porcentaje total	4.9%
		Peligrosos	0.4%
		Otros inorgánicos	1.3%

Categorizando los residuos en los principales subproductos se obtuvo que los residuos orgánicos putrescibles como los restos de comida, residuos de jardín y restos de animales sin procesar equivalen al 36.8% del total de residuos, el papel, cartón y madera el 23.8%, los plásticos el 21.5%, el vidrio de color y transparente el 4.7%, metales el 5.9%, los textiles el 4.9% y el resto 2.4%, Figura 2. Haciendo un acercamiento a las categorías principales tenemos que la categoría de residuos orgánicos putrescibles está conformada en un 47% de restos de comida, 36% de residuos de jardín y 16% de restos de animales y huesos sin procesar. La categoría de residuos cartón y papel está integrada en un 67% de cartón corrugado, 19% de papel tissue, 13% de papel bond, revistas y periódicos y un 1% de papel encerado. La categoría de residuos plásticos está conformada en un 49% de LDPE, 23% de PET, 7% de HDPE, otro 7% de PP, un 5% de PS y un 8% de otros plásticos no identificados.

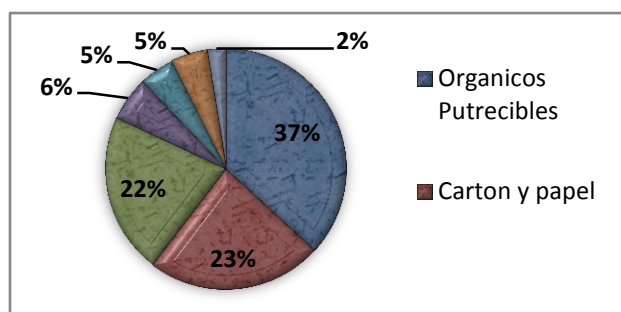


Figura 2. Porcentaje en peso de subproductos agrupados por categorías

La proporción de residuos orgánicos e inorgánicos encontrados es similar al estudio realizado a supermercados en Quebec por Norrie et al. [7] en el que se obtuvo un 40% de orgánicos y un 60% de inorgánicos, sin embargo es completamente distinto en lo encontrado en el estudio de mercados municipales de Morelia realizado por Buenrostro et al. [8] dónde se encontró un 80% de orgánicos a pesar de ser residuos comerciales procedentes del mismo país, aunque de distinto giro de comercio. Ahora al comparar los resultados de este estudio con los resultados obtenidos por el estudio de caracterización de residuos municipales de Ensenada, B.C. por Aguilar et al. [9], las proporciones de las distintas categorías de residuos son muy similares aun cuando son residuos de distintas fuentes, en este estudio se obtuvo un 37.36% de orgánicos y papel y cartón 22.49% y plásticos 23.8%, esto puede ser debido a la similitud y cercanía de las ciudades y el periodo en que ambos estudios fueron realizados.

4. Conclusiones

Los micro-negocios localizados en la zona centro y centro cívico de la ciudad generan en conjunto un promedio 13.9 toneladas al día, esto es un promedio de 15 kg diarios por establecimiento. En la ciudad de Mexicali existen 11,410 establecimientos considerados micro-negocios [10]; suponiendo que todos estos establecimientos sigan el mismo comportamiento de generación de residuos que los establecimientos localizados en el centro y centro cívico de la ciudad, se puede estimar que la generación de residuos de todos los micro-negocios en la ciudad es de aproximadamente de 171.15 toneladas diarias, esto es, el 13.16% del total de residuos sólidos urbanos generados en la ciudad.

Del estudio de caracterización se obtuvo que el 63.2% eran residuos inorgánicos y el 36.8% residuos orgánicos.

Los residuos de comida, jardines y restos de animales aportaron el 36.8% del total de la muestra, este tipo de residuos por su naturaleza contaminan en gran medida al restos de los residuos con potencial de reciclaje, lo que la separación de los residuos en bolsas separadas orgánicos e inorgánicos aun cuando la recolección fuese mixta, contribuiría al aumento de la recuperación de reciclables.

Los reciclables de mayor generación fueron el cartón corrugado con el 15.5%, el LDPE con el 10.6%, el PET y textiles ambos con el 4.9% del total de los residuos; tanto el cartón corrugado como el LDPE presentan un grado alto de contaminación lo que hace poco factible su recuperación; el caso del PET, en su mayoría se encuentra en buenas condiciones para ser recuperado y por lo mismo es el de mayor demanda entre los pepenadores. Los textiles no son recuperados.

Se encontró pocos residuos de aluminio, metales y vidrio, suponemos que se debe a la actividad de pepena que se lleva a cabo antes de que el servicio de limpia realice la recolección del día, además la ruta cuenta con muchos restaurantes y bares por lo cual es probable que los mismos negocios recuperen estos materiales y los vendan a los acopiadores de reciclables de la ciudad.

Referencias Bibliográficas

- [1] Colomer, F. J., Gallardo, A. (2007). Tratamiento de residuos sólidos. México: LIMUSA.
- [2] SEMARNAT. (2009). Programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2009-2012. Sitio SEMARNAT en internet: www.semarnat.gob.mx
- [3] SEMARNAT (2009). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2003. Ultima reforma publicada 2007. Sitio SEMARNAT en internet: www.semarnat.gob.mx
- [4] INEGI. (2011). Censos económicos 2004. Resultados sectoriales de los censos económicos 2004. Sitio INEGI en internet: www.inegi.org.mx

- [5] Catálogo de Normas Mexicanas. (2009). NMX-022-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo -Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos. Disponible en: <http://normas.economia.gob.mx/normasmx/index.nmx>
- [6] Catálogo de Normas Mexicanas. (2009). NMX-019-1985. Protección al Ambiente- Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos Municipales- Peso Volumétrico in situ. Disponible en: <http://normas.economia.gob.mx/normasmx/index.nmx>
- [7] Norrie, J., Lafortune, P. y Beauchamp, C. J. (1997). Characterization of waste materials originating from Quebec supermarkets and an assessment of recycling potencial. Resources, Conservation and Recycling, 19, 265-277.
- [8] Buenrostro, O., Bernache, G., Cram, S. y Bocco, G. (1999). Revista internacional de contaminación ambiental, 15, 27-32.
- [9] Aguilar, Q., Armijo, C., Taboada, P.A. y Ojeda, S. (2010). Municipal solid waste generation and characterization in Ensenada, México. The open waste management journal, 3, 140-145.
- [10] INEGI. (2011). Censos económicos 2009. Resultados sectoriales de los censos económicos 2009. Sitio INEGI en internet: www.inegi.org.mx

Caracterización de sedimentos procedentes de cauce artificial contaminado para definir su disposición final

Teresa Fátima Rauek Branchi, Irma Teresa Mercante, Susana Llamas

trauek@fing.uncu.edu.ar

Resumen

La provincia de Mendoza, República Argentina, pertenece a una zona árida, en la que el recurso hídrico para la agricultura proviene de sus ríos y de los acuíferos. El Colector Pescara es un cauce perteneciente a la red de distribución del río Mendoza, cuyo objetivo fue recibir los desagües de riego de una zona de la cuenca y luego distribuirlos aguas abajo para ser reutilizados. El crecimiento urbano e industrial lo transformó en receptor de efluentes pluviales y agroindustriales. Para su descontaminación, fue necesario implementar una red colectora de dichos efluentes y en una próxima etapa realizarle un dragado por razones de saneamiento. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar el material a extraer para planificar su adecuada gestión. La alternativa de disposición final prevista fue un relleno sanitario para residuos sólidos urbanos, en celdas separadas. La normativa vigente requería evaluar previamente las características de riesgo del material a disponer. Fue necesario desarrollar un procedimiento de extracción y análisis de muestras adecuado a las características granulométricas de los sedimentos y a las particularidades del cauce. Se efectuaron determinaciones de parámetros físicos y químicos establecidos para barros potencialmente riesgosos. Se analizaron líquidos libres, sólidos totales, sólidos volátiles, nivel de estabilización, pH, inflamabilidad, sulfuros, cianuros y diecisiete parámetros químicos en el lixiviado. Los resultados se evaluaron a efectos de conocer el comportamiento de los sedimentos en cuanto a las características de riesgo inflamabilidad, corrosividad, reactividad, lixiviabilidad, toxicidad e infecciosidad. La evaluación realizada permitió concluir que era factible la alternativa de disposición prevista.

Palabras Clave: *barros, colector pescara, muestreo, peligrosidad, relleno sanitario*

1. Introducción

La provincia de Mendoza, República Argentina, pertenece a una zona árida, con precipitaciones anuales que oscilan en los 200 mm [1]. El recurso hídrico necesario para la agricultura proviene principalmente de sus ríos y de los acuíferos. El Colector Pescara es un cauce artificial, sin revestir, perteneciente a la red de distribución del río Mendoza, cuyo objetivo fue recibir los desagües de riego de una zona de la cuenca y luego distribuirlos aguas abajo para ser reutilizados en riego. El tramo en que recibe desagües es de 15 km (ver Figura 1). El crecimiento urbano e industrial que se produjo en su zona de influencia lo transformó en receptor de efluentes agroindustriales sin tratar y de desagües pluviales [1], [2], [3].

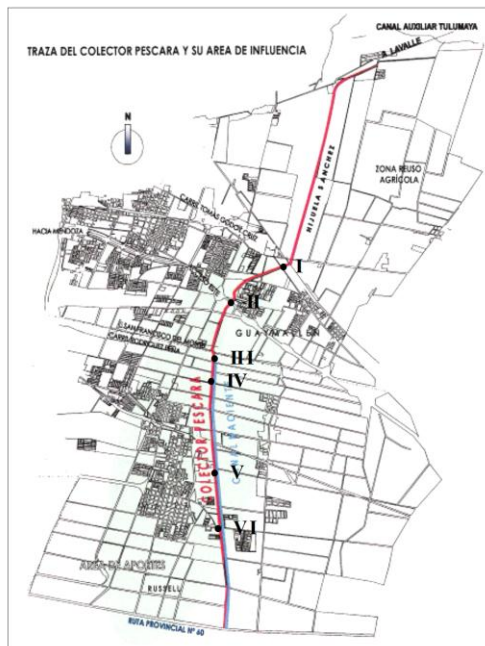


Figura 1. Traza del Colector Pescara y áreas de influencia

Para la descontaminación, se construyó una red colectora de los efluentes industriales y en una próxima etapa se realizará el dragado del cauce por razones de saneamiento, para evitar posibles redisoluciones de sustancias contaminantes cuando discurren las aguas superficiales de riego. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar los sedimentos para planificar su adecuada gestión.

2. Caracterización

El objetivo fue conocer si los sedimentos, al ser dragados, se categorizarían como residuos peligrosos conforme lo establece la normativa aplicable [3]. Dicha normativa fija las características químicas y físicas que deben cumplir los barros para no ser considerados residuos peligrosos y poder ser dispuestos en un relleno sanitario para residuos sólidos urbano, en celdas separadas. Se confeccionaron especificaciones técnicas para el muestreo y para la ejecución de los análisis.

2.1 Muestreo

Se extrajeron muestras del material a dragar en seis sitios del cauce, enumerados de I a VI en la Figura 1. La secuencia de extracción fue desde aguas abajo hacia aguas arriba. De cada sitio se tomaron tres muestras, una para análisis granulométrico con clasificación de suelos y dos duplicados para las determinaciones de parámetros físicos y químicos. Las condiciones del cauce y la naturaleza pedregosa del material contribuyeron a seleccionar para la extracción de la muestra la utilización de máquina retroexcavadora de brazo largo [4].

2.2 Determinaciones analíticas

Los parámetros físicos y químicos que la normativa aplicable establece para residuos semisólidos tienen como objeto evitar afectaciones ambientales y sanitarias principalmente a causa de su posibilidad de lixiviación. La enumeración de los mismos se da en el ítem 3. Las técnicas analíticas requeridas fueron las establecidas en la normativa. Para los análisis granulométricos con clasificación de suelos se siguieron las normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).

3. Resultados y discusión

Las características que en la normativa se consideran riesgosas en cuanto a la identificación de un residuo como peligroso son: inflamabilidad, corrosividad, reactividad, lixiviabilidad, toxicidad, teratogenicidad, mutagenicidad, carcinogenicidad, infecciosidad y radiactividad. La existencia de alguna de las ocho primeras características en un residuo se infieren chequeando el cumplimiento de los límites establecidos para parámetros físicos y químicos. En cuanto a la infecciosidad, en la normativa se dan listados con el detalle de residuos infecciosos y barros riesgosos, que deben ser excluidos de toda consideración de recepción. Los sedimentos muestreados no revisten esta característica de riesgo así como tampoco la radiactividad.

3.1 Parámetros físicos

En cada sitio se consideró el valor del parámetro resultante de promediar los de los dos duplicados. En las determinaciones debieron descartarse los cantos rodados de mayor tamaño debido a necesidades operativas. Para *inflamabilidad* se eliminaron las partículas de tamaño mayor que 2 mm, para *sulfuros* las mayores a 1 mm y para el resto las superiores a 4,76mm.

3.1.1 Líquidos libres

Se considera que un barro posee líquidos libres cuando se colecta líquido luego de colocar adecuadamente la muestra en contacto con un filtro de tamaño de poro de 400 micrones, durante cinco minutos. Si esto sucede significa que existe un riesgo de contaminación de acuíferos y suelos con las sustancias disueltas o suspendidas en el líquido debido a su infiltración. Los resultados obtenidos para los seis sitios se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de líquidos libres

Sitio	Muestra	Resultado	Sitio	Muestra	Resultado	Sitio	Muestra	Resultado
I	S-I-FQ	Sí contiene	III	S-III-FQ	No contiene	V	S-V-FQ	No contiene
II	S-II-FQ	No contiene	IV	S-IV-FQ	Sí contiene	VI	S-VI-FQ	No contiene

Los resultados positivos se deben a que no se realizó un escurrido total del sobrenadante en el recipiente receptor de la muestra a efectos de evitar la pérdida de finos.

3.1.2 Sólidos totales

La normativa establece como admisible una concentración en peso de sólidos totales igual o mayor que 20%. Esta limitación tiene por objeto evitar la generación de lixiviados y además facilita la manipulación y transporte. Los resultados obtenidos para los sitios muestreados se presentan en la Figura 2 – a. Se obtuvieron concentraciones muy superiores a la mínima admisible.

3.1.3 Sólidos volátiles

El contenido de materia volátil en un residuo es indicativa de su contenido de materia orgánica. Este parámetro no está limitado directamente sino que se establece que, en el caso de barros procedentes de plantas de tratamiento, deben presentar una reducción en la concentración de sólidos volátiles, con respecto a la del barro crudo, mayor o igual al 40%. Esto exige que los mismos se hayan sometido previamente a un proceso de digestión. Para el caso de los sedimentos, las concentraciones obtenidas en los distintos sitios para los sólidos volátiles son muy inferiores a la que normalmente poseen los fangos crudos y digeridos.

Los resultados para cada sitio se presentan en la Figura 2 – b.

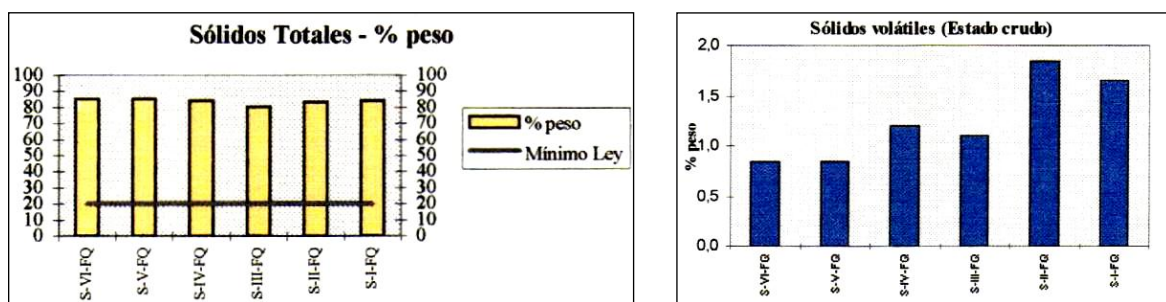


Figura 2. a) Resultados de Sólidos Totales

b) Resultados de Sólidos volátiles

3.1.4 Nivel de estabilización

Con este parámetro también se busca impedir la disposición de barros que no estén digeridos. La metodología que debe utilizarse para evaluar el nivel de estabilización es a través del consumo de oxígeno por parte de los barros como consecuencia de la actividad biológica, que no deberá superar el 10 % del oxígeno disuelto inicial en el agua de dilución. Debido al escaso contenido de materia orgánica de los sedimentos, los valores que se obtuvieron en el ensayo de estabilización fueron marcadamente inferiores al 10% (Ver Fig. 3 - a).

3.1.5 pH

La limitación de un rango de pH tiene por objeto impedir que los lixiviados solubilicen contaminantes inmovilizados en el suelo o en otros materiales que contacten. Además, pH ácidos podrían favorecer la emanación de gases tóxicos tales como cianuro o sulfuro de hidrógeno a partir de sus compuestos. El rango que establece la ley es 6 - 8, aceptándose un valor de 12 para barros estabilizados con cal.

Los valores de pH medidos en los sedimentos en los distintos sitios, que se muestran en la Figura 3 - b, presentan valores ligeramente superiores a 8 en los tramos iniciales del Colector. Este es el pH que tienen las aguas superficiales de la región.

3.1.6 Inflamabilidad

La determinación de este parámetro tiene por objeto evitar la disposición de residuos que presenten riesgo de ignición en las condiciones reinantes en el vertedero. Para el caso de los sedimentos, el *flash point* obtenido para todos los sitios es superior a 80°C, cumpliéndose con lo requerido por la Ley que establece que debe ser mayor que 60°C.

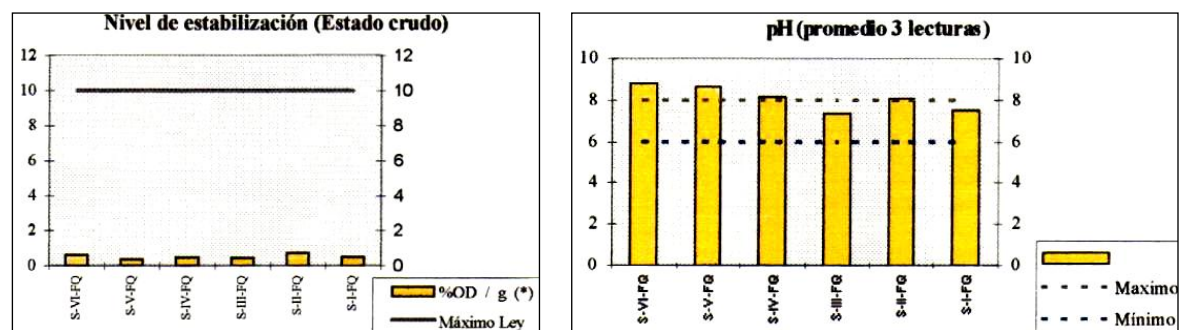


Figura 3. a) Resultados de Nivel de estabilización;

b) Resultados de pH

3.1.7 Sulfuros

La limitación en el contenido de sulfuros del residuo tiene por objeto evitar la generación de sulfuro de hidrógeno, tóxico y de mal olor, al ser expuesto a condiciones de pH ácido. El valor fijado como límite máximo es 500 mg SH_2 liberado/kg residuo. En el caso de los sedimentos, la presencia de sulfuros fue significativa debido a la acción de las bacterias sulforreductoras que, en presencia de materia orgánica, reducen los sulfatos a sulfuros. Según lo establece la técnica, la determinación se efectuó en base seca y sobre una muestra de tamaño de partícula menor o igual a 1 mm., pero debe considerarse en los cálculos la influencia del material descartado y del líquido. Los resultados sin corregir se muestran en la Figura 4. En los sitios IV y V los valores obtenidos fueron elevados.

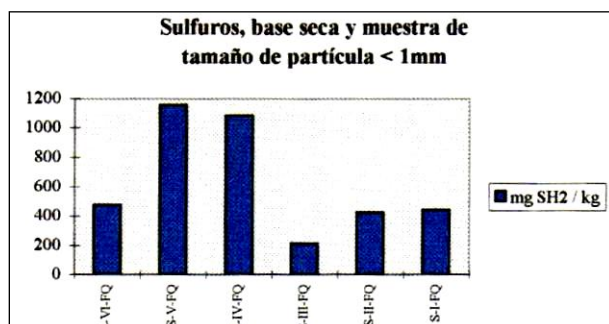


Figura 4. Sulfuros base seca para tamaño de partícula < 1mm

Para realizar las correcciones se tuvieron en cuenta las hipótesis siguientes:

- En los sedimentos los sulfuros se encuentran adheridos a la superficie de las partículas, por lo tanto, la concentración de los mismos es función de su área superficial.
- Las partículas (cantos rodados) son esféricas.
- El tamaño medio de partícula de las distintas fracciones de muestra coincide con la *media Sauter*, que considera como partícula media aquella cuya área por unidad de volumen es equivalente al área por unidad de volumen media de cada fracción del lecho granular [5].

La participación de la fracción líquida en la muestra se calculó a partir del parámetro sólidos totales. La concentración de sulfuros en la fracción líquida se consideró como el doble de la máxima que se obtuvo en la caracterización del líquido que discurre por el colector, por razones conservadoras. Con las consideraciones realizadas, los valores dieron inferiores al límite en los seis sitios. A modo de ejemplo, en el sitio V el resultado corregido fue de 165,7 mg SH_2 liberado/kg residuo.

3.1.8 Cianuros

Al igual que para sulfuros, la limitación de cianuros tiene por objeto evitar el desprendimiento de cianuro de hidrógeno, gas sumamente tóxico. El límite máximo que establece la Ley es 250 mg CNH liberado/kg de residuo. En todos los sitios, la concentración obtenida fue menor que 0.011 mg CNH liberado/kg. En este caso el tamaño de partícula de la muestra analizada fue menor que 4.76mm, no siendo de importancia evaluar la influencia de los tamaños mayores.

3.2 Parámetros químicos

Según la normativa, los parámetros químicos deben efectuarse en el lixiviado resultante de someter la muestra al procedimiento de extracción detallado en la Técnica EPA – Test methods for evaluating solid waste – Sección 7. Se incluyen los líquidos libres. Los límites consignados son cien veces superiores a los que posee el agua de bebida según el criterio de la EPA, ya que se considera el efecto de retención en el suelo y de dilución en el acuífero. Los contaminantes investigados

fueron: Arsénico, bario, cadmio, cobre; cromo total, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, pesticidas órganoclorados, pesticidas organofosforados, bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos polinucleares y compuestos fenólicos. De ellos sólo se detectaron arsénico, bario, cinc y cromo total (en realidad trivalente) en concentraciones muy inferiores a las que establece la ley. Estas bajas concentraciones se deben a la naturaleza granular de los sedimentos, sin arcillas ni sustancias húmicas que puedan complejar o adsorber contaminantes.

3.3 Características litológicas de los sedimentos

De los resultados de los análisis granulométricos con clasificación de suelos se obtuvo que los sedimentos están constituidos por material granular sin cohesión, con presencia de gravas y arenas con poco o nada de finos, sin plasticidad y sin capacidad de adsorber u ocluir líquidos.

4. Conclusión

De los resultados obtenidos en la caracterización surge que los sedimentos a dragar podrían disponerse en un relleno sanitario para residuos sólidos urbanos, en celdas separadas.

Al efectuar la extracción mediante maquinaria con cuchara de brazo largo, sería conveniente realizar un terraplén en la margen del cauce para descargar los sedimentos de modo que escurra el líquido hacia el propio cauce, antes del traslado al sitio de disposición final.

Referencias Bibliográficas

- [1] Álvarez, A.; Fasciolo, G. Impactos en el agua subterránea del sistema de efluentes para riego. Rev. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. 2008. Tomo XL. N° 2. 61-81.
- [2] DEIE Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas. Ministerio de la Producción, Tecnología e Innovación. Sistema Estadístico Municipal. Serie Estadísticas Municipales. (2009). Publicación N° 9.
- [3] Gobierno de Mendoza. Departamento General de Irrigación. Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008. 2004. Modernización de los recursos hídricos. Relevamiento de la red de riego y drenaje y del padrón de usuarios en cuencas de la provincia de Mendoza, Argentina. Estadísticas de la cuenca del Río Mendoza.
- [4] Ley Provincial N°5917 sobre Residuos Peligrosos y su Decreto Reglamentario N° 2625/99. Mendoza. Argentina.
- [5] INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Clasificación taxonómica de suelos. Mendoza. 2009.
- [6] Foust, A.S. Wenzel, L.A. Clump C.W. y otros. *Principios de Operaciones Unitarias*. 2006. Compañía Editorial Continental. México. Apéndice B.

Caracterización del contenido metálico y del potencial de generación de ácido de escombreras antiguas originadas por la actividad carbonífera en Río Turbio, Santa Cruz, Argentina

Alba L. Caballero*, Víctor H. Morales

* albaluciaballero@yahoo.com.ar

Resumen

La caracterización fisicoquímica de escombreras antiguas derivadas de la actividad carbonífera llevada a cabo en Río Turbio, es el primer paso para poder definir acciones de remediación o reutilización. Estudios preliminares realizados en muestras puntuales extraídas de escombreras en uso, pusieron en evidencia la existencia de contenidos variables de diversos metales pesados pero no arrojaron claridad respecto a la producción de drenajes ácidos. En este trabajo se ha realizado una caracterización estadística del contenido metálico de antiguas escombreras distribuidas en distintos puntos de la región partiendo de un diseño de muestreo apropiado. Así mismo se ha evaluado el potencial de generación de ácido de dichos depósitos mediante el método Sobek. Como resultado, se ha obtenido información de valores máximos y mínimos de cada metal evaluado, la relación existente entre ellos, aquellos metales que caracterizan con más peso las escombreras antiguas, las similitudes o diferencias existente entre las mismas y el inconveniente de interpretación del potencial de generación ácido determinado. La comparación con niveles guía de la ley 24.051 de Residuos Peligrosos de la República Argentina determinó que el contenido de plomo de uno de los ocho depósitos estudiados superó todos los niveles de uso (industrial, residencial y agrícola), la concentración de cadmio y cromo no sobrepasó ningún nivel en todas las muestras, mientras que el contenido de arsénico y el resto de los metales (mercurio, cobre, zinc), superó niveles de uso agrícola y/o residencial en al menos una muestra estando por debajo de niveles para uso industrial.

Palabras Clave: *análisis de correspondencia, carbón, drenaje ácido de mina, estériles, metales pesados*

1. Introducción

La problemática de los depósitos de estériles (escombreras) provenientes de la explotación del carbón, está relacionada a los impactos visuales, alteraciones paisajísticas, ocupación del terreno, contaminación y peligrosidad ocasionada por el material depositado en ellas.

Por tal motivo en los países donde se practica esta minería se han emprendido, desde hace ya unos años, acciones de restauración, remediación o reutilización de los estériles provenientes de estas escombreras. Para ello se ha comenzado con la realización de estudios tendientes a caracterizarlas, no sólo en lo que concierne a componentes ligados a la posibilidad de uso del material, sino a aquellos vinculados a su potencial de contaminación.

El objetivo de este trabajo es la caracterización con significancia estadística del contenido metálico y la valoración del potencial de generación de ácido de todos los depósitos de residuos más antiguos generados a lo largo de 60 años de explotación carbonífera en la cuenca de Río Turbio. Para ello se ha realizado un relevamiento de dichas depósitos, determinado las variables mencionadas en muestras obtenidas aleatoriamente y se ha realizado un análisis estadístico de los datos obtenidos.

2. Metodología

Se realizó en primer lugar una localización geográfica de las minas en explotación y abandonadas a fin de poder establecer el emplazamiento de las diferentes escombreras, principalmente aquellas más antiguas. En función de ello y mediante la imagen satelital brindada por Google Earth se definieron los depósitos a muestrear determinándose la superficie ocupada por los mismos. A partir de esta información se realizó un relevamiento de campo en aquellas escombreras más antiguas para recabar información visual in situ del material depositado en ellas y poder realizar el diseño de muestreo que pueda brindar datos fiables a los objetivos del trabajo.

La selección de las variables a determinar se hizo en relación a los objetivos del presente trabajo tomando también como referencia aquellos que han servido de antecedentes [1]-[2].

Para la realización de todas las determinaciones analíticas se seleccionó un laboratorio con certificación ISO 9001.

2.1 Diseño del muestreo de Escombreras

La *Figura 1* muestra la ubicación relativa de las escombreras muestreadas y la zonificación realizada a partir de la información obtenida respecto a la época o periodo en el cual se formaron. En la misma se puede observar ocho zonas sobre las que se localizó una o más estaciones de muestreo teniendo en cuenta la homogeneidad y/o heterogeneidad de cada una y su extensión. Las coordenadas del baricentro de cada estación fueron georeferenciadas usando un GPS Extrex Vista.

De esta forma en las Zonas I, II, III, IV y VI se estableció una estación de muestreo por cada una: M 1, M 2, M 3, M 4, M 11 respectivamente. En la Zona V, seis estaciones: M 5, M 6, M 7, M 8, M 9 y M 10. Finalmente en las Zonas VII y VIII se fijó cuatro estaciones para cada una: M 12, M 13, M 14, M 15 para la primera y M 16, M 17, M 18, M 19 para la segunda.

2.2 Metodología del muestreo

De cada estación se obtuvo una muestra compuesta formada a partir de una cantidad de submuestras (alícuotas) extraídas aleatoriamente teniendo en cuenta la superficie de cada estación y el volumen de material presente en ella. El muestreador usado fué del tipo sacabocado con mango regulable que permiten variar la profundidad del muestreo. La misma fué variada en relación a cada zona y osciló entre los 30 a 60 cm de profundidad. El peso de cada muestra osciló entre 2,5 a 3 Kg.

2.3 Variables fisicoquímicas y ensayos seleccionados para sólidos

Se seleccionaron aquellas variables determinadas en el informe de referencia [2]: pH de la pulpa, máximo potencial de generación ácido (MAP), Potencial de Neutralización (PN) y los metales pesados: Aluminio (Al), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo(Cr), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

La Norma usada para determinar metales fué la SW-846. EPA [3]. Los resultados obtenidos se lograron promediando los valores de dos submuestras de cada muestra para cubrir su heterogeneidad.

El máximo MAP y el Potencial de Neutralización PN se determinó mediante el método Sobek [4].

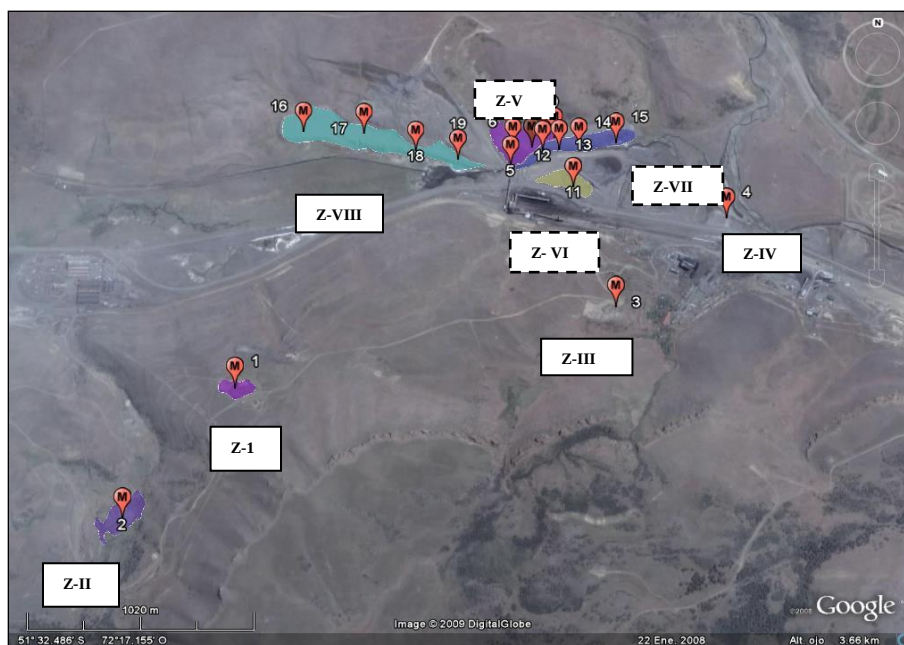


Figura 1. Ubicación relativa de las escombreras y zonificación. Tomada de [7]

2.4 Tratamiento de los datos

Se ha realizado un tratamiento estadístico multivariado de los contenidos metálicos mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP). Para ello se ha usado el paquete estadístico XLSTAT 753 de Adinsoft que permite efectuar el análisis de un conjunto de variables cuantitativas (continuas). Con el mismo se obtienen las variables estadísticas usuales, una matriz de correlaciones con la cual se establecen los grados de asociación existentes entre las variables y una representación de las mismas como vectores sobre un plano o espacio factorial a partir del que se interpreta gráficamente las correlaciones entre las variables originales [5].

Para cada muestra se calculó el cociente PN/MPA y la diferencia “PN-MPA” (Potencial Neto de Neutralización, PNN) con el fin de determinar, mediante reglas de interpretación corrientes, el potencial de generación de ácido de cada una.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis del Balance Ácido- Base

A partir de los valores obtenidos tanto para el PNN como para la relación PN/MPA se infiere que todas las muestras analizadas tiene un alto potencial de generación de drenajes ácidos.

Se debe tener presente que el MPA se calcula a partir de considerar que todo el azufre presente en la muestra está como piritita (sulfuro ferroso). Ésta al oxidarse es quien genera realmente ácido sulfúrico. Teniendo en cuenta la antigüedad de las escombreras (mayor a 15 años) gran parte de ese azufre piritítico está oxidado como sulfato con lo que se infiere que con el método usado se ha sobrevaluado dicho potencial, aún cuando no se puede determinar con precisión cuánto es el error del mismo.

Por lo que respecta al Potencial de Neutralización se considera que valores mayores de 30 ppt (partes por toneladas) en CaCO_3 que den una reacción positiva de efervescencia con ácido clorhídrico a temperatura ambiente tendrán capacidad de neutralización. Todos los valores de

potencial de neutralización (excepto el de M 7) están por debajo de éste límite y esto es coincidente con los estudios puntuales realizado previamente sobre las escombreras de Río Turbio [2].

Finalmente todos los valores de pH de la pulpa cayeron en la zona de acidez siendo el valor más alto de 6,4 unidades de pH (U. pH). Debe tenerse en cuenta que este parámetro indica el estado de la muestra en el momento del ensayo y está relacionado con el MPA.

3.2 Análisis estadístico del contenido metálico

Se observó una gran dispersión en los valores de algunos metales pesados. Por ejemplo las desviaciones estándar del aluminio, cobre, plomo y manganeso son superiores al valor de las medias lo que nos está indicando una variación espacial debido a la concentración de dichos metales (Cobre y Plomo en M 4, Aluminio en M 7 y Manganeso en M 11).

El primer Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado para las 19 muestras permitió descartar, aplicando las interpretaciones del método, uno de los individuos: el M 4. Por tal motivo la discusión del trabajo se centra en el ACP de 18 de las 19 estaciones muestreadas.

El análisis de la matriz de correlación (Matriz de Pearson) permitió establecer el grado de asociación existente entre los contenidos metálicos de todas las escombreras. De la misma se desprende que existen correlaciones significativas entre la mayoría de los metales analizados: Al-Cd, As-Cr, As-Fe, As-Zn, Cu-Fe, Cu-Pb; Cr- Fe, Cr- Zn; Fe-Pb, Fe-Zn; mientras que existe una independencia lineal del mercurio y del manganeso con el resto de los metales. Estas correlaciones evidencian el origen común y la similitud geoquímica de los individuos.

La caracterización de las escombreras en cuanto a su contenido metálico se explica a partir de los tres primeros componentes principales que suman el 71 % de la inercia total [5].

Las representaciones de las variables en el primer plano factorial (Figura 2) y el análisis de cosenos cuadrados de los tres primeros componentes nos permite afirmar que la variable Fe es la mejor representada en el primer componente principal siguiéndole en orden las variables As, Cr y Zn. El análisis de los vectores representativos de estas últimas indican una fuerte asociación entre ellas y de éstas con el representativo del hierro. De ello se deduce que estos metales caracterizan con mayor significación los individuos estudiados.

El Plomo y el Cobre también aparecen bien representados en el plano factorial, aunque su relación con los metales mencionados es menor, por lo que se pueden considerar como información adicional. Lo mismo se puede decir del Manganeso cuya relación con los metales ya nombrados es nula o casi nula tal como se verificó en la matriz de correlación.

El aluminio y el cadmio están mejor representados en el segundo plano factorial y figuran oponiéndose al contenido de manganeso lo cual indica que cuando el contenido de estos aumenta, disminuye el de los otros. Éstas variables, por lo tanto, están brindando una información complementaria pero no esencial en la caracterización de una escombrera antigua de carbón. Ello se debe a que, fundamentalmente, el aluminio y el manganeso provienen, además del estéril del carbón, de otras fuentes tales como los constituyentes naturales de los suelos [6]. Se puede afirmar que el mercurio no presenta relación lineal con ninguna de las otras variables.

Como complemento se representa gráficamente mediante la Nube dinámica (Figura 3), los individuos agrupados en clases cuyas características se describen a continuación.

Clase 1 (M 5, M 13, M 14, M 15, M 16): Esta clase está caracterizada por contenidos bajos de los metales considerados como característicos: Fe, As, Cr, Zn, Pb y Cu lo que indica una proporción mayor de materiales de naturaleza edáfica. Está integrada en su mayor parte por individuos pertenecientes a la Zona VII afectada por grandes movimientos de tierra.

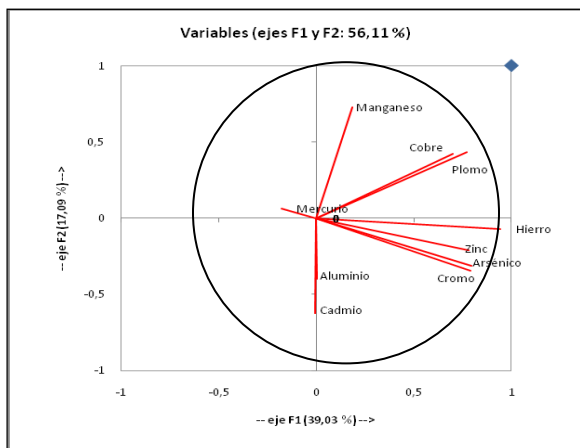


Figura 2. Representación gráfica de las variables en el primer plano factorial

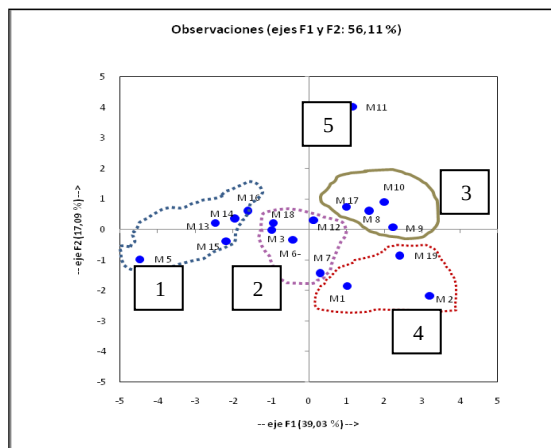


Figura 3. Individuos agrupado por clases (Nube dinámica)

Clase 2 (M 6, M 7, M 18, M 12): Tiene características similares a la clase anterior pero con contenidos medios de Zn, Fe y Pb. Los individuos proceden de diversas zonas heterogéneas en su composición o afectadas por la cercanía a caminos o escombreras recientes (Zona V, Zona VII y Zona VIII).

Clase 3 (M 8, M 9, M 10, M 17): Altos contenidos de metales característicos Fe, As, Cr, Zn, Pb, Cu.

Clase 4 (M 1, M 2 y M 19): Formada por dos de las escombreras más antiguas y en una de las cuales se observó chatarra abandonada (Zona II). Posee los contenidos más altos en Fe, As, Cr, y Zn.

Clase 5: El individuo perteneciente a esta clase proviene de una pileta de lodos abandonada constituida por los sedimentos secos de estériles finos procedentes de la depuración del carbón.

3.3 Comparación del contenido metálico con niveles guías

La comparación del contenido en arsénico y metales pesados con los niveles guías de calidad de suelo, ley Nacional 24.051 de Residuos Peligrosos, permitió establecer que el contenido en Pb de uno de los ocho depósitos estudiados (M 4) superó todos los niveles de dicha ley (industrial, residencial y agrícola) mientras que en el resto no superó ninguno. En el mismo depósito se verificó lo mismo para el contenido de Cu aunque en los otros las concentraciones fueron inferiores al nivel industrial superando el nivel agrícola y/o residencial. El contenido de As y de los metales Hg y Zn de todas las escombreras, sobrepasó el nivel de uso agrícola y/o residencial en al menos una muestra estando todos por debajo del nivel Industrial. La concentración de Cd y Cr fue inferior a los tres niveles guías en todas las muestras por lo que se descarta su aporte contaminante [7].

4. Conclusiones y Recomendaciones

Este trabajo ha permitido determinar con significancia estadística que las variables que caracterizan fundamentalmente las escombreras antiguas de Carbón, es el contenido de Hierro, siguiéndoles por orden de importancia el Arsénico, Cromo, Zinc, y en menor proporción el Plomo y el Cobre.

Se ha podido establecer que el manganeso brinda información complementaria y que su variación es directamente opuesta a la del Aluminio concluyéndose que ambos no son metales asociados exclusivamente a las escombreras de carbón en Río Turbio.

El contenido de mercurio encontrado no guarda relación lineal con ninguno de los metales y contrariamente a lo que sucede en otras explotaciones carboníferas tampoco tiene relevancia a la hora de asociarlo a los depósitos analizados.

Los valores de pH de la pasta y del potencial de neutralización (menor de 30) están indicando *incapacidad* del estéril para neutralizar drenajes ácidos. Será necesario corroborar estos resultados realizando una evaluación del potencial de generación de ácido diferenciando el azufre pirítico (verdadero formador de ácido) del sulfático presente en escombreras antiguas.

La escombrera M 4, descartada en el análisis estadístico por diferenciarse sustancialmente del resto, es la que presenta mayores complicaciones en cuanto a los contenidos de Pb y Cu. Éstos superan los niveles guías para uso industrial de la ley 24.051 que son los más altos y que deben respetarse dada la localización de todas los depósitos de estériles en el área industrial.

En todas las escombreras es necesario realizar como complemento, un análisis de lixiviados para inferir la posibilidad de remoción, por escorrentía y filtración, de los metales y así definir la necesidad de neutralización previa a la restauración.

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría de Minería de la Nación. “Caracterización de fuentes de contaminación- Zona Sur (PASMA II)”.2010. <http://www.mineria.gov.ar/estudios/cfc/stacruz/minero.asp>
- [2] Caballero A.“ Evaluación preliminar de depósitos de estériles y sedimentos provenientes de la actividad carbonífera en R.Turbio”.2010. <http://168.226.35.7/secyt/ict/files/ICT-UNPA-3-2009.pdf>
- [3] US Environmental Protection Agency (EPA). “Process, Procedure, and methods to control pollution from mining activities”. EPA- 403/9.73,390 pp.
- [4] Sobek, A. Schuller, Freeman W. Smith, R. “Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Mine soil”.1978. West Virginia Univ., Morgantown College of Agriculture and Forestry. EPA report no. EPA -600/2-78-054 pp. 47-50.
- [5] Hair Jr., Anderson R., Tatham R., Blak W. “Significación estadística. Análisis Multivariante” 5ta. Edición. Vol. 1.Año 1.999, pp 8-10. Prentice Hall. Madrid
- [6] Serman & asociados SA Consultora. “Estudio de impacto ambiental Central Térmica a Carbón de Río Turbio. Cap.5, 2 Tomo II (V). Año 2008. Pág. 153. Río Gallegos. Santa Cruz.
- [7]Caballero A. Morales V. Salvat W.” Valoración del contenido metálico existente en escombreras antiguas de Río Turbio. Santa Cruz (RA)”. Actas de las Primeras Jornadas de Minería, Energía y Desarrollo. 2010. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Río Gallegos. Pág.153.

Caracterización y cuantificación de subproductos de residuos sólidos en las playas del sur de Costa Maya, Quintana Roo

Jose Luis Guevara Franco, Laura Patricia Flores Castillo, Suhail Canul Azcorra, David Aburto Espinosa, Geovanny Romero Campos

luisguev@uqroo.mx

Resumen

La zona de Costa Maya, en el Caribe mexicano, posee una belleza escénica extraordinaria sin embargo, la presencia de grandes cantidades de residuos sólidos dan un aspecto desagradable a las playas, afectando así la actividad turística; esta problemática también repercute gravemente en el factor biótico de los ecosistemas costeros ya sea por naturaleza de los componentes de los residuos o por que algunas especies confunden los residuos con alimento, resultando mortales para dichos organismos. El objetivo de este trabajo es identificar y cuantificar los subproductos de residuos encontrados en las playas de Xcalak, Xahuayxol y Mahahual de la Costa Maya. Las tres playas muestreadas no cumplen con las especificaciones que contempla la norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006 [1], encontrado más de 5 Kg de residuos sólidos en 40 m., por playa muestreada, aunque en Mahahual se observó una mayor limpieza. En Xahuayxol y Xcalak se encontró una mayor cantidad de residuos. El tipo de residuos encontrados en las tres playas fue similar, predominando los plásticos rígidos así como el PET y el calzado; algunos residuos no comunes como llantas de automóvil con rin, facias de carro y cascos industriales sobresalen. Gran cantidad de los residuos sólidos encontrados en la costa provenían de diversos países [2], por lo que podemos deducir que estos son arrojados desde embarcaciones o arrastrados por diversas corrientes y recalán en la costa.

60

Palabras Clave: *basura, Caribe, contaminación, mar*

1. Introducción

Los residuos sólidos en el medio marino constituyen un problema grave tanto en alta mar como junto a las costas, que empeora constantemente. Los residuos sólidos pueden ser transportados a grandes distancias por las corrientes marinas y los vientos. Hay residuos en prácticamente todas partes del medio marino y costero (en alta mar, en el fondo del mar, en las marismas litorales, en desembocaduras de ríos, en las playas); y no solamente en zonas densamente pobladas, sino también en lugares muy remotos de la tierra, lejos de fuentes contaminantes evidentes.

La mayor parte de estos residuos son de larga vida y permanecen durante decenios. Una parte son letales para la fauna, matando y dañando una y otra vez de forma indiscriminada. Los residuos de larga vida constan principalmente de plástico, metal y vidrio, materiales que no se degradan fácilmente ni con rapidez en el ambiente [3].

La generación de residuos ha aumentado significativamente, y las playas de México no están exentas de recibir dichos residuos. El gobierno a través de sus comités de playas limpias regionales, asociaciones en pro de la naturaleza así como los prestadores de servicios turísticos y la comunidad suman cada día esfuerzos por mantener limpias las playas de nuestro país [4]. Es por eso que la norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006 [1] contempla de manera importante, la gestión integral de los residuos sólidos, así como el grado de limpieza de la playa, ya que se estipula que el límite

máximo permisible de residuos sólidos en superficie de la playa será máximo de 5 unidades por cada 100 m.

El presente muestreo se hizo con el objetivo de determinar y cuantificar los subproductos de residuos sólidos en la zona costera del sur del estado de Quintana Roo, teniendo como puntos de muestreo las playas de Xcalak, Xahuaxol y Mahahual

2. Desarrollo

2.1 Área de estudio

El área de estudio comprendió las playas de Mahahual, Xcalak y Xahuaxol debido a que cuentan con acceso por carretera en esta región del sur del Caribe, como se muestra en la figura 1.

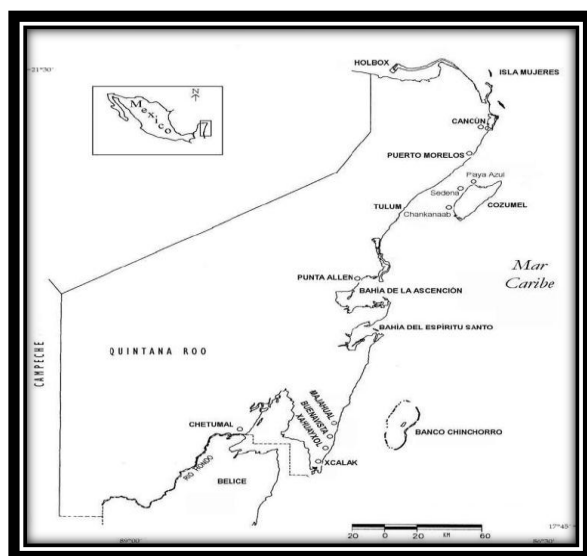


Figura. 1. Área de estudio

Mahahual está situada en la costa del Mar Caribe a unos 55 km de la Carretera Federal 307 Cancún-Chetumal [5], pertenece al municipio de Othón P. Blanco. Sus coordenadas geográficas son 18°42'50"N y 87°42'34"O. Tiene una población de 920 habitantes [6].

Xcalak se ubica a 60 Km al sur de Mahahual, es una población de 375 habitantes [6], sobre la costa caribeña de México en el estado de Quintana Roo y Municipio de Othón P. Blanco. Sus coordenadas geográficas son 18°16'17"N y 87°50'09"O.

Xahuachol ubicado entre los poblados de Mahahual y Xcalak se encuentra en las coordenadas 18°51'00" N y 87°75'88" O [7]. La población total de Xahuachol es de 3 personas. En esta localidad se encuentran 1 viviendas [6]. Este punto en especial es de gran interés debido a que la barrera arrecifal presenta una discontinuidad.

2.1 Metodología

Para el muestreo de los residuos sólidos en las playas basándose en la norma NMX-AA-120-SCFI-2006 [1]. Se seleccionaron los puntos de muestreo de acuerdo a los asentamientos humanos de las poblaciones de Mahahual, Xcalak y Xahuayxol, en la línea costera.

Con la finalidad de registrar y cuantificar los residuos sólidos costeros presentes en la playa, se establecen unidades de muestreo (transectos). En las playas seleccionadas se trazaron dos transectos de 20m cada uno paralelo a la línea de costa (transecto A y transecto B) con 20m de separación

entre transectos. Este paso se realizó en cada uno de los sitios de muestreo. Se redujo la longitud del transecto a 20 metros en virtud de la alta densidad de residuos sólidos observados en el área de muestreo. Se trazaron dos líneas perpendiculares a la línea del transecto de 2m cada una aproximadamente: una hacia la costa y otra hacia tierra adentro (línea de marea alta). Esta área formada de 20 por 4 metros fue el área de muestreo.

Una vez definida el área de conteo, se procede a recorrerla cuidadosamente para clasificar pesar y registrar todos los objetos visibles localizados dentro la franja. Con los subproductos separados en bolsas de basura, estos se pesaron con una balanza OHAUS DS20L de 220 Kg.de capacidad y 0.05 Kg. de precisión y se anotaron en una tabla de subproductos.

2.2. Resultados

En lo que respecta a la norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006 [1], podemos decir que las tres playas que fueron muestreadas no cumplen con las especificaciones que contempla la norma, ya que esta indica que en transectos de 100 m, debe haber como máximo 5 unidades de residuos sólidos, habiéndose encontrado más de 5 Kg de residuos sólidos en 40 m., por playa muestreada, aunque en Mahahual se observó una mayor limpieza en algunas áreas de uso turístico, las cuales son limpiadas constantemente por los prestadores de servicio.

Se observó que gran cantidad de los residuos sólidos encontrados en la costa eran originarios diversos países como: Venezuela, Cuba, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Haití, Colombia, entre otros, por lo que podemos deducir que estos son arrojados desde embarcaciones o arrastrados por diversas corrientes y recalán en la costa.

En la tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización de los residuos sólidos encontrados en las playas, en las playas de Mahahual es donde se encontraron menor cantidad y peso de residuos sólidos por encontrarse mayor uso por parte del sector turístico, siendo limpiadas con mayor frecuencia. Las playas que no se encuentran en uso por el sector turístico o que se ubican alejadas de la zona turística se encuentran descuidadas y con mayor cantidad de residuos.

Tabla 1. Caracterización de residuos de playas

Subproductos	Xcalak (Kg)	Xahuaxol (Kg)	Mahahual(Kg)
Hule	0.05	1.60	0.20
Lata	0.15	0	0
Madera	0.30	6.90	1.00
Material construcción	0	0	2.30
Plástico película	0.20	0.20	0.25
Plástico Rígido	7.95	20.10	4.75
Plástico metalizado	0.05	0	0
Poliuretano	0.8	0.80	1.40
Vidrio de color	0.95	4.20	1.00
Vidrio transparente	2.65	4.85	3.25
Artes de pesca	11.75	8.10	0.80
Medicamentos	1.15	0.30	0.15
Focos	0.25	0.10	0
Calzado	2.60	16.55	6.05
PET	3.55	9.65	0.30
TOTAL	32.35	73.20	21.45

En peso, se encontró una mayor cantidad en las playas de Xahuaxol ya que estas payas no tiene afluencia de turismo, aunado a que existe una fractura en el arrecife creando una entrada a la laguna arrecifal, que permite el ingreso de los residuos que navegan a la deriva, recalando en esta playa.

Es notoria la presencia de focos fluorescentes tubulares, que son utilizados por los pescadores para alumbrar sus lanchas en la noche y posteriormente los tiran. También es notorio la gran cantidad de PET encontrado en Xahuaxol, 9.65 Kg.

Los medicamentos fueron encontrados en las todas las playas muestreadas siendo un residuo potencialmente peligroso. Las artes de pesca (redes) encontradas en gran proporción en las playas de Xcalak y Xahuaxol constituyen un peligro para la vida acuática. En las playas de Xcalack se observaron fuera del área de muestreo algunos residuos voluminosos o de gran peso como llantas con rin, facias de automóvil, puertas de refrigerador, cascos industriales, los cuales no fueron cuantificados por estar fuera del transecto de muestreo.

4. Conclusiones

La región de estudio tiene un alto potencial turístico que aun no es explotado, sin embargo es necesario tomar medidas a fin de evitar un mayor deterioro en esta zona, que se encuentran con alta concentración de residuos sólidos por arriba de las especificaciones de la norma y además de variadas procedencias y esto afecta al ecosistema, ya que algunos animales quedan enredados o ingieren fragmentos de basura, poniendo de esta manera su vida en peligro. La concentración de sólidos encontrados en las playas es muy alta sobre todo en Xahuayxol ya que las campañas de limpieza de playas generalmente se realizan en las playas cercanas a Mahahual donde la actividad turística es mayor.

Es necesario sensibilizar a los pescadores para que sus residuos sólidos sean recogidos, a fin de que evitar afectaciones al medio marino. El inadecuado manejo y disposición final de los desechos sólidos municipales es uno de los problemas principales, sin embargo gran parte de los residuos no son generados por la población local, son arrastrados por corrientes marinas de otras partes o los cruceros que transitan sobre el mar Caribe. Esta problemática no es exclusivamente de las playas del Caribe pues otros estudios lo han reportado a nivel mundial [3].

Referencias Bibliográficas

- [1] SEMARNAT. Julio 2010. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Mexicanas%20Vigentes/nmx-aa-120-scfi-2006.pdf>
- [2] Ursua Guerrero, F., Sian Ka'an, un basurero internacional, *Diario Respuesta*, 20 junio 2011, http://www.diariorespuesta.com.mx/online/index.php?option=com_content&view=article&id=8953:sian-kaan-un-basurero-internacional&catid=88:tulum&Itemid=349
- [3] BBC Océanos al borde de una extinción masiva, 21/06/2011, <http://noticias.prodigy.msn.com/internacional/articulo-bbc.aspx?cp-documentid=29195744>
- [4] Instituto Mexicano de Normalización y Certificación. Julio 2010 http://www.imnc.org.mx/certificaciondeplayas_c_511.html
- [5] SEDETUR. Julio 2010. <http://www.grandcostamaya.com/>
- [6] INEGI Censo 2020, 2011 <http://www.censo2010.org.mx/>
- [7] Estados Municipios y localidades de todo México junio 2011. <http://www.nuestro-mexico.com/Quintana-Roo/Othon-P-Blanco/Areas-de-menos-de-10-habitantes/Xahuachol/>

Comparación del manejo de residuos en la UTL y UPIIG IPN

Carmen L. Camargo Tavares, Melissa E. Castro Orozco, M. Rosario López Retana, Ana L. Rodríguez Sotelo, Lorena Muñoz Hilbert, Mario B. Reyes Marroquín, Jorge A. Delgado Meza, Mario J. Aguilar Méndez, Lisset Herrera Isidró, *D. Elizabeth Turcott Cervantes.

*dturcott@utleon.edu.mx.

Resumen

En el estado de Guanajuato existen varias Instituciones de Educación Superior que han iniciado o llevan a cabo programas ambientales, entre ellas la Universidad Tecnológica de León (UTL) y la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato, Instituto Politécnico Nacional (UPIIG IPN). La UTL gestiona sus residuos desde 2008, creando así un Programa de Manejo que funciona de manera permanente. Por otra parte, la UPIIG IPN cuenta con un comité ambiental, dentro del cual se encuentra una subcomisión encargada del manejo de residuos sólidos. Siendo los principales objetivos de cada una: la educación ambiental, concientización en separación, minimización y valorización de residuos. Se realizaron cuantificaciones de residuos en ambas instituciones, tomando en cuenta varios aspectos: tiempo, personal disponible, horarios de recolección y la generación por fuente. De los resultados se tiene que en la UTL se aprovecha el 59% del total de residuos generados y en UPIIG IPN sólo el 33%. La generación *per cápita* para cada una fue de 0.0319 y 0.0552 kg/persona/día; con una población de 5291 y 1462 personas, respectivamente. En el presente trabajo se compara el manejo de residuos dentro de estas dos Instituciones, considerando la antigüedad de sus Programas Ambientales, por ejemplo: la iniciativa de UTL surgió al interior de la Universidad, mientras que la dirección general del IPN fomenta su creación en todos sus campus, incluidos UPIIG IPN.

64

Palabras clave: *cuantificación de residuos, instituciones de educación superior, residuos de manejo especial, valorización de residuos*

1. Introducción

La intervención e influencia de las Universidades durante la historia ha redundado en cambios sociales, políticos y tecnológicos. Dentro de ellas se gestan revoluciones de pensamiento; estas instituciones no sólo forman profesionistas, sino personas capaces de hacer frente a un mundo complejo y con problemas ambientales mediante una educación integral. Algunas Universidades se han comprometido al implementar Programas Ambientales (PA's), procurando el mantenimiento y permanencia de los mismos. En el estado de Guanajuato, la Universidad Tecnológica de León (UTL) y la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, Campus Guanajuato, del Instituto Politécnico Nacional (UPIIG IPN) llevan a cabo PA's enfocados en su mayoría al manejo de residuos.

La Universidad Tecnológica de León inició su funcionamiento el 26 de septiembre de 1995 [1], pero fue hasta la apertura de la carrera de Tecnología Ambiental (TA) y del inicio del proyecto denominado *Campus Sustentable*, que profesores y alumnos del área implementaron acciones en pro del ambiente [2]. Pero es hasta 2008 cuando se formalizó permanentemente un Programa de Manejo de Residuos. En 2009 se inicia la implementación del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) y a partir de esta fecha, la alta dirección de la Universidad ha trabajado para definir la política ambiental y encaminarse para lograr la certificación en ISO 14001:2004 [3].

Es importante destacar que el modelo educativo de la UTL contempla formar integralmente a los alumnos de todas las carreras, no sólo con materias de formación básica y de especialidad, sino

también con un fortalecimiento en valores éticos y conocimientos socioculturales, incluyendo el desarrollo sustentable; de esta manera el alumno no sólo sabe realizar un trabajo técnico, cumpliendo así con el lema de la UTL “*Ser, Saber, Hacer*”.

El Instituto Politécnico Nacional (IPN), es pionero en México en el área de la educación para el desarrollo sustentable, ya que desde 1939 comenzó a elaborar una política de conservación de nuestros recursos naturales y condiciones, que conjugaran conceptos diversos relacionados al tema [4]. Sumado a lo anterior y en congruencia con los valores que promueve esta institución, el IPN ha realizado actividades como: campañas de concientización dentro del PA con el que cuenta; por consiguiente la UPIIG IPN integró un Comité Ambiental Escolar formado por profesores y técnicos de los laboratorios del campus. El objetivo del comité es promover proyectos para la disminución de los impactos ambientales de la unidad y el fortalecimiento de investigaciones sobre estos temas, involucrando a la comunidad universitaria en general.

Algunas de las actividades que se han implementado en UTL y UPIIG IPN son: concientización en materia ambiental, acopio de materiales susceptibles a ser valorizados y la elaboración de composta; por lo que en este artículo se busca comparar ambos programas, uno con tres años en funcionamiento (UTL) y otro que comienza a implementarse (UPIIG IPN).

2. Metodología

2.1 Cuantificación de los residuos

Se realizó una cuantificación de residuos en diferentes periodos, para UTL se ejecutó en septiembre-diciembre de 2010 teniendo en este cuatrimestre la capacidad máxima de personas (5291), mientras que en UPIIG IPN se efectuó en enero-junio de 2011, semestre con menor comunidad universitaria, sólo 1462.

Se realizaron las cuantificaciones tomando en cuenta las características de cada institución (personal disponible, tiempo para su ejecución, materiales, generación por fuente y frecuencia de recolección de residuos), como se explica a continuación:

- En UTL la caracterización se realizó del 4 al 29 de octubre de 2010, excluyendo las mediciones de cafetería y rectoría, debido a que no se encontraban en servicio para este periodo de estudio. Se contó con el apoyo de alumnos de la carrera de TA.
- La caracterización de UPIIG IPN se realizó del 15 al 22 febrero de 2011. En las tareas realizadas se contó con el apoyo de jóvenes becarios, personal de limpieza y técnicos ambientales del campus.

En las dos instituciones, se siguió como base la metodología descrita en las normas NMX-AA-022-1985, “*Selección y cuantificación de subproductos*” [5]; y NMX-AA-061-1985, “*Determinación de la generación*” [6], cabe mencionar que no se utilizó el método de cuarteo en ninguna de las dos universidades. Para UTL se tomó en cuenta la experiencia obtenida en cuantificaciones anteriores y se contó con las instalaciones y equipos del Centro Universitario para el Acopio (CUPA), incluyendo un minicargador (trascabo ó BobCat), básculas, entre otros.

El objetivo de la cuantificación de residuos para ambas universidades, fue obtener la generación total promedio, composición en peso y comportamiento semanal de los residuos generados, el porcentaje de aquellos susceptibles a valoración, y la generación per cápita.

2.2 Documentación de la concientización en UTL y UPIIG IPN

La concientización en materia ambiental, sobre todo en el área de residuos sólidos, se ha efectuado en ambas instituciones, en esta sección el objetivo fue documentar y describir cómo se realiza esta concientización.

2.3 Comparación de los sistemas de manejo de residuos en UTL y UPIIG IPN

Se documentaron, compararon y discutieron las diferencias y similitudes entre los sistemas de manejo de residuos de ambas instituciones, incluyendo la clasificación y manejo de residuos, del compostaje y finalmente, de los sistemas completos.

3. Resultados y discusión

3.1 Cuantificación de los residuos

En UPIIG IPN, la generación total promedio es de 80.84 Kg/día, de los cuales 43.15 Kg son desechos sin valor, 15.35 Kg son orgánicos y 22.34 Kg son susceptibles de ser valorizados, además, la generación *per cápita* es de 0.0552 Kg/persona/día, valor obtenido con una población de 1462 personas, de las cuales 1082 son estudiantes, 199 pertenecen a la plantilla de la UPIIG y 181 son personal de servicios [7].

En la UTL se generan en promedio 168.8432 Kg/día, de los cuales 68.76 Kg son desechos, 39.04 Kg residuos orgánicos y 61.04 Kg residuos susceptibles de ser valorizados, la generación *per cápita* es de 0.0319 Kg/persona/día considerando que la población de la Universidad, tanto turno matutino como vespertino, era de 5291 personas.

En la UPIIG, los residuos de mayor generación son los orgánicos (jardín, residuos de comida no lácteos ni cárnicos) con 23%, otros plásticos (aquellos que tienen clasificación 7 y los que no tienen número) con 11%, vidrio 9%, residuos finos y el papel sanitario 8% cada uno; y papel de oficina 7%. De estos residuos, los orgánicos son llevados a compostaje, mientras que otros plásticos, vidrio, residuos finos y papel sanitario, son enviados a disposición final. De la generación total, los residuos susceptibles a valorización (PET, PEAD, cartón, orgánicos) corresponden a un 47% y para los desechos un 53% [7].

En UTL, los residuos que más se generan son los residuos orgánicos (servilletas, residuos de comida y de jardín) con 23.12%, los residuos sanitarios (procedentes de los baños) con 18.81%, PET con 12.63%, vidrio con 10.58% y desechables (poliestireno encontrado en vasos, platos, cucharas) con 5.77%. Los residuos orgánicos, PET y el vidrio, llegan casi en su totalidad a CUPA, ya que se tiene un sistema de separación por medio de diferentes contenedores. Los orgánicos son llevados a compostaje, y los dos últimos a venta o reuso, mientras que los desechables son enviados a disposición final. Del total de la generación diaria, los residuos susceptibles a ser valorizados corresponden a un 59.27% y los desechos a un 40.73%. El día de mayor generación es el jueves, ya que tiene más afluencia de personal externo e interno; mientras que para UPIIG IPN corresponde al martes, debido a que gran parte de los estudiantes ya se encuentran instalados (muchos son foráneos).

3.2 Documentación de la concientización en UTL y UPIIG IPN

En la UTL se realizan campañas masivas de capacitación y concientización en materia de residuos, en los que se involucra a toda la comunidad universitaria (alumnos, docentes, personal administrativo y personal de apoyo). En estas pláticas se hace mención del significado de CUPA, qué hace y cómo funciona, también se habla sobre la importancia de la separación de los residuos y los beneficios que implica la realización de todas estas acciones, además se les indica el correcto uso de los contenedores para residuos, ya que dentro de la universidad se cuenta con tres clasificaciones: azul para lo inorgánico (PET, PEAD o HDPE, aluminio, vidrio, etc.), verde para

todo lo orgánico (residuos de comida, jardinería y servilletas de papel) y negro para desechos (unicel, papel aluminio, chicles, bolsas plásticas, etc.).

En UPIIG IPN se realizó un recorrido por todo el campus (2011), salón por salón, las áreas de uso compartido como cafetería y el edificio de gobierno, dando a conocer un video donde se hizo hincapié en la importancia de la separación de residuos, minimización de su generación y maximización del aprovechamiento usando como ejemplo el compostaje de residuos orgánicos, además se brindaron pláticas informativas al personal de limpieza, mantenimiento y jardinería. También se hicieron murales sobre temas ambientales y un buzón de sugerencias elaborados con material de reuso. También se tienen tres contenedores: el orgánico en verde (residuos de jardín, de alimentos y servilletas de papel), plásticos en azul (PET y PEAD) y otros sólidos en amarillo (envolturas, unicel, papel, cartón, madera, latas de aluminio, vidrio, etc.).

3.3 Comparación de los sistemas de manejo de residuos en UTL y UPIIG IPN

En la Tabla 1, se muestran las diferencias que existen en la clasificación y manejo de los residuos generados por cada institución.

Tabla 1. Comparación de clasificación y manejo de residuos entre UTL y UPIIG IPN

UTL	UPIIG IPN
Tiene tres diferentes clasificaciones: inorgánicos, orgánico y desechos. Este último bote genera confusión debido a que aún no les queda claro a los usuarios que depositar en él. Los residuos susceptibles a ser valorizados (inorgánico y orgánico) que llegan a CUPA, se someten a una separación secundaria por parte del personal que labora en este sitio, donde son separados por tipo de material para su posterior almacenamiento, venta y reuso. Se cuenta con diferentes compradores, los cuales vienen una vez cada uno o dos meses para recolectar los residuos una vez que se generan las cantidades solicitadas por ellos.	Posee tres clasificaciones: orgánico, plásticos y otros sólidos. Las últimas dos generan confusión en los usuarios, ya que no saben que depositar en otros sólidos porque estas clasificaciones no les quedan muy claras. Los residuos susceptibles a ser valorizados (sólo PET, PEAD y cartón) son separados y almacenados por el personal de intendencia de la institución. El cartón se dona a la Cruz Roja y para los demás materiales se tienen compradores, sin embargo estos sólo recogen los materiales cuando les es redituable (en base a la cantidad almacenada).
Se tiene la infraestructura (botes) necesaria para la operación del programa, además se cuenta con el apoyo del personal de intendencia, teniendo como únicos inconveniente la pérdida de aluminio (ya que la intendencia se lo lleva) y la falta de involucramiento en la separación primaria por parte de la comunidad universitaria en general.	La infraestructura no es la adecuada debido a que el tamaño de los botes es menor al requerido (de acuerdo a lo observado) y no en todas las zonas del campus existe la clasificación antes mencionada y no se cuenta con un espacio destinado para el almacenamiento de los residuos. Se cuenta con el apoyo del personal de intendencia, sin embargo presentan el mismo problema que en la UTL, ya que también tienen pérdidas de aluminio.

En cuanto al aprovechamiento de los residuos orgánicos también existen diferencias, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación del compostaje entre UTL y UPIIG IPN

UTL	UPIIG IPN
• Se utiliza el método de compostaje en pila y se cuenta con área específica para ello. • Se carece de un monitoreo y control de la composta • Ya se tiene composta madura, la cual se usa en las áreas verdes de la universidad al final de cada periodo escolar (cuatrimestres)	• Se utiliza el método de cama el cual posee un sistema de riego y se tiene un área específica designada para ello • Poseen un mayor control de las compostas, por lo cual sus parámetros están bien monitoreados • Aun no tienen composta madura, pero se espera utilizar en las áreas verdes de todo el campus

Para finalizar, ambas instituciones tienen otras diferencias entre sus sistemas, como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de los sistemas de manejo de residuos entre UTL y UPIIG IPN

UTL	UPIIG IPN
• Existe una campaña de concientización desde 2008 • Poco involucramiento de la comunidad universitaria, aparte de la carrera de Tecnología Ambiental • Existe un área especializada en materia de residuos • Existe la voluntad de hacerlo (programa de residuos) • La población universitaria cambia cada ocho meses y es necesario comenzar a capacitar desde cero • Existe personal contratado para atender capacitaciones y manejo de residuos dentro de la Universidad	• Existe una campaña de concientización desde finales de 2010 • No hay carreras ambientales, sólo una materia “protección ambiental”, impartida en Biotecnología • Existe un comité que abarca temas de agua, residuos y energía, entre otros • Se cuenta con algunos recursos (humanos y materiales), pero se carece expertos que guíen • La mayoría de los involucrados en las capacitaciones son becarios, al finalizar sus horas de servicio no hay seguimiento y no hay personal contratado permanentemente

Es importante mencionar que a pesar de que son dos sistemas totalmente diferentes (y con un nivel de maduración diferente), lo interesante es observar cómo es que se repiten algunos problemas de como la falta de apoyo e interés por parte de la comunidad universitaria en general, la pérdida del aluminio, entre otros.

4. Conclusiones

Como hemos podido observar a lo largo de este artículo, ambas instituciones presentan particularidades en el manejo de sus residuos, lo que ocasiona que los sistemas sean diferentes en su implementación, funcionamiento y seguimiento. También es importante señalar las diferentes razones por las cuales se originaron estos PA's, ya que para UPIIG IPN se fomenta su creación por parte de su oficina central en la ciudad de México; mientras que la UTL dio inicio a esto por cuenta propia, es decir no hubo más motivación que la de dar congruencia entre lo que se oferta como carrera (TA) y lo que sucede al interior de la institución.

Es importante destacar las diferencias entre ambos sistemas, por ejemplo, en la UTL se aprovecha el 59% de los residuos generados, mientras que en UPIIG IPN se aprovecha sólo el 33%, esto se debe principalmente al número de personas que se encuentran en cada una de las instituciones y el número de edificios con que cuenta cada una (UTL es de 5291 personas en doce edificios, UPIIG IPN es 1462 en nueve), y al tiempo que cada institución tiene funcionando, puesto que la primera existe desde hace quince años mientras que la segunda lleva sólo tres. Adicionalmente sus PA's también tienen antigüedad diferente, en UTL su programa tiene su origen desde 1999 y su formalización en 2008, mientras que el UPIIG IPN empezó hace un año. En congruencia con esta antigüedad, la UTL tiene más infraestructura; y personal contratado permanentemente para el

manejo de sus residuos, mientras que UPIIG IPN se encuentra en los inicios de gestionar ambas cuestiones.

En el caso de compostaje, se ha desarrollado más rápidamente y de manera más formal en UPIIG IPN (método de compostaje en cama) y en el caso de UTL (método de compostaje en pila) es un área de oportunidad de mejora. Sin embargo, en UTL, ya se ha utilizado este material como fertilizante para áreas verdes de la misma institución.

Finalmente se puede concluir que la implementación y desarrollo de este tipo de PA's dentro de las Instituciones de Educación Superior, no sólo involucra el control y disminución de los impactos ambientales generados por estas, si no que, bien podrían ser un primer paso para lograr el mejoramiento ambiental de nuestro país, fomentando una cultura ambiental entre nuestros profesionistas y futuros líderes.

Referencias Bibliográficas

- [1] Universidad Tecnológica de León. 2008 (31/05/2011). http://www.utleon.edu.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=95
- [2] Turcott Cervantes, D.E. López Romo, K.G. Reyes Marroquín, M.B. *Informe Anual (2008) del Programa de Manejo de Residuos de la Universidad Tecnológica de León*. 2009. Documento del Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad Tecnológica de León. León, Guanajuato. México.
- [3] Turcott Cervantes, D.E. López Romo, K.G. Reyes Marroquín, M.B. *Informe Anual (2009) del Programa de Manejo de Residuos de la Universidad Tecnológica de León*. 2010. Documento del Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad Tecnológica de León. León, Guanajuato. México.
- [4] Instituto Politécnico Nacional. Secretaría. 2007 (16/05/2011). www.programambiental.ipn.mx:70/.../ambiental/.../educacion_desarrollo_sustentable.pdf
- [5] Norma Mexicana, NMX-AA-022-1985. "Protección al ambiente- Contaminación del suelo- Residuos Sólidos municipales-Selección y cuantificación de subproductos". (1985, 18 de marzo) Diario Oficial de la Federación.
- [6] Norma Mexicana: NMX-AA-061-1985. "Protección al ambiente- Contaminación del suelo- Residuos Sólidos municipales-Determinación de la generación". (1985, 8 de agosto) Diario Oficial de la Federación.
- [7] Camargo Tavares, C.L. *Implementación del Método de Producción más Limpia para el UPIIG-IPN*. 2011. Informe final de estadía para obtener el título de Ing. en Tecnología Ambiental. Universidad Tecnológica de León. León, Guanajuato. pp. 10, 27, 35, 45-46.

Determinación de la influencia del factor “nivel de renta” en la eficiencia de la recogida selectiva de residuos urbanos. Caso de estudio Castellón de la Plana (España)

Antonio Gallardo, Ana Gómez, María Dolores Bovea, Francisco Colomer, Mar Carlos

gallardo@emc.uji.es

Resumen

En esta ponencia se presentan los resultados obtenidos en un estudio que analiza la influencia del factor “nivel de renta económica” en la recogida selectiva, aplicado a la ciudad de Castellón de la Plana (España). Estos resultados serán de gran utilidad para proponer posibles modificaciones en el sistema actual de recogida y nuevos programas de educación ambiental diferenciados. Para determinar la influencia de dicho factor en la eficiencia de la recogida se han elegido dos zonas diferentes: una con nivel de renta media-baja y otra de media-alta. Dicha eficiencia se expresa en función del grado de separación y el grado de calidad de los residuos depositados en los contenedores. En nuestro caso se han analizado los de envases, de vidrio y de papel-cartón. El grado de separación se ha calculado a partir de la estimación de la tasa de recogida diaria de residuos. Ésta se ha determinado realizando seguimientos diarios del nivel de llenado de los contenedores. La calidad de la separación se expresa en función del porcentaje de materiales impropios que aparecen en el contenedor. Para ello se realizó una caracterización de los residuos en laboratorio.

Palabras Clave: *residuos urbanos, recogida selectiva, residuos de envases*

1. Introducción

En las últimas décadas, el crecimiento económico a nivel mundial ha ocasionado un incremento desmesurado de la producción de residuos urbanos (RU). En Europa las nuevas estrategias de gestión de los residuos han abordado esta problemática creando planes de prevención en la generación, separación en origen, valorización y eliminación en vertedero de los residuos no valorizables. En España la separación en origen de los residuos recuperables se ha planteado mediante la implantación de diferentes sistemas de recogida selectiva [1], dependiendo de cada Comunidad Autónoma o incluso de la ciudad. Sin embargo, reducir la producción de los residuos y aumentar el reciclaje solo se logra mediante la participación y colaboración de los ciudadanos.

Son diversas las investigaciones que se han centrado en determinar qué factores influyen en dicha participación; por una parte, se ha encontrado que las dificultades que perciben los ciudadanos a la hora de separar los residuos son la limitación de espacio en los hogares [2] y [3] y la lejanía de los contenedores al domicilio [4], [5], [6] y [1], y por otra parte la falta de información [7], las características sociodemográficas como la edad, el sexo y el nivel de educación [2] y [8], y el nivel de ingresos económicos [9] y [10].

Este trabajo tiene por objetivo aportar, como se ha hecho en otros países, información sobre cómo el factor “nivel de renta económica” influye y de qué forma en el funcionamiento de los programas de recogida selectiva, para posteriormente establecer las medidas preventivas oportunas. Para ello se ha estudiado el caso particular de la ciudad de Castellón de la Plana (España).

2. Alcance

2.1 Descripción de la recogida selectiva en Castellón de la Plana

En la ciudad de Castellón existe un sistema de recogida selectiva en el que los RU se separan en origen en cuatro fracciones: resto (restos de comida y otros), envases (metal, plástico y brik), papel-

cartón y vidrio. La fracción de resto se recoge a nivel de acera en contenedores de 1,100 litros y las otras fracciones se recogen a nivel de área de aportación (AA), en contenedores de 3,200 litros, con un radio de acción medio de 100 metros. El radio de acción es la distancia, en línea recta, más alejada del contenedor. En cada AA hay normalmente un contenedor de envases, papel-cartón y vidrio. En grandes áreas de la ciudad dichas AA están formadas por una batería de tres contenedores enterrados, uno para cada tipo de residuo. También existe la recogida específica de otros residuos como pilas, tubos fluorescentes, ropa, medicamentos, voluminosos, etc., a nivel de acera, en establecimientos y en el ecoparque (también llamado punto limpio).

2.2 Determinación de la zona de estudio

Para el estudio de la distribución de la población por nivel de renta en Castellón se dispone únicamente del censo de la ciudad, con fecha del 8 de octubre de 2010. Éste divide la ciudad en 9 distritos, y cada distrito se subdivide en secciones, que tienen entre 1,000 y 2,000 habitantes. El censo proporciona el número de personas que vive en cada sección, nivel de estudios, nacionalidad, etc., pero no da información sobre el nivel de renta en cada vivienda. No existen datos publicados del nivel de renta económica por distritos (ni por secciones), por lo que se optó por clasificarlos en función de las características de los edificios. Se realizó un trabajo de campo en el que se analizaron y clasificaron las secciones en aquellas con edificios formados por viviendas de precio medio-alto (Zona 1), en la que se supuso que la mayoría de la población es de renta media-alta; secciones con edificios viejos de precio medio-bajo (Zona 2), en la que se supuso que la población es de renta media-baja, y secciones mixtas (mezcla de edificios nuevos y viejos). Este último grupo no tiene valor para el estudio. El número de habitantes en la Zona 1 es de 10,935 y en la Zona 2 de 27,227.

3. Determinación de la tasa de recogida

Para determinar la tasa de recogida (volumen de residuos recogidos por habitante y día) es indispensable la colaboración de la empresa que realiza la recogida de cada una de las fracciones a estudiar (envases, papel-cartón y vidrio). La empresa FCC, encargada de la recogida de las fracciones de envases y papel-cartón, colaboró y suministró toda su información. Se dispone así de las rutas de recogida que pasan por las dos Zonas de estudio, pero la empresa no registra las pesadas de cada ruta, sino simplemente las globales. Por tanto, no se puede discriminar entre las dos zonas de estudio y se ha tenido que definir otra estrategia.

Se decidió estimar la tasa de recogida a partir del estudio del grado de llenado de los contenedores. Para ello se propuso hacer un seguimiento de los contenedores de envases, papel-cartón y vidrio. Se dispone de las rutas de recogida y de los horarios, por lo que se optó por anotar el grado de llenado de cada uno de los contenedores unas horas antes de ser vaciados.

Para determinar el tamaño de la muestra, es decir, el número de meses que se tienen que muestrear, se han utilizado las fórmulas descritas por Bartlett *et al.* para datos continuos [11]. La fórmula correspondiente es la siguiente:

$$n_0 = \left(\frac{tS}{e\bar{X}} \right)^2 \quad (1)$$

Donde t es el nivel de confianza que viene determinado por el valor de α . Habitualmente se utiliza una confianza del 95% ($\alpha = 0.05$), con lo cual $t = 1.96$. S es la desviación estándar, $\bar{X}$ es la media, en este caso es el número medio de contenedores llenados al mes en cada AA, y e es el error aceptable para la media que se estima, se toma el 10%.

Si el tamaño muestral resultante supera el 5% del tamaño poblacional, debe utilizarse la fórmula del tamaño muestral corregida [11]:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (2)$$

Donde N es el tamaño de la población.

Se determinó el tamaño de muestra a partir de la recogida selectiva de envases, ya que se disponía de datos previos obtenidos en una experiencia piloto realizada por el grupo de investigación. De dicho trabajo se tiene que $S = 0.13$ y $\bar{X} = 2.32$, y aplicando la ecuación 1 se obtiene que $n_0 = 1$. Como n_0 es mayor que el 5% de 12 (12 meses del año), se aplica la ecuación 2. El resultado es que $n = 1$. Por tanto será necesario muestrear durante un mes.

Dado que la recogida se realiza con una frecuencia de dos veces por semana se estuvo tomando datos durante 4 semanas consecutivas. Consistía en ir punto por punto revisando todos los contenedores.

Una vez finalizado el periodo de toma de datos se procedió a su procesado y análisis. Para determinar la tasa de recogida, en volumen, se averiguó el número de habitantes que aportan residuos en cada una de las zonas. Por tanto, en cada zona se conoce el número de contenedores, su capacidad, el número de habitantes y el periodo de muestreo. Con todo ello se puede calcular la tasa de recogida, en litros por habitante y día.

Para poder comparar entre las dos Zonas se deben tomar aquellas AA con un mismo radio de acción. En este proceso se tuvo que desechar los datos de vidrio, pues existían AA en las que no había contenedores de este material. Las AA comparables tienen un radio de acción de 100 ± 5 m. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 1. Observando la tabla se puede concluir que en la Zona 2 la tasa de recogida es mucho menor que en el Zona 1. Como conclusión se puede decir que, a priori, en la zona de renta media-baja la tasa de recogida es menor. Sin embargo, existen otros factores como el porcentaje de extranjeros [12], o grado de información ambiental [13], que se deja como futuro trabajo, la determinación de su influencia en los resultados de la tasa de recogida.

Tabla 1. Tasa de recogida (l/hab.d)

Zonas	Volumen de papel-cartón/hab.d (litros)	Volumen de envases/hab.d (litros)
Zona 1	6.4	7.1
Zona 2	1.75	2.2

4. Composición de los residuos

La siguiente etapa del estudio fue determinar la calidad de los residuos recogidos selectivamente en cada una de las dos Zonas. Respecto a las fracciones de vidrio y papel-cartón, por referencia de las empresas que los procesan, el contenido en peso de impropios es muy bajo (entre 1-3%), por lo que es de esperar que no haya diferencias significativas entre las zonas 1 y 2. Por esta razón, no se estudiaron estas fracciones. El estudio de composición se centró en la fracción de envases, que es más proclive a que contenga mayor porcentaje de impropios debido a la heterogeneidad de los materiales que se recogen conjuntamente y a la desinformación ciudadana sobre el tipo residuo que debe depositarse en este contendor [1].

En este segundo caso también se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 para determinar el número de muestra necesaria. Se plantea determinar el número de puntos a muestrear para estimar el porcentaje de envases dentro del contenedor de envases. Se realiza la operación para las Zonas 1 (con un total de 51 contenedores) y para la Zona 2 (con 32 contenedores). Los datos previos de media y desviación de la fracción de envases en el contenedor se han obtenido de la base de datos

publicada por Ecoembes (www.ecoembes.es), donde aparecen datos referidos a la ciudad de Castellón. A partir de la ecuación 1, y tomando $t = 1.96$, $e = 0.05$, $S = 5.99$ y $\bar{X} = 87.57$ (porcentaje de envases en el contenedor de envases) se obtiene que $n_o = 7$. Para la Zona 1, con $N = 51$ contenedores, n_o es superior al 5% de N , por tanto se aplica la ecuación 2. El resultado es que $n = 6$. Por tanto, hay que tomar muestra en un mínimo de 6 contenedores. En la Zona 2, con $N = 32$, sucede lo mismo y $n = 6$.

Finalmente se necesita conocer la cantidad de residuos que es necesario caracterizar en cada zona. Para ello se vuelven a aplicar las fórmulas descritas por Bartlett *et al.* En este caso N es la cantidad de residuos que se recogen en un itinerario. Tanto para la Zona 1 (donde $N = 638$ kg) como para la Zona 2 (donde $N = 1,589$ kg) la cantidad necesaria es de al menos 7.19 kg, la cual se extraerá de forma distribuida de al menos 6 contenedores.

Posteriormente, se procedió a determinar la composición, se hicieron dos muestreos en una semana en cada una de las dos zonas. En la Zona 1 se tomaron muestras martes y jueves por la mañana, tomando 18 y 22 kg respectivamente en 12 puntos cada día. En la Zona 2 se procedió del mismo modo, se muestrearon los mismos días por la tarde y se tomaron 21 y 24 kg en 12 puntos de muestreo. Los resultados de la caracterización se presentan en las figuras 1 y 2.

Como principal conclusión del análisis de la composición de los contenedores de envases se puede afirmar que en ambas Zonas existe un porcentaje muy similar de impropios, se diferencian en un punto porcentual. Mientras en la Zona 1, con nivel de renta media-alta, es del 16.66%, en la Zona 2 es del 17.77%. Se puede decir que en ambas poblaciones se introduce la misma cantidad de impropios en los contenedores. Por otro lado, dichas cantidades son muy bajas si se compara con la media de las ciudades españolas, que es del 24% [1]. En cuanto a la composición de la fracción de impropios, cabe destacar que el porcentaje de materia orgánica en la Zona 2 (el 32.25%) es muy superior al de la Zona 1 (el 18.98%), como se puede observar en la tabla 2. Finalmente también se pudo observar que la composición global de los envases es parecida en ambas Zonas.

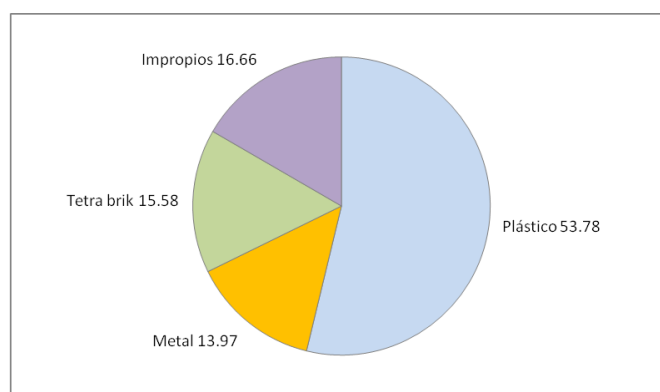


Figura 1. Composición Zona 1 (renta media-alta)

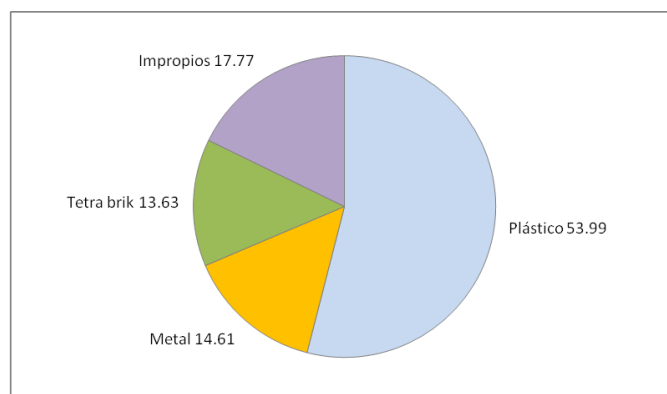


Figura 2. Composición Zona 2 (renta media-baja)

Tabla 2. Composición de la fracción de impropios del contenedor de envases

MATERIAL	IMPROPIOS Zona 1 (%)		IMPROPIOS Zona 2 (%)	
	absoluto	relativo	absoluto	relativo
Cartón	2.47	14.84	2.60	14.66
Goma y cuero	0.31	1.89	0.03	0.17
Inertes	0	0	0.52	2.93
Juguetes	0	0	0	0
Madera	0	0	0	0
Materia orgánica	3.16	18.98	5.73	32.25
Papel	3.48	20.87	3.06	17.21
Residuos peligrosos	2.22	13.34	1.68	9.43
Textil y calzado	0.11	0.66	0.44	2.46
Vidrio	1.91	11.48	2.06	11.60
Otros	2.99	17.94	1.65	9.30
TOTAL	16.66	100	17.77	100

4. Conclusiones

El resultado obtenido sobre la tasa de recogida para las fracciones de envases y papel-cartón ha sido que en la Zona 1 la tasa es superior a la Zona 2. Sin embargo, no puede ser del todo concluyente ya que se detectó que existen otros factores, como población extranjera y grado de información ambiental, que pueden influir.

Respecto a la composición del contenedor de envases, se ha podido comprobar que en ambas zonas el porcentaje de envases (plástico, metal y brik) es muy similar, y en cuanto a la composición de los impropios, se han encontrado pequeñas variaciones entre ambas zonas.

Agradecimientos

Al Ayuntamiento de Castellón (Sección Infraestructuras, Servicios Públicos y Medio Ambiente) y a la empresa FCC, por la información aportada.

Referencias Bibliográficas

- [1] Gallardo A., Bovea M.D., Colomer F.J., Pradres M. & Carlos M. Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste Management*. Vol. 33. 2010. pp. 2430-2439.
- [2] Gamba R. & Oskamp S. Factors influencing community residents participation in commingled curbside recycling programs. *Environmental and Behavior*. Vol 26. 1994. pp. 587-612.
- [3] Franco J. & Huerta E. Determinantes de la participación ciudadana en programas de reciclaje de residuos sólidos urbanos. *Investigaciones Económicas*. Vol. 20. 1996. pp. 271-280.
- [4] Vinning J. & Ebreo A. . An evaluation of the public response to a community recycling education program. *Society and Natural Resources*. Vol. . 1990. pp. 23-36.
- [5] Ludwig T., Gray T. & Rowell A. Increasing recycling in academic buildings: A systematic replication. *Journal of Applied Behaviour Analysis*. Vol. 31. 1998. pp. 683-686.
- [6] Valle P., Reis E., Menezes J. & Rebelo E. Behavioural determinants of household recycling participation: the Portuguese case. *Environmental Behavior*. Vol. 36. 2004. pp. 505-540.
- [7] De Young R. Exploring the differences between recyclers and non-recyclers: the role of information. *Journal of Environmental Systems*. Vol. 18. 1989. pp. 341-351.
- [8] Scott D. Equal opportunity, unequal results. *Environmental and Behavior*. Vol 31. 1999. pp. 267-290.
- [9] Owens J., Dickerson S. & Macintosh D.L. Demographic Covariates of Residential Recycling Efficiency. *Environmental and Behavior*. Vol. 32. 2000. pp. 637-650.
- [10] Purcell, M., Magette, W.L. Prediction of household and commercial BMW generation according to socio-economic and other factors for the Dublin region. *Waste Management*. Vol. 29. 2009. pp. 1237-1250
- [11] Bartlett, J. E., Kotrlik, J. W., Higgins, C. C. "Organizational research: Determining appropriate sample size in survey researches". *Information Technology, Learning and Performance Journal*. Vol. 19(1). 2001. pp. 43-50.
- [12] Howenstine E. Market segmentation for recycling. *Environmental and Behavior*. Vol. 25. 1993. pp. 86-102
- [13] De Young R. Exploring the differences between recyclers and non-recyclers: the role of information. *Journal of Environmental Systems*. Vol. 18. 1989. pp. 341-351

Disposición temporal de residuos sólidos en una institución educativa; propuesta de almacenaje eficiente

Erick Romero, Ernesto De Santos, Paulina Adams, Laura Olivar y José Melero

erikz182r1@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo que las autoridades de las instituciones educativas tomen conciencia del impacto ambiental negativo que tiene el no contar con un sitio adecuado de disposición temporal de los residuos sólidos que se generan en la institución de la que son responsables. Se presentan algunas imágenes de cómo, de manera sencilla pero eficaz, se puede cambiar la imagen de estos depósitos, contribuyendo con esto a generar una cultura de educación ambiental desde las autoridades educativas hasta los alumnos incluyendo al personal de apoyo a la educación. Además de la buena imagen que se proyecta, también se cumple con las disposiciones que marca la ley, pues las instituciones educativas son las primeras que deben hacer que la ley se cumpla, creando un ambiente de buena participación entre la sociedad y el gobierno.

Palabras Clave: *impacto ambiental, imagen, personal de apoyo, educación ambiental*

1. Introducción

Este trabajo muestra las condiciones en que se encuentran los depósitos temporales para la basura que hay en las instituciones educativas, generalmente están en mal estado, por el hecho de ser depósitos de basura no necesariamente deben encontrarse sucios, en mal estado o dejarlos sin cuidado alguno. Se estuvo observando los depósitos en varias escuelas y en la mayoría la basura se encontraba fuera de los contenedores, contaminando el suelo, el aire y siendo perjudicial para los estudiantes que se encuentran alrededor realizando diferentes actividades, ya que la basura que se encuentra en el piso, con el viento se expande por toda la escuela y sus alrededores, además dejando un olor desagradable, siendo esto perjudicial para la salud. En otros casos se observó que no había suficientes contenedores para la cantidad de basura que se genera. Los trabajadores de intendencia colocan la basura en bolsas, que con el clima extremo que hay en Mexicali, las bolsas, aumentan su volumen y estas se rompen ocasionando con esto que la basura contenida dentro de ellas se derrame en el suelo. Además en otras instituciones se encontraron contenedores en mal estado y oxidados.

2. Desarrollo

Los residuos sólidos [1] están divididos en tres tipos:

1. Residuos sólidos urbanos.- son aquellos que son generados en las casas habitación y resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas y es competencia del gobierno municipal.
2. Residuos de manejo especial.- son aquellos generados en los procesos productivos y no son considerados como peligrosos o sólidos urbanos a menos que sean producido por grandes generadores de sólidos urbanos, este tipo de residuos es competencia del gobierno estatal.
3. Residuos peligrosos.- son aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, etc. Estos son de competencia federal.

2.1 Problemática actual

Para efectos del presente trabajo, este se enfoca solamente en los residuos sólidos urbanos que son generados en las instituciones de educación.

La finalidad de este trabajo es, a través de imágenes, concientizar a los miembros de una institución educativa y en especial a los directivos, a que tomen las medidas necesarias para minimizar el problema de contaminación visual y de salud que representa el tener un depósito temporal de residuos sólidos con contenedores en mal estado, al aire libre y sin control. Las imágenes que se presentan fueron tomadas en diferentes instituciones educativas públicas y privadas de la ciudad de Mexicali, B.C.

De la misma forma que en las ciudades es evidente que la generación, el manejo y la disposición final de los residuos representan un serio problema, así mismo en las instituciones educativas dicha problemática se presenta tanto para el medio ambiente como en graves riesgos para la salud [2]. En las figura1 y 2 muestran el depósito temporal de una institución que cuenta con los contenedores suficientes, pero como se puede observar:

- a). el cerco perimetral está descuidado y en mal estado
- b). basura tirada en todo el depósito temporal presentando una imagen desagradable
- c). algunos depósitos están en mal estado, y,
- d). la basura se disgrega al terreno contiguo conllevando con esto posibles problemas legales.



Figura 1. Basura mal depositada



Figura 2. Apariencia física de los contenedores

En las figuras anteriores, se puede observar que al lado de la institución se está instalando una empresa maquiladora y tienen dos salidas enfrente del depósito por lo que al salir de la empresa lo primero que verán son los contenedores y la basura derramada por el suelo, además del mal olor.

La figura 3 muestra el único contenedor con el que cuenta otra institución, se puede observar cómo, además de estar en mal estado, está sobre-saturado de basura, lo cual indica que dicho contenedor no es suficiente para la cantidad de basura generada por esa institución.



Figura 3. Único contenedor en la institución

Generalmente un problema lleva a otro tal y como lo observamos en la figura3, pues además de la basura en el suelo, la flora en ese lugar tiene riesgos de contaminación por la basura sólida y líquida que salen de las bolsas rotas y favorece la proliferación de insectos y roedores.

En la figura 4 se muestra el depósito temporal de residuos en otra institución, en ella si hay suficientes contenedores, el problema más fuerte radica en que están a un lado de los salones donde los alumnos llevan clases, además de soportan la imagen desagradable de la basura a un lado del salón, también tienen el problema de los olores que estos despiden aunque estén dentro de los salones.



Figura 4. Depósito temporal junto a las aulas

Estos son solo algunos ejemplos que se multiplican a lo largo de toda la ciudad, se pudo observar que en muchas de las instituciones no se planeó a largo plazo el contar con un depósito temporal en un lugar adecuado y con las condiciones ambientales debidas, pero lo más grave es que en estos momentos, parece que los directivos no se han dado cuenta del grave problema que es el tener los depósitos temporales en malas condiciones, ni mucho menos el pensar en generar un programa de reuso, recicle y de reducción de la basura generada.

2.2 Propuesta de solución

Solucionar el problema de un adecuado manejo y disposición temporal de los residuos sólidos es muy complejo e intervienen varias variables. Esta propuesta va encaminada a realizar algunas acciones sencillas que puedan ser la base para la solución completa del problema.

En el recorrido que se realizó por diferentes instituciones educativas se pudo constatar que algunas de ellas tienen un control aceptable sobre los depósitos temporales y no necesariamente porque tengan más trabajadores de intendencia, sino porque trabajan en forma coordinada y se han dado cuenta que tener un plan de manejo [3] les resulta más conveniente tanto a ellos como trabajadores como a la propia institución.

Las figuras 5 y 6 muestran un depósito temporal para residuos de una institución que realiza muy bien su trabajo, no tienen muchos trabajadores de intendencia, pero cada uno de ellos hace lo que tiene que hacer y lo hace bien.



Figura 5: Vista frontal del depósito temporal



Figura 6. Vista del reverso

Como se puede observar, no hay desorden en el depósito, el depósito se encuentra en una área central de los patios de la institución (a cinco metros del estacionamiento de los docentes y a 10 de las canchas de futbol y basquetbol), el acarreo de los botes de basura se lleva a cabo en forma rudimentaria, o sea con un “diablito” y la extensión aproximada de la institución es de 10 hectáreas.

La figura 7 muestra, en otra Institución cómo llega una bolsa de basura al depósito temporal y como es comprimida por una máquina especialmente diseñada para eso.



Figura 7. Llegada de la bolsa al contenedor

Al llegar la bolsa, ésta se deposita dentro de la máquina para comprimirla, la figura 8 muestra el contenido del contenedor antes de comprimirla.



Figura 8. La bolsa dentro del contenedor

Al lado de este depósito temporal existen talleres y laboratorios de la propia institución y en forma general no es notoria la presencia del depósito en dicho lugar.

Estos son solo dos ejemplos pero hay empresas e instituciones que están realizando bien su trabajo con respecto al depósito temporal de sus residuos. Para realizar este trabajo, se realizó un recorrido a algunas empresas, restaurantes y tiendas departamentales que también llevan en forma adecuada el manejo de los residuos sólidos que generan.

Un paso hacia la solución es que:

- a). Los directivos de cada institución tomen conciencia de los beneficios de un adecuado manejo de los residuos sólidos dentro de la institución que encabezan,
- b). Los directivos tracen un plan de manejo de sus residuos sólidos, tomando en cuenta la cantidad de residuos generados para así adquirir los contenedores que sean necesarios,
- c). Que acondicionen un lugar que sea el pertinente para depositar los residuos en forma temporal, que tenga espacio suficiente, suficiente maniobrabilidad [4], estabilidad del suelo donde se encuentre, higiénico, cubrir el espacio del depósito con una barda o con algún material flexible económico (lonas por ejemplo), y
- d). Capacitar al personal de intendencia en el manejo adecuado de los residuos sólidos.

3. Resultados esperados

Los resultados esperados con estas sencillas acciones, si son llevadas a cabo, harán la diferencia entre tener un depósito temporal en buenas condiciones sin gastar mucho y un depósito temporal

con riesgos a la salud y que impactan en la estética, no solo del lugar donde está sino en toda la institución.

Las propuestas anteriores las pueden llevar a cabo en todos los niveles de todas las instituciones de educación [5], no se tiene contemplado un gasto fuerte y además las instituciones pueden ser asesoradas por estudiantes de las instituciones de educación superior a través de los programas de servicio social, logrando con esto realizar un efecto multiplicador de concientización y de minimización del problema.

4. Conclusiones

Cuando en el 2009 la ciudad tuvo problemas con la *Rickettsia*, una parte importante de este problema fue la higiene del lugar donde ésta atacó [6], así que no se debe esperar a tener una emergencia de esta magnitud para actuar, es mejor hacerlo en forma preventiva.

Con este trabajo se pudo observar y concluir que los directivos de las escuelas no están bien informados, de que deben de buscar el lugar más apropiado para poder ubicar los depósitos temporales, estos deben encontrarse lo más retirado posible de las aulas, donde los mismos alumnos y profesorado no estén en algún tipo de contacto, pero a la vez, que se encuentren convenientemente ubicados para que cuando los camiones recolectores recojan los residuos, esto sea de una manera fácil y eficaz. Es importante pues el capacitar a todos los miembros de la institución sobre todos en las normas mexicanas referidas a los residuos sólidos para que cómo instituciones de educación se dé ejemplo de buen orden.

Es pertinente aclarar que en éste trabajo no se mencionó que los residuos se pueden caracterizar y con ello buscar reusar, reducir y reciclar de forma tal que se minimice el problema del volumen de residuos llevados a disposición final. En la actualidad éste trabajo se está llevando a cabo en la institución.

Referencias Bibliográficas

- [1] Cámara de Diputados. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Consultado 31 Mayo 2011. <http://www.diputados.gob.mx>
- [2] Ojeda S. Generación de residuos sólidos domésticos y su diferenciación por estrato socioeconómico en la familia mexicalense. Congreso Interamericano de residuos. Mérida. 2005. Pp1-10. www.bvsde.paho.org. Fecha consulta 31 mayo 2011.
- [3] Cámara de Diputados. Artículo 27. LGPGIR. Fecha consulta 31 Mayo 2011. <http://www.diputados.gob.mx>
- [4] Tchobanoglous, V. Thiesen, H. y Vigil, S. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Vol 1. 1994. Ed. McGraw Hill/Interamericana. España.
- [5] Phillips, V., Tschida, R., Hernández, M. y Santiago, E. Fecha consulta 28 Mayo 2011. Manual para el manejo de los residuos sólidos. www.uwsp.edu/cnr/gem
- [6] Romano, M. Fecha consulta 1 Junio 2011. Artículo sobre la *Rickettsia*. <http://www.vetlab.com.mx>

El consumo y la generación de residuos sólidos: una problemática ambiental

Lizbeth Jaime Solorio

ljaimes@upbc.edu.mx

Resumen

A través de la historia, el ser humano ha utilizado los recursos naturales sin considerar las posibles afectaciones al entorno, hasta entonces la naturaleza había sido capaz de recuperarse de los daños que los hombres le causaban. Hoy en día además de continuar con el mismo comportamiento se ha sumado también la falta de conciencia sobre el impacto que produce la basura en el medio ambiente; considerando que la población aumenta con el paso del tiempo por ende, la cantidad de residuos también crece y se va acumulando, de esta manera le es más difícil a la naturaleza recuperarse del daño. En esta investigación se caracterizaron los residuos sólidos domiciliarios de 174 viviendas en la ciudad de Mexicali, correspondientes a los estratos socioeconómicos bajo medio y alto, con el propósito de determinar el tipo y porcentaje de los material de empaque de los residuos encontrados.

Palabras Clave: *caracterización de residuos, consumo, educación ambiental, generación de residuos, residuos sólidos domiciliarios*

1. Introducción

81

En la actualidad gran cantidad de productos de uso diario llega a los hogares, escuelas o lugares de trabajo, los cuales por ser sólo objetos innecesarios son desechados en un periodo de tiempo muy corto, todo esto, por considerarse basura a aquellos objetos que no presentan tener ningún valor evidente para su dueño. Se considera que basura y residuo no es lo mismo [1], porque basura es todo aquello que ya no nos sirve y que por ello desechamos, en cambio el residuo es algo que quizá no nos sirve ya pero se podría reusar o bien, se puede transformar en otra cosa.

La gestión de los residuos involucra aspectos que van desde su generación, manejo, tratamiento y disposición final con el fin de minimizar el impacto hacia el medio ambiente. Los residuos se pueden clasificar según el estado físico en que se encuentre (sólidos, líquidos y gaseosos), por sus características químicas (orgánicos e inorgánicos), por el grado de degradación en el ambiente (biodegradable y no biodegradable), por sus características físicas (inertes y combustibles), por la actividad que lo origina (municipales, industriales, mineros, hospitalarios, etc.) y por su tipo de manejo [2] (peligroso, potencialmente peligrosos, no peligroso, especiales y peligrosos biológicos-infecciosos).

Los residuos municipales en su mayoría están conformados por residuos sólidos domiciliarios, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a su volumen y a la materia de la cual están compuestos por ejemplo: la materia orgánica (desperdicios de comida), textiles (telas, cortinas, ropa, etc.), madera (muebles, lápices, etc.), papel y cartón (periódico, revistas, sobres, cuadernos, cajas, etc.), plástico (galones de leche, plumas, juguetes, etc.), vidrio (artículos decorativos, ventanas rotas, vajillas y botellas), metales (latas de alimentos, partes de carros, etc.), Aluminio (envases de bebidas o latas de comidas), baterías, piezas de carros, escombros, entre otros [3].

Día a día vemos que el problema de los residuos sólidos es cada vez mayor, es por ello que en esta investigación se busca establecer alternativas para reducir el impacto ambiental de los residuos sólidos domiciliarios. En base al tipo y material de empaques se caracterizó y se clasificó el residuo por estrato socioeconómico, considerando principalmente marcas y presentaciones de empaques.

2. Desarrollo/Metodología

El estudio se realizó en tres estratos socioeconómicos de la ciudad de Mexicali, para ello se buscaron las colonias o fraccionamientos que en relación a sus características correspondieran a los estratos socioeconómicos bajo, medio y alto, para hacer la selección se hizo uso del software SCIENCE (Sistema de Consulta de la Información Censal) 2000 del INEGI, tomando en cuenta la cantidad de familias por área geoestadística básica (AGEB), así como los ingresos económicos en base a la clasificación del salario mínimo general (SMG). Con el fin de obtener una selección adecuada se realizaron verificaciones in situ en las colonias y/o fraccionamientos, considerando las características de las viviendas (materiales de construcción, servicios, etc.), se identificaron los AGEB's que contaban con el mayor número de familias para así seleccionarlos. En la Figura 1 se presenta la ubicación de los AGEB'S seleccionados.

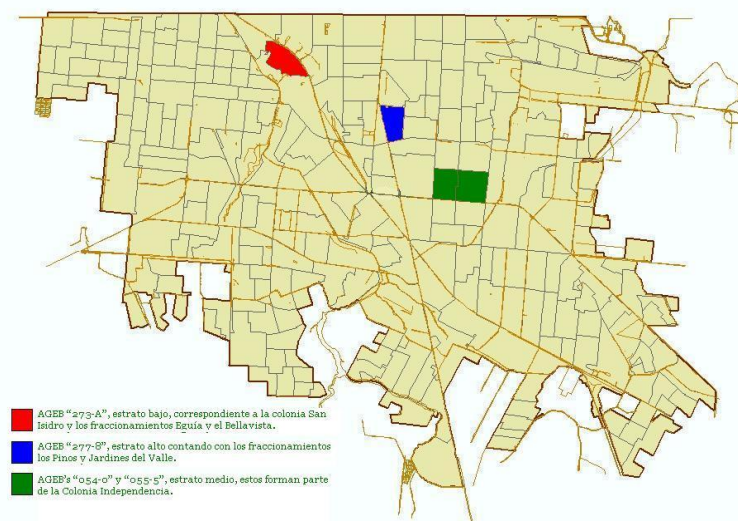


Figura 1. Ubicación de los AGEB's seleccionados

Posteriormente se seleccionaron las familias aplicando un muestreo no probabilístico, pues sólo se trabajó con quienes aceptaron participar de manera voluntaria. Al momento de aceptar participar se les aplicó una encuesta, para poder obtener sus datos demográficos, que incluyeron datos generales de la vivienda y de sus habitantes así como el manejo y tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios, se les pidió que entregaran durante 9 días consecutivos los residuos sólidos que generaban, desechando la primera muestra, por no tener la certeza de contener sólo los residuos del día anterior, para esto se les hizo entrega de bolsas con capacidad de 48 galones para cada día.

Al momento de recolectar las muestras se les colocaba el número de identificación que se le había asignado a la vivienda anteriormente y la fecha de recolección; terminada cada recolección diaria, se realizaba la cuantificación y caracterización de los residuos, en un lugar acondicionado previamente, en donde se tenían colocadas mesas para llevar a cabo la separación de residuos, básculas con capacidad de 100 kg para el pesado de bolsas y balanzas con capacidad de 12kg y 1200 gr. para el pesado de los subproductos, así como contenedores para la separación de los residuos peligrosos.

Por cada muestra recolectada, se llenó una ficha de registro con varios apartados, anotando el peso total de cada bolsa, el peso de los subproductos contenidos en las bolsas y sus características, la fecha de la muestra y, el número de identificación de la bolsa correspondiente al de la vivienda. Para clasificar los residuos se consideró la marca, tipo, empaque, color, presentación, origen, peso en gramos, etc. Además como complemento, en la parte posterior de la ficha se registraron aquellos

productos que no se podían incluir en la clasificación anterior, tal fue el caso de algunas mascotas vivas y muertas. Posteriormente ésta información se capturó en una base de datos diseñada ex profeso.

3. Resultados y Discusión

La información permitió conocer entre otras cosas qué productos y en qué cantidad se encontraron de acuerdo a la marca y/o submarca, qué presentaciones reflejaron un mayor índice de consumo, el tipo de empaque por producto así como el material de sus empaques y/o envase.

Los resultados se asociaron a una categoría de consumo, mismas que podemos apreciar en la Figura 2. En donde las frecuencias más significantes se encuentran asociados con residuos de bebidas siendo la mayor cantidad un 32.7%, seguido de los desechos de alimentos con un 28.1%, los dulces y botanas con un 15.7% y otros (mascotas, juguetes, etc.) con un 10.6%.

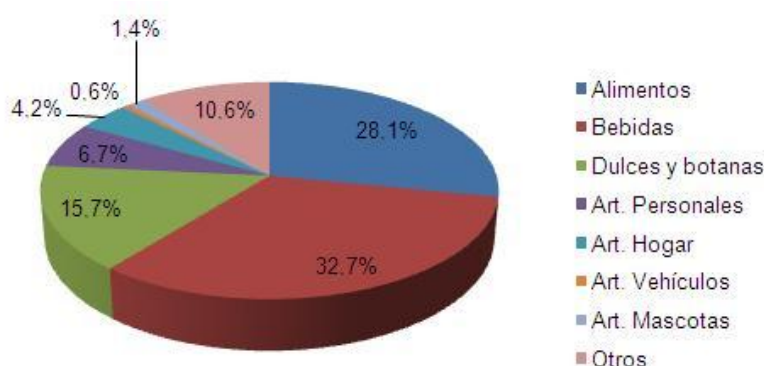


Figura 2. Categorías de consumo

En la tabla 1 se presenta la generación de residuos sólidos de acuerdo al tipo de empaque, envase o embalaje en cada estrato. Para el estrato bajo las frecuencias mas significativas se encuentran en relación a bolsas con un 36.7%, bote con un 23.2%, botellas con un 20.6% y cajas con 14.7%. El estrato medio presentó un mayor índice de generación en bolsas con un 30.4%, botellas con un 27.6%, botes con un 22.5% y cajas con un 15.3%. Finalmente el estrato alto reflejó un porcentaje mayor en cajas con un 24.3%, botes con 23.7%, bolsas con un 23.4% y botellas con un 22.8%.

Tabla 1. Tipos de empaques, envases y embalajes por estrato socioeconómico

MATERIAL DE EMPAQUES, ENVASES Y EMBALAJES	ESTRATO BAJO	ESTRATO MEDIO	ESTRATO ALTO
Sin tipo	2.6%	2.0%	2.0%
Bote	23.2%	22.5%	23.7%
Bolsa	36.7%	30.4%	23.4%
Caja	14.7%	15.3%	24.3%
Botella	20.6%	27.6%	22.8%
Pedazo	0.4%	0.3%	0.6%
Otro	1.8%	1.8%	3.3%
TOTAL	100%	100%	100%

En la Tabla 2 se presenta la generación de residuos de acuerdo al material del empaque, envase o embalaje por estrato. En el estrato bajo el material con frecuencia más significativa es relación a

plástico con un 47.7%, material plastificado con un 13.8%, y cartón con un 12.7%. El estrato medio presentó un mayor índice en la generación de plástico con un 51%, cartón con un 12.1%, y material plastificado con un 11.3%, mientras que en el estrato alto mostró un porcentaje mayor en plástico con un 43%, cartón con un 23.4% y lámina con un 22.8%.

Tabla 2. Material de los empaques, envases y embalajes por estrato socioeconómico

MATERIAL DE EMPAQUES, ENVASES Y EMBALAJES	ESTRATO BAJO	ESTRATO MEDIO	ESTRATO ALTO
Plástico	47.7%	51%	43%
Cartón	12.7%	12.1%	18.4%
Cartoncillo	1.2%	2.1%	4.7%
Lámina	8.9%	8.7%	9.6%
Vidrio	4.2%	4.1%	6%
Aluminio	4.0%	3.8%	3.7%
Tetrapack	2.7%	2.8%	2.2%
Papel	2.1%	2.6%	1.7%
Empaque raro	0.3%	0.4%	0.7%
Plastificado	13.8%	11.3%	8.7%
Otro	1.9%	0.8%	1.1%
Foam	0.6%	0.5%	0.3%
	100%	100%	100%

[5] menciona, que la gente que tiene mejor nivel de vida produce mayor cantidad de basura implicando los factores: socioeconómico y el consumo. A través de esta investigación se pudo comprobar que sí, es verdad que *más consume el que más tiene* pero también que *el que menos tiene genera más*. El que más tiene (estrato alto) suele consumir los productos en grandes cantidades (a granel), por el contrario de aquel que menos tiene (estrato medio-bajo), por ejemplo, una persona de estrato medio-alto compra por día un refresco de 2 litros, donde el residuo que genera es un envase de plástico con un peso de 60 grs, mientras que uno de estrato medio-bajo compra por día un promedio de 3 refrescos de 600 ml, donde el residuo que genera son tres envases de plástico con un peso de 30 grs cada uno (90 grs en total), y todo lo que se genera va a la basura, independiente de los materiales.

[4] señala que de los 1,635.70 kg por día que se generan en Mexicali sólo el 90% es reportado en el relleno sanitario (1,300 kgs), el resto de los residuos se queda sobre el camino hacia el relleno sanitario, quedando a cielo abierto algunos de ellos cercanos a las comunidades, ocasionando no solo contaminación al ambiente sino contaminación visual para la gente; la gente es el factor más importante dentro de todo aquello que tiene que ver con el medio ambiente y su cuidado, sin embargo al caracterizar y cuantificar los residuos, se pudo ver claramente que no se tiene conciencia ecológica, por ello no sólo debemos tratar de minimizar las cantidades de residuos generados en nuestros hogares como lo menciona [7] sino involucrarnos en el diseño de planes de educación ambiental y otros aspectos que nos lleven a pensar en el tipo de consumo que efectuamos, como lo menciona [6].

Es importante sensibilizar a la sociedad sobre las implicaciones y causas de la producción de residuos sólidos, pues de ello dependerá el buen éxito de las acciones emprendidas [8]. Y si bien es cierto que tiramos a la basura todo aquello que no nos es útil, desechemos esa mentalidad de vieja escuela *todo a la basura*, adoptemos la nueva escuela del pensamiento sobre esto, la cual se basa en

la sustentabilidad e igualdad, cero desechos, energía renovable, etc., no caigamos en el círculo vicioso del consumo, pues al hacerlo estamos acabando con los recursos naturales, y por ende, matando el planeta.

Al tener un consumo responsable, contrarrestamos el efecto de este fenómeno llamado consumismo, para poder lograr esto debemos de elegir de manera informada los productos o servicios que adquirimos, estando conscientes de que en realidad los necesitamos y así poder influir al mercado y a las nuevas tendencias de consumo, la solución tampoco está en dejar de consumir, sino de hacerlo de una forma responsable, y al mismo tiempo minimizar el uso de recursos naturales, materiales tóxicos y emisiones de desperdicios y contaminantes durante todo el ciclo de vida, sin afectar con ello a futuras generaciones tal como menciona [9].

Sin lugar a duda existen muchas alternativas que pueden ser propuestas, por ello es muy importante la intervención de las autoridades, pero sobre todo la disposición por parte de todos, finalmente el cuidado del medio ambiente *no debe ser un fin sino un medio* que nos permita vivir mejor.

Referencias Bibliográficas

- [1] Gobierno de Jalisco. *Guía de reciclaje*. 1ra Edición. 2008. Secretaria del medio ambiente para el desarrollo sustentable. México.
- [2] Buenrostro Delgado, O. *Los residuos sólidos municipales: perspectivas desde la investigación multidisciplinaria*. 2001. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Secretaria de Difusión Cultural y Extensión Universitaria. México. pp.200.
- [3] Ojeda, S., Armijo, C., y Ramírez Ma. E., "The potential for recycling household waste: a case study from Mexicali, México". *Environment & Urbanization*. Volumen 12(2). 2000. pp.163-173.
- [4] Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) / Border Environment Cooperation Commission (BECC), "Diagnóstico de Infraestructura Ambiental Básica para el estado de Baja California". *Dirección de Planeación y Asistencia Técnico*. Junio 2008.
- [5] Muñoz, R. (1996). "El manejo de los residuos sólidos: una aplicación de la planeación interactiva". Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México.
- [6] Márquez, Ma. Y., Ojeda, S., e Hidalgo, H. "Determinación de perfiles de generación de residuos sólidos por tipología familiar a través de minería datos: estudio de caso". *Coloquio de posgrado Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería*. 2007. pp. 309-322.
- [7] Bernche, G. "El impacto social de las operaciones del vertedero los laureles". *II Simposio I Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. 2009.
- [8] Buenrostro, O. "La producción de residuos sólidos municipales y sus implicaciones ambientales". *Ciencia y desarrollo en internet*. 2006.
- [9] Calderon, F. 2009 (21 de Julio de 2011). <http://www.diversidadambiental.org/articulos/nota206.html>

El efecto de los residuos de la industria de la construcción y demolición en la degradación de los residuos sólidos urbanos

Eduardo Baltierra-Trejo, *Liliana Márquez-Benavides, Juan Manuel Sánchez-Yáñez, Rafael Ortiz-Alvarado

*lmarquez@zeus.umich.mx

Resumen

Los residuos de la industria de la construcción y demolición (RCD) conforman hasta el 20% de los residuos sólidos urbanos en un relleno sanitario los cuales están constituidos principalmente por escombros. La hipótesis de este trabajo fue que los RCD de origen pétreo como yeso, cal y cemento alteran la capacidad de amortiguamiento natural de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y disminuyen la actividad metanogénica específica. El objetivo fue analizar el efecto de materiales RCD sobre las bacterias que realizan digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en un relleno sanitario simulado. Para ello se determinó el efecto del: cemento, yeso, cal y mezcla de escombros sobre el pH natural de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos mediante la prueba de capacidad amortiguadora y si la codisposición de RCD inhibe la actividad de las bacterias metanogénicas consumidoras de acetato y de propionato en un biodigestor a temperatura mesofílica de 35° C. Los resultados fueron que el cemento y la cal en concentración del 1% alteraron la capacidad amortiguadora de la de los residuos sólidos urbanos y alcalinizaron el medio. La cal 1%, el cemento 0.5%, el escombros 3 y 6 % inhibieron la actividad metanogénica de las bacterias acetilclásticas, mientras que la cal 1%, el escombros 3 y 6% la de las bacterias consumidoras de propionato. El yeso en concentraciones de 3% no causó un efecto inhibitorio de la metanogénesis.

86

Palabras Clave: *biogás, crecimiento, plantas, relleno sanitario*

1. Introducción

Durante años los especialistas en manejo de residuos sólidos se han ocupado sólo de la basura generada por hogares, comercios e industrias, más el tratamiento seguro y eficiente de los residuos de la industria de la construcción y demolición (RCD) ha estado ignorado [1]. Éstos proceden de la construcción, remodelación y demolición de edificios, proyectos de repavimentación de carreteras, arreglos de puentes y de limpieza asociada con desastres naturales. Normalmente están constituidos por 40-50% de escombros: hormigón, asfalto, ladrillos; 20-30% madera y 20-30% residuos misceláneos: madera pintada, metales, yeso, vidrio, asbesto, piezas de fontanería, calefacción e instalaciones eléctricas [2].

Los RCD son un componente importante de los residuos sólidos urbanos (RSU), representan hasta un 20% de su peso de los que se genera en promedio 143 kg/persona anualmente [2]. Los RCD de origen pétreo son los de mayor volumen y peso, pueden generarse del 50% en obras de remodelación hasta un 85%, como es el caso de las demoliciones, los siguen la madera y finalmente los residuos de origen sintético [3]. En la Ciudad de México más del 90% de los RCD son básicamente escombros.

Los RCD contribuyen a la formación de metales pesados y a la acidificación del lixiviado [4], sin embargo no han sido bien caracterizados y se desconoce el grado de afectación, que pueda traer su codisposición en los rellenos sanitarios. Podrían alterar el pH de la fracción orgánica de los RSU e inhibir la actividad metanogénica bacteriana. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de

materiales de origen pétreo provenientes de la RCD sobre la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los RSU en un relleno sanitario (RESA) simulado.

2. Materiales y métodos

2.1 Montaje y operación de los reactores de digestión anaerobia de sustrato sólido

Los reactores de digestión anaerobia en sustrato sólido (DASS) se montaron en frascos de 2 L, para ello se utilizó como inóculo 350 g de excreta fresca de vaca, 350 mL de lodos biológicos activados, 350 g de suelo de jardín, 3 g de carbonato de sodio (NaCO_3) (Alyt) y 3 g de sacarosa (Fermont). La tapa de los DASS tuvo adaptada dos salidas: para muestreo y para su conexión a los sistemas de medición de biogás. Los DASS se cerraron herméticamente y se mantuvieron en incubación a 35° C, se alimentaron cada 5 días de los DASS con mezcla 60% residuos sólidos orgánicos y 40% de papel, enriquecidos con lodos biológicos activados en proporción 59:1. El sistema de medición de biogás consta de dos bidones de plástico interconectados con 5 L de una solución de salmuera acidificada a pH 4 (200 g NaCl/ L), el cual mide el volumen de biogás generado por el DASS.

2.2 Prueba de capacidad buffer

Se estudiaron 3 RCD modelo para conocer su capacidad de amortiguamiento bajo distintas concentraciones de ácido y base: yeso ($\text{CaSO}_4 \sim 2\text{H}_2\text{O}$, Golden Bell), cal (CaO , PQF) y cemento (tipo Pórtland). Para probar la capacidad de amortiguamiento, se utilizó una mezcla de residuos sólidos orgánicos (40% de humedad) y papel en una proporción 4:1. Se prepararon soluciones saturadas de los RCD disolviendo 1.25 g/L. Se llenaron frascos con 10 g de la mezcla de residuos sólidos-papel y 75 mL de la solución del RCD modelo. Al grupo ácido se añadió HCl 1N (Golden Bell) en las siguientes concentraciones por frasco: 0.1 mL, 0.5 mL, 0.9 mL, 1.4 mL, 1.8 mL, 2 mL, al grupo alcalino se añadió NaOH 1N (Golden Bell) en concentraciones: 0.1 mL, 0.5 mL, 0.9 mL, 1.4 mL, 1.8 mL, 2 mL. Se agitó y determinó pH.

2.3 Pruebas de actividad metanogénica específica

Para los diferentes RCD modelo se utilizaron botellas de prueba de 200 mL, los cuales se cerraron herméticamente con una salida para muestreo de biogás. Se adicionó 30 g de inóculo procedente del DASS (75% de humedad), sustrato metanogénico, y un 1 mL solución del RCD modelo. Los sustrato metanogénicos que se utilizaron fueron propionato de sodio 10 mM ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NaO}_2$, Golden Bell) y acetato de sodio 30 mM (CH_3COONa , Golden Bell), con el propósito de medir la actividad metanogénica específica (AME) de las bacterias consumidoras de acetato y propionato. Las concentraciones de RCD utilizadas fueron 0.5, 1 y 3 % de yeso; 0.5, 1 y 3 % de cemento, 1 y 3 % de cal, 3 y 9% de escombros molidos. Las botellas se incubaron a 35° C y se analizó la producción de CH_4 cada 24 h durante 5 días en el cromatógrafo de gases (Varian CP-3800).

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados

El cemento y la cal en concentraciones del 1% son capaces de alterar la capacidad de amortiguamiento natural de la fracción orgánica de los RSU. El óxido de calcio al 1% en una mezcla de residuos sólidos tiene la capacidad de ser una sustancia amortiguadora a la adición de distintas concentraciones de ácido o álcali, aunque altera el pH natural de 7 a 11. La adición de sulfato de calcio 1% no modificó la capacidad buffer de los residuos sólidos (Figura 1).

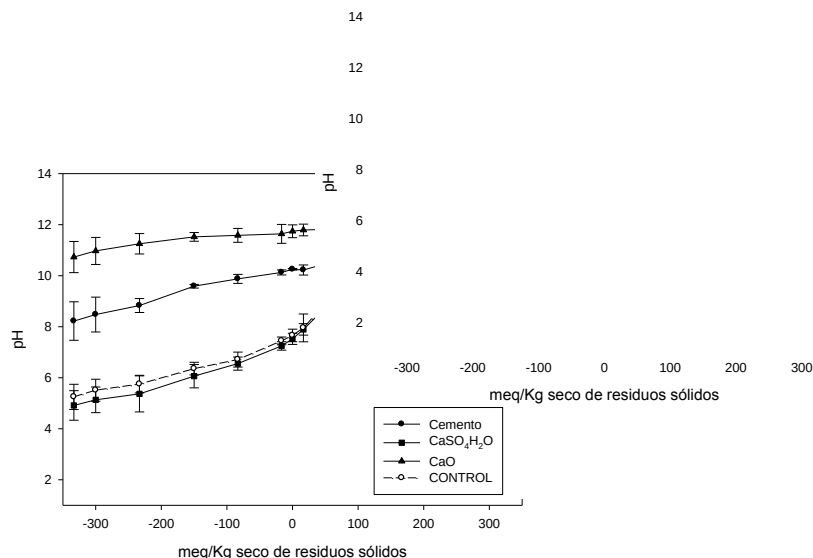


Figura 1. Prueba de capacidad buffer de los RCD.

La cal 1%, el cemento 0.5% y el escombros 3 y 6 % inhibieron la AME de las bacterias consumidoras de acetato en una mezcla de inóculo metanogénico, en pruebas a corto plazo a 35° C. Mientras que la cal 1% y la mezcla de sustancias existentes en una porción de escombros en soluciones del 3 y 6% fueron inhibitorias de la AME de las bacterias consumidoras de propionato. El yeso en concentraciones de hasta el 3% no parece mostrar un efecto inhibitorio de la actividad metanogénica microbiana (Tabla 1).

Tabla 1. Definición de las variables para el modelo

Sustancia	μmol CH ₄ / kg de inóculo seco	
	Acetato	Propionato
Yeso 0.5%	28.7	26.4
Yeso 1%	27.4	26.9
Yeso 3%	28.7	28.9
Cemento 0.5%	24.5	29.1
Cemento 1%	26.9	30.3
Cemento 3%	26.2	27.8
Cal 1%	24.5	19.6
Cal 3%	26.1	26.9
Escombros 3%	20.2	23.5
Escombros 6%	25.0	24.7
Control Activo	26.4	29.5
Control Pasivo	25.2	

3.2 Discusión

Los valores de pH naturales de los RSU aumentaron de manera significativa al adicionar los RCD: cal y cemento. El óxido de calcio es una sustancia altamente reactiva y al contacto con el agua forma hidróxido de calcio, lo que ocasiona la alcalinización del medio, el cual es el principal componente de la cal y de la mayoría de los cementos. Se demostró que las condiciones alcalinas causadas por la presencia de cal y concreto son difíciles de reinvertir y que son sustancias altamente amortiguantes. El yeso no alteró las condiciones de pH en los residuos sólidos, aunque el ión sulfato en solución podría aumentar la acidez del medio, y favorecer la actividad de las bacterias sulfatoreductoras.

La baja actividad microbiana ocasionada por la presencia de cemento, cal y concreto en el modelo experimental indican la desestabilización del sistema. La causa posible de la inhibición de la AME puede adjudicarse a la alteración del pH ocasionada por la disolución de iones OH⁻ procedentes del óxido de calcio. Las bacterias muestran intolerancia a la toxicidad de un medio altamente básico (pH 11), comparado con el adecuado para la actividad metanogénica (pH 6.8 -8).

4. Conclusiones

Los resultados confirman que la codisposición de RCD en los RESA tiene un efecto inhibitorio de la AME de las bacterias consumidoras de acetato y propianato influyendo de manera negativa en el proceso de digestión anaerobia de los RSU, lo cual es consecuencia principalmente de la alteración del pH del medio. Cuando los valores de pH se encuentran fuera del rango óptimo para la actividad microbiana, esta puede disminuir considerablemente o ser casi nula.

Debido a lo anterior es importante establecer vertederos para confinar exclusivamente RCD y favorecer su reciclaje.

Agradecimientos

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo gracias al financiamiento otorgado al Proyecto 5.15 y 2.7 de la CIC-UMSNH.

Referencias Bibliográficas

- [1] Presti S. 2005. *Reciclaje de materiales y conservación de energías*. España. pp 1-25
- [2] Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S.A. 1998. *Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. 2ª Ed. Mc Graw-Hill. Madrid, España. pp. 45-78, 81-113, 115-43, 407-23.
- [3] Molina J.M. 1997 (Accesada en 2005). *Recuperación de Materiales de Construcción*. España. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/a1molina.html>
- [4] Turley W., Reusch P., Norris G., Brickner R., Yost P., *Characterization of Building-Related Construction and Demolition Debris in the United States*. Environmental Protection Agency U.S.A., Office of Solid Waste (EPA). Vol. 25 1995 pp. 35-46

Estudio comparativo de la composición de residuos sólidos urbanos en dos sitios de disposición afines

Carlos Alberto González Razo, Otoniel Buenrostro Delgado

razgca@yahoo.com.mx

Resumen

En la actualidad, ha cobrado interés la gestión sustentable de los residuos sólidos, que además de disminuir impactos ambientales, prevé un aprovechamiento de la energía potencial del biogás derivada de la descomposición de residuos. Con la finalidad de alcanzar esta sustentabilidad; en México, se lleva a cabo la clausura o reconversión de tiraderos a cielo abierto a Rellenos de Tierra Controlados o apertura de Rellenos Sanitarios, cuyas características de operación, tiempo de vertido o composición de residuos hacen que se presenten distintos grados de degradación que inciden en una producción diferencial de biogás. Esta investigación se llevo a cabo en el Relleno de Tierra ya clausurado y el Relleno Sanitario de Morelia, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas en la composición de residuos con respecto al sitio y tiempo de confinamiento. Para ello se tomaron muestras de residuos de ambos sitios a diferentes profundidades. Los resultados muestran una diferencia estadística a nivel estrato y por cuadrante; por lo tanto, la edad de los residuos y el tiempo de confinamiento inciden en la composición a lo largo del tiempo.

Palabras Clave: *análisis, confinamiento, estratos, Morelia*

1. Introducción

La gestión sustentable de los residuos sólidos es uno de los propósitos que buscan los tomadores de decisiones, ya que además de disminuir impactos ambientales, prevé efectuar un aprovechamiento de la energía potencial del biogás que se produce de la descomposición de los residuos [1], [2]. En México, continúan predominando para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), los rellenos de tierra controlados (RTC), que resultan de la reconversión de los tiraderos a cielo abierto y los rellenos sanitarios (RESA) [3], que se construyen para cumplir con la normatividad mexicana [4]. No obstante, en estos sitios se han depositado los residuos a diferentes periodos de tiempo, por lo que es de esperar que la composición, el tiempo de confinamiento, el tipo de relleno sanitario, la edad de los residuos [5], entre otras variables, incidan en una producción diferencial de biogás, derivado de las distintas fases de degradación de los residuos sólidos [6], [7]. De lo anterior, resulta importante el estudiar estas variables que permitan una mayor precisión en la toma de decisiones con respecto al aprovechamiento del biogás como fuente de energía potencial [2]. El objetivo de esta investigación fue comparar la composición de los residuos sólidos confinados en el antiguo y nuevo relleno de Morelia, Michoacán. Los objetivos específicos fueron analizar los residuos confinados en los dos sitios y determinar estadísticamente si existen diferencias significativas en la composición, con respecto al sitio y al tiempo de confinamiento.

2. Metodología

2.1 Procedimiento de campo y muestreo de RSU

El estudio se llevo a cabo en RTC ya clausurado y el RESA de Morelia Michoacán, el cual comenzó sus operaciones de recepción de residuos en diciembre de 2007. Los dos sitios se

encuentran ubicados al Oeste de la ciudad, en la región centro occidente de México. El RTC estuvo recibiendo residuos en cuatro secciones distintas (llamados en este trabajo como cuadrantes) por aproximadamente 24 años a partir de 1984 [8]. Para el propósito de este trabajo se incluye un quinto cuadrante en el RESA. Los cuadrantes fueron numerados en orden progresivo de acuerdo al tiempo de disposición en los dos sitios (ver figura 1).



Figura 1. Sitios de disposición de RSU en Morelia Michoacán

En el trabajo realizado en campo se seleccionaron aleatoriamente 16 puntos de muestreo distribuidos en los cinco cuadrantes. En cada punto se tomaron muestras de tres estratos distintos ubicados a cada metro de profundidad a partir de la superficie. Se consideró el parámetro de edad y periodo de disposición de los residuos en orden progresivo, así como el amodo de los pozos de captación de biogás con el propósito de no alterar su estructura al momento de efectuar las excavaciones.

2.2 Análisis de las muestras en laboratorio

Por cada estrato de la muestra de RSU obtenida, se tomó un kilogramo y se efectuó una selección manual y una cuantificación de subproductos por pozo con base en una variante de la Norma de Clasificación NTRS-5, propuesta por la SEDUE e incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985 [9]. Estos se pesaron en balanzas de precisión y los pesos de cada subproducto se anotaron en el formato de clasificación antes expuesto.

Se incluyeron en la caracterización 48 subproductos encontrados en la corriente de los residuos los cuales se reagruparon en tres rubros distintos para el propósito de este trabajo. Por un lado, se consideró el parámetro de *fracción orgánica* que incluyó los subproductos de residuo fino, residuo de jardinería, residuos alimenticios, cartón, cuero, fibra dura vegetal, hueso, madera, papel, papel higiénico, heces fecales, trapo, vísceras, cabello así como el 20 % correspondiente a los pañales; por otro lado, la *fracción inorgánica* que incluye todos los demás subproductos encontrados en las muestras analizadas; y por último, la conjunción de *tierra y piedras* por encontrarse en proporciones significativas dentro de la corriente de residuos.

2.3 Análisis estadístico de los datos

Los datos de campo y de laboratorio se ordenaron por pozo, estrato y cuadrante. Estos se capturaron para formar una base de datos en el programa Excel (Microsoft Office XP, 1985-2001) Con ellos se efectuó un análisis factorial (ANOVA) utilizando el programa estadístico JMP, Versión 6.0 [10], con la finalidad de conocer si existían diferencias estadísticamente significativas por cuadrante y estrato para poder interpretarlos y discutirlos. Aquellos que presentaron diferencia se sometieron a una prueba de Tukey con JMP para conocer entre cuales variables se presentaba esta condición. Los datos se trabajaron de la siguiente forma:

2.3.1 ANOVA entre estratos por cuadrante

Se realizó un ANOVA para conocer si existían diferencias estadísticas entre los tres estratos de un mismo cuadrante con respecto a la composición de residuos.

2.3.2 ANOVA entre cuadrantes

Posteriormente las muestras se trabajaron por cuadrante para observar posibles diferencias en los 5 considerados. La prueba de Tukey se realizó para conocer cuáles eran los cuadrantes con la diferencia estadística.

3. Resultados y discusión

3.1 Procedimiento de campo y muestreo de RSU

La tabla 1 indica los sitios de muestreo dentro de cada cuadrante:

Tabla 1. Sitios de muestreo dentro de cada cuadrante

Cuadrante	Sitios de Muestreo
I	1 al 5
II	6 al 9
III	10 al 12
IV	13 al 16
V	17 al 21

3.2 Análisis de las muestras en laboratorio

La tabla 2 señala el porcentaje por parámetro seleccionado de las muestras de RSU obtenidas del muestreo efectuado en los sitios de disposición de Morelia.

Tabla 2. % por estrato de los parámetros considerados en el muestreo de RSU

Estrato	Orgánicos	Inorgánicos	Tierra/Piedras	Total
1	32.0	22.9	45.1	100
2	37.7	24.9	37.3	100
3	36.7	24.2	38.9	100

Por su parte, la tabla 3 presenta el porcentaje obtenido de los parámetros considerados en cada cuadrante de los dos sitios:

Tabla 3. % por cuadrante de los parámetros considerados en el muestreo de RSU

Cuadrante	Orgánicos	Inorgánicos	Tierra/Piedras	Total
I	27.1	21.8	51.1	100
II	20.9	13.6	65.4	100
III	29.7	33.5	36.9	100
IV	57.4	27.5	15.1	100
V	60.5	35.5	4.0	100

3.3 Análisis estadístico de los datos

3.3.1 ANOVA entre estratos por cuadrante

El propósito de efectuar estos análisis fue conocer como se comportaban los tres estratos dentro de cada cuadrante. A continuación se presentan los resultados del ANOVA entre estratos por cuadrante (ver tabla 4).

Tabla 4. Resultados del ANOVA de los parámetros para los estratos 1, 2 y 3 por cuadrante

Cuadrante	Estratos	Nparm	DF	Prob > F		
				Orgánicos	Inorgánicos	Tierra/Piedras
I	1, 2, 3	2	2	0.2163	0.8739	0.3033
II	1, 2, 3	2	2	0.4121	0.0082	0.9071
III	1, 2, 3	2	2	0.0202	0.327	0.0007
IV	1, 2, 3	2	2	<.0001	0.4873	0.0399
V	1, 2, 3	2	2	0.0006	0.0003	0.6643

La tabla anterior muestra diferencia estadística de los estratos solo en algunos cuadrantes. Para el caso del parámetro correspondiente a la fracción orgánica, se observa una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.005$) en los cuadrantes III, IV y V. La prueba de Tukey para el cuadrante III señala una diferencia entre los tres estratos. En el caso del cuadrante IV y V es el estrato uno el que presenta la diferencia con respecto al dos y tres.

Respecto a la *fracción inorgánica* la diferencia estadística ($P < 0.005$) se observa en el cuadrante II y V. La prueba de Tukey para los dos cuadrantes, muestran una diferencia estadísticamente significativa entre el estrato uno ($P < 0.005$) con respecto al dos y tres. No existe diferencia estadística entre el estos últimos estratos que se comportan de manera similar en cuanto a su composición.

Estadísticamente existe diferencia estadísticamente significativa en el rubro de *tierra/piedras* ($P < 0.005$) en los cuadrantes III y IV. Los resultados del análisis de Tukey para el cuadrante III, reportan una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre el estrato dos con respecto al uno y tres. En el caso del cuadrante IV; se presenta una diferencia estadística entre los 3 estratos.

3.3.2 ANOVA entre cuadrantes

Respecto al análisis de varianza entre cuadrantes, la tabla 5 muestra que hay diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) de las variables consideradas.

Tabla 5. Resultados del ANOVA de los parámetros por cuadrante

Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Orgánicos	4	4	11595045	22.5221	<.0001
Inorgánicos	4	4	3633986.2	17.2523	<.0001
Tierra/Piedras	4	4	70610298	18.2006	<.0001

La *fracción orgánica* se encuentra de manera discontinua entre los cuatro cuadrantes del RTC. En el caso del cuadrante 5, cuyas muestras se obtuvieron del RESA, presenta diferencia estadística con los cuadrantes I, III y IV y similitud con respecto al cuadrante II, aunque se esperaría que fueran estadísticamente homogéneas con el cuadrante IV por ser el sitio donde se llevó la colocación de los residuos hasta antes de su clausura.

La diferencia puede radicar en que la fracción orgánica está sufriendo una degradación anaerobia a escalas distintas aunque es importante considerar que los resultados obtenidos pueden depender de otros factores como la cantidad y composición de los residuos que se depositaron en los cuadrantes así como las labores de manejo ya que la disposición de los residuos en el lugar se llevó a diferentes periodos.

Con respecto al ANOVA efectuado para la *fracción inorgánica* se presenta una similitud estadística con respecto a sus medias en los cuadrantes I, III y IV. Al igual que la fracción orgánica los cuadrantes II y V son similares en cuanto a composición. De tal manera encontramos dos agrupaciones entre cuadrantes (I, III, IV) y (II, V) los cuales presentan diferencia estadística entre ellos. Sobre los cálculos de la prueba para la variable *tierra/piedras* existe una diferencia

estadísticamente significativa entre los cuadrantes II, IV y V ($P < 0.05$). Los cuadrantes I y III no presentan diferencia estadística.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos sobre el análisis estadístico de las muestras sugieren una diferencia estadística a nivel estrato y por cuadrante. Estadísticamente se observa que los estratos presentan proporciones significativas en la composición de residuos lo que hace suponer distintos grados de degradación anaerobia que inciden en una producción de biogás diferencial, inclusive en porciones de un mismo sitio, aunque se deben de considerar otros factores como las prácticas de disposición o las labores de manejo como el acomodo de los residuos y la colocación de material de cobertura que influyen la diferencia del estrato uno o superior con respecto a los otros dos. Por los resultados observados se puede atribuir que la edad y el tiempo de confinamiento de los residuos están incidiendo en la producción de biogás a lo largo del tiempo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Hernández, G; Duran, C. Productividad de biogás en un relleno sanitario clausurado. Rev. AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica. Vol. 1:1. 2006. ISSN 0718-378 X.
- [2] Scharff, H. and Jacobs, J. “Applying guidance for methane emission estimation for landfills”, *Waste Management*. Vol. 26(4). 2006. pp. 417–429.
- [3] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, (INEGI). 2009. (25 agosto de 2010) Medioambiente/asentamientos humanos/residuos. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mamb60&s=est&c=8855>.
- [4] Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL.1996. www.bvsde.paho.org/legislacion/mexico/nom-083-ecol.pdf.
- [5] Wang-Yao, K, Towprayoon, S. and Jaroenpoj S; “Estimation of Landfill Gas Production Using Pumping Test”, In: *The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE)*. Hua Hin, Thailand, 1-3 December. 2004. pp. 340-343.
- [6] Chiemchaisri, C; Chiemchaisri, W; Kumar, S; Hettiaratchi, J. “Solid waste characteristics and their relationship to gas production in tropical landfill”. *Environ Monit Assess*. Vol. 135. 2007. pp. 41–48.
- [7] IPCC. “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H; Buendia L., Miwa, K., Ngara T. and Tanabe K. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change. Vol. 5. 2006. Waste IGES, Japón.
- [8] Israde, I, Buenrostro, O. y Carrillo, A. “Geological characterization and environmental implications of the placement of the Morelia landfill, Michoacan, Central Mexico”. *Journal of the Air and Waste Management Association*. Vol. 55. 2005. pp.755-764.
- [9] Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), NMX-AA-022-1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección Al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Residuos Sólidos Municipales. Selección y Cuantificación de Subproductos. México, 1985.
- [10] JMP 6.0. SAS Institute Inc, 2006. www.jmp.com/software/jmp6.

Modelos suaves para el análisis de la gestión de residuos biológico infecciosos generados en el hogar

Ariadna Mireya Rodríguez García, Carolina Armijo de Vega

rodriguez.ariadna@uabc.edu.mx

Resumen

Actualmente en México existen una serie de normas referentes al manejo, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI) generados por instituciones dedicadas al cuidado de la salud. Se sabe que en México estas instituciones generaron 1633.12 toneladas de RPBI durante el 2010 [1]. Sin embargo, cuando los RPBI se generan como consecuencia del cuidado de la salud en el hogar, el panorama es diferente. Existe un vacío de información sobre estos generadores por varias razones, tales como la ausencia de estudios de generación y prácticas de manejo en el hogar, así como la falta de comunicación entre dependencias (federal, estatal y municipal) reflejados en la inconsistencia de las normas referentes a este rubro. El propósito de este trabajo es abordar el estudio y análisis sobre el actuar de los generadores de RPBI domiciliario que por su condición requiere desechar este tipo de residuo. El objetivo del estudio propuesto es conocer la cantidad de RPBI domiciliarios que es eliminado en la ciudad de Ensenada, Baja California, sus características, y el método de eliminación que se maneja, para identificar si esta cantidad de RPBI domiciliario es significativa con respecto a los generadores conocidos.

Palabras Clave: generadores domiciliarios, residuos, RPBI

1. Introducción

Para que un residuo sea considerado biológico infeccioso debe de contener agentes patógenos. Un agente biológico-infeccioso se define como sigue «cualquier organismo que sea capaz de producir enfermedad. Para ello se requiere que el microorganismo tenga capacidad de producir daño, esté en una concentración suficiente, en un ambiente propicio, tenga una vía de entrada y estar en contacto con una persona susceptible» [2]. Por lo tanto los desechos que reúnen estas características se consideran como residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI), debido al riesgo que significa para cualquier persona que esté en contacto con ellos [3].

El cuidado de la salud en el hogar consiste en la atención y cuidados médicos que se le proporcionan a un paciente en su lugar residencia. Sin embargo, se presentan retos debido a que algunas actividades de este tipo en el hogar están menos estandarizadas o controladas que en una institución de salud, y los RPBI están manejados fuera del contexto institucional por personas que carecen de capacitación y/o entrenamiento para quienes el principal interés es el cuidado de la salud y no la eliminación de sus residuos. A pesar de lo anterior las pobres prácticas de administración de residuos incrementa el riesgo de lesión o infección para otros dentro y fuera del hogar, de ahí la importancia de desarrollar sistemas de administración de residuos apropiados y asegurar que la familia este adecuadamente educada [4].

Actualmente en la ciudad de Ensenada se desconoce la cantidad de RPBI que se genera en casas habitación producto del cuidado de la salud en el hogar, así como el procedimiento para su manejo y eliminación. Dado este hecho se desconoce también el nivel de riesgo al que se exponen aquellas personas que tengan contacto con estos residuos. Si no se cuenta con información sobre su

generación difícilmente se pueden hacer propuestas para el manejo adecuado de este tipo de residuos.

2. Metodología

La falta de una regulación que controle la eliminación de RPBI generados en el hogar, así como la falta de capacitación sobre el manejo, almacenamiento temporal y eliminación adecuada de estos residuos por parte de los generadores provoca que estos materiales después de ser utilizados en el hogar se desechen de forma indebida, dando por consecuencia un riesgo de lesión e incluso infección para toda aquella persona que tenga contacto con el material en cuestión, ya sea el mismo generador, familiares, personal del ayuntamiento que labora en la recolección de basura de casa en casa, pepenadores, y personal del relleno sanitario municipal. Esto, en parte, es consecuencia del desconocimiento de la información básica que ayude a los tomadores de decisiones a planificar y regular adecuadamente los RPBI.

Con el propósito de conocer más a fondo la problemática que involucra al generador domiciliario así como el sistema de generación de RPBI en el cual se desenvuelve, se empleó la metodología de sistemas suaves, basados en la visión de Checkland [5]. Esta metodología está basada en el paradigma del aprendizaje y asume la realidad como constantemente reconstruida en un proceso social de negociación, partiendo del hecho de que una organización no existe como un ente independiente, sino que es parte del sentido desarrollado por un grupo de personas comprometidas en un diálogo. La Metodología de Sistemas Suaves busca trabajar con las diferentes percepciones de una situación, definiendo un proceso sistémico de aprendizaje, en el cual diferentes puntos de vista (en este caso de los actores clave en el manejo de los RPBI) son discutidos y examinados con el fin de definir acciones orientadas a su mejoramiento. Es por ello que en este trabajo el énfasis que se hará, será en obtener una “definición raíz” es decir, se describirá el sistema dada una situación.

Para obtener información relevante primeramente se identificaron los actores clave del sistema en cuestión, así como la estructura del mismo y su proceso, todo esto con el fin de crear una imagen rica que muestre y ayude a entender el funcionamiento del sistema.

La investigación se basó en el caso del manejo de RPBI en la ciudad de Ensenada y la información se obtuvo a través de diversas fuentes de información [6], tanto primarias como secundarias, las cuales incluyeron las siguientes:

- Entrevistas a las personas responsables del manejo, control, almacenamiento y entrega para disposición final de los RPBI, dentro de las principales dependencias de salud públicas.
- Cuestionarios al personal encargado de manejar y separar los RPBI dentro de las dependencias de salud.
- Observación de las actividades del personal de salud al separar los RPBI y colocarlos en el lugar indicado.
- Entrevistas a funcionarios responsables de temas concernientes a RPBI en las dependencias municipales, estatales y federales.
- Entrevistas a generadores domiciliarios, que debido al cuidado de su salud fuera del área hospitalaria, requieren eliminar RPBI en su hogar.

Con la información recabada se construyó una imagen rica del sistema que compone el manejo de residuos biológico infecciosos en la ciudad de Ensenada, Baja California, esta imagen representa a los actores principales involucrados en el manejo de RPBI y a las relaciones de estos actores. Una vez construida la imagen rica se identificaron las relaciones entre los actores y las ausencias de relación y comunicación donde debería haberlas.

3. Resultados

La información recabada mediante las entrevistas, observaciones, revisión de regulaciones y cuestionarios permitió la elaboración de la imagen rica del sistema de manejo de residuos biológico infecciosos en la ciudad de Ensenada, ése se muestra en la figura 1. En esta imagen se muestran a los actores clave y las relaciones existentes entre ellos, así como las principales problemáticas que aquejan a nuestro sistema de estudio. A continuación se describen los hallazgos identificados a partir de la construcción de esta imagen.

En el año 2010 en México la generación de RPBI provenientes de instituciones de salud a nivel nacional fue de 1633.12 toneladas [1]. Sin embargo este dato en realidad no refleja la cantidad real de RPBI generados en el país ya que no todas las instituciones y establecimientos de salud existentes se encuentran registrados ante SEMARNAT, por lo cual se desconoce la cantidad generada por estos y el procedimiento de eliminación de sus residuos [1].

En este estudio se encontró específicamente que para la ciudad de Ensenada, B.C., la generación de RPBI es de 49.31 toneladas/año [7] en centros de salud públicos, es decir, sin considerar la generación en clínicas particulares, consultorios médicos y laboratorios clínicos.

Un porcentaje de las personas que requieren tratamiento médico, reciben éste en sus hogares ya que en muchos casos no se requiere hospitalización. En estos casos los residuos BI se generan en el hogar. En la ciudad de Ensenada no existe información que describa la cantidad que se genera de este tipo de residuos en el hogar ni las formas más comunes de su manejo, almacenamiento temporal y condiciones en las que se lleva a cabo la disposición final. Este generador no recibe capacitación sobre el tema, por lo que carece de un procedimiento adecuado para eliminar sus residuos. Por lo que se puede asumir que estos residuos se manejan revueltos junto con los residuos sólidos urbanos cuyo destino final es el depósito de basura municipal, generando un riesgo potencial para todos aquellos que hayan tenido algún contacto con este material, incluyendo a los mismos familiares del paciente afectado, así como a las personas encargadas de la recolección de basura, pepenadores y personal del depósito de basura. La NOM-087-ECOL-SSA1-2002 [8] no especifica sobre los procedimientos para el manejo y la eliminación de RPBI generados en casa habitación.

Los contenedores y bolsas requeridos por la norma mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002 para manejar los RPBI no se encuentran a disposición del generador domiciliario, esto debido a que su venta y distribución es dirigida por las empresas que prestan el servicio de recolección, transporte, tratamiento y eliminación de RPBI, y solo ofrecen los productos a sus clientes registrados para el servicio completo.

Existe apatía por parte de las autoridades de las dependencias tanto federales, estatales y municipales con respecto al generador domiciliario de RPBI, se mencionaron diversas causas, pero principalmente el problema es minimizado, sin siquiera haber evaluado su magnitud. Por otro lado el sistema actual de vigilancia en el manejo de estos residuos es muy limitado y no se da a bato para vigilar de manera cercana a los hospitales actualmente en funcionamiento.

Los resultados también mostraron que en el relleno sanitario no se sabe qué hacer con los RPBI sin tratamiento que llegan a ese lugar, depositándose igual que los RSU.

Los resultados evidenciaron la ausencia de un plan de manejo de residuos peligrosos en el municipio que incluya a los generadores RPBI. Además de que se detectó la ausencia de estrategias eficientes de comunicación entre los tres órganos de gobierno y las dependencias involucradas en el manejo de RPBI, lo cual dificulta el entendimiento, actualización y por lo tanto la regulación efectiva de este tipo de residuos.

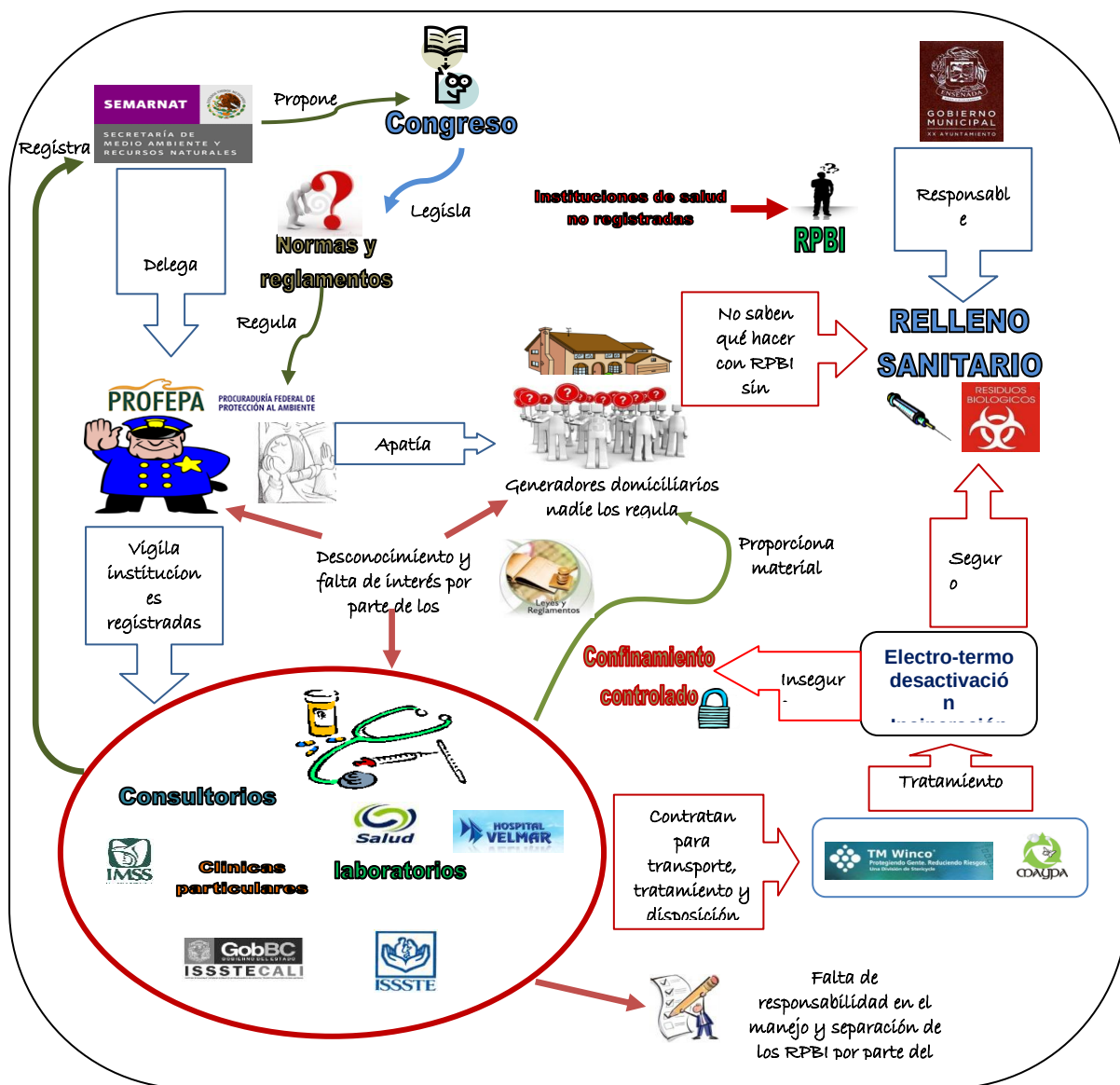


Figura. 1. Imagen rica del sistema de generación de RPBI en la ciudad de Ensenada, B.C.

Con el desarrollo de este trabajo se conoció el ambiente en el que se ven involucrados los generadores domiciliarios, en donde mediante la aplicación de la metodología se obtuvo un panorama completo del sistema en el que se encuentran inmersos, predominando como principal problemática la apatía e indiferencia hacia este sector. También se observó el desconocimiento que existe con respecto a las cantidades de RPBI en todos los niveles de generación, así mismo la falta de comunicación entre dependencias de gobierno para fomentar una regulación consistente.

4. Conclusiones

- La NOM-087-ECOL-SSA1-2002 no especifica sobre los procedimientos para el manejo y la eliminación de RPBI generados en casa habitación.
- Los generados de RPBI en el hogar no están regulados.
- Se desconoce la cantidad de RPBI que se generan en los hogares así como su riesgo potencial.

- Llegan RPBI sin tratamiento al relleno sanitario procedentes de casa habitación.
- Se desconoce la cantidad de RPBI que se generan en Ensenada, tanto de los residuos de centros hospitalarios como los de casa habitación.
- Existen instituciones de salud que no están registradas ante SEMARNAT como generadoras de RPBI.
- Se requiere de estrategias de comunicación eficiente entre los tres niveles de gobierno para conocer la generación, aplicar las regulaciones, crear un plan de manejo y llegar a acuerdos sobre el manejo de residuos hospitalarios.
- La metodología de sistemas suaves resultó útil para evidenciar los elementos del sistema que se encuentran desligados al mismo, así como para identificar las relaciones ausentes, las conflictivas y las eficientes dentro del sistema.
- La metodología de sistemas suaves también permitió tener una visión completa del sistema que compone el manejo de los RPBI, lo que facilita entender la complejidad del mismo y la necesidad de analizarlo a profundidad y proponer estrategias que comprendan la mayor parte de los elementos para facilitar la solución de la problemática identificada.
- El modelo derivado de este trabajo podrá ser utilizado en otras ciudades.

Referencias

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2010.
- [2] Secretaría de salud. *Guía para el manejo de los residuos peligrosos biológico infecciosos en unidades de salud*. Primera edición. 2003. Secretaría de Salud. México D.F. 31pp.
- [3] Fernández Sanchez, Leodegario. Definición de contaminante biológico, *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos*. 2001. INHT, Ministerio Trabajo y Asuntos Sociales, España. 16-11pp.
- [4] Turnberg Wayne L. *Biohazardous Waste: Risk Assessment, Policy, and Management*. 1996. Wiley-Interscience. Nueva York. 422 pp.
- [5] Checkland P. Scholes J. *Soft Systems Methodology in Action*. 1999. Wiley. Baffins, Chichester, Inglaterra. 418 pp.
- [6] Yin, R. *Case Study Research: Design and Methods*. 2008. 4ta Edición. Sage Publications: Thousand Oaks, California. [7] Entrevistas con encargados de manejo de residuos biológico infecciosos en los principales hospitales públicos de atención a la salud ubicados en la ciudad de Ensenada, Baja California, 2010.
- [8] NOM-087-ECOL-SSA1-2002. Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo. SEMARNAT. Diario Oficial de la Federación, México, D.F.

Situación de la gestión de los residuos de construcción y demolición en Mendoza. Estimación de la generación con objetivos de planificación regional

Irma Mercante, Javier Zamorano, Susana Llamas, Pablo Martinengo

imercante@fing.uncu.edu.ar

Resumen

La planificación de la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en una región determinada requiere de una estimación de datos de generación sobre los cuales se apoya el análisis de las alternativas de manejo óptimas y la determinación de la infraestructura necesaria. La obtención de estos datos de composición y cantidad requiere obtener datos de calidad y considerar variables que no siempre están disponibles, por lo que se recurre a métodos y procedimientos indirectos de cálculo. El objetivo de este trabajo fue establecer un procedimiento para estimar datos de cantidad y composición de RCD y aplicarlo al área del gran Mendoza, Argentina. Para ello, se revisaron los métodos de caracterización publicados. Se realiza un diagnóstico de la situación de los RCD en cada municipio que compone el área de estudio y se recopilan datos anuales existentes referidos a superficies construidas y demolidas, tipos de construcciones y características generales del sistema de gestión de RCD. Se consulta a empresas constructoras, transportistas y gestores de RCD. Se seleccionan herramientas estadísticas adecuadas. Se propone un método para obtener datos significativos de composición y cantidad de RCD que incluye la utilización de herramientas estadísticas de muestreo. Se aplica al área del Gran Mendoza. La metodología propuesta se fundamenta en procedimientos que garantizan información de calidad para la toma de decisiones. Su aplicación al área del Gran Mendoza permite obtener datos de las variables principales que intervienen en la estrategia de gestión regional.

100

Palabras Clave: *cantidad, composición, estratificación, muestreo*

1. Introducción

La planificación de la gestión de los RCD en una región determinada requiere de una estimación de datos de generación. La calidad de estos datos de composición y cantidad es fundamental para apoyar una política de gestión determinada y se requiere de la consideración de variables auxiliares que no siempre están disponibles.

La composición y cantidad de los RCD varía de acuerdo a los siguientes parámetros, entre otros [1]: el tipo de estructura: residencial, industrial, comercial, caminos, puente, diques; el tamaño de la estructura: edificios en altura, casa de una planta; la ubicación geográfica: rural o urbana dentro de un mismo país, diferentes países; el tipo de actividad generadora: construcción, renovación o demolición; las prácticas de demolición: selectiva o masiva; el tipo de construcción: tradicional de fábrica o prefabricada. Hay otros factores que no afectan el tipo y cantidad de los RCD producidos, pero sí influyen sobre el tipo y cantidad de RCD reportados en las fuentes de información, ellos son: la definición de RCD en las distintas legislaciones, el lugar de caracterización del RCD: punto de generación, planta de reciclaje o vertedero; y el parámetro de medida: volumen ó peso.

Las metodologías de caracterización a aplicar pueden tipificarse como directas o indirectas. Las primeras son aquellas que determinan las propiedades del RCD en función de muestreos en la entrada al vertedero o a la salida de una planta de clasificación. Las segundas, relacionan variables

tales como el nivel de actividad de la construcción (medido en superficie construida o demolida por año) y los índices de generación por metro cuadrado de superficie construida (I_c) o demolida (I_d).

Tabla 1: Trabajos publicados en relación a caracterización de RCD a nivel regional

Publicación-Año-Localización	Parámetro calculado	Variables involucradas	Tipo de construcción	Tipo de actividad
Wang J Y [5] 2004 Massachusetts, EE.UU.	Cantidad	Superficie construida o demolida (m ² /año) % Peso de los materiales del edificio por unidad de superficie (kg/m ²)	Edificación residencial y no-residencial	Construcción Demolición
Martínez Lage I [2] 2010 Galicia, España	Cantidad	Superficie construida, renovada o demolida (m ² /año) Índices de generación (kg/m ² ó m ³ /m ²)	Edificación residencial, y no-residencial, y obra pública	Construcción Renovación, Demolición
	Composición	% de cada material residual		
Cochran K [4] 2007 Florida, EE.UU	Cantidad	Superficie construida o demolida (m ² /año) Índices de generación (kg/m ² ó m ³ /m ²) Índices de generación por trabajo realizado	Edificación residencial y no-residencial	Construcción Demolición Renovación
	Composición	% de cada material residual		
Kofoworola O F [3] 2009 Tailandia	Cantidad	Superficie construida (m ² /año) Índices de generación (kg/m ² ó m ³ /m ²)	Edificación residencial y no-residencial	Construcción
	Composición	% de cada material residual		

Varias publicaciones acerca de estas metodologías han sido realizadas en los últimos años que han aportado procedimientos en relación a cantidad y composición de este flujo de residuos como [2], [3], [4], [5]. La Tabla 1 resume distintos trabajos difundidos y puede observarse que se emplean en casi todos los casos los índices de generación de RCD en kg/m² y la superficie construida para el caso de construcción nueva, renovaciones y demoliciones, con algunas variantes en renovaciones. La excepción de los casos analizados la constituye [5] que adopta un porcentaje del peso de los materiales involucrados en las edificaciones.

La limitación principal de estas metodologías es la de requerir en todos los casos la disponibilidad de los índices I_c e I_d [4] y la distribución porcentual de las distintas categorías de RCD según la obra civil de que se trate. Estos datos se obtienen de estudios de caso individuales realizados in situ en las obras [6], su consecución suele ser costosa y de largo plazo. Dada esta circunstancia es que se propone en este trabajo la implementación de una metodología de cálculo basada en mediciones directas [8] de los RCD transportados a vertedero y aplicarlo al área del Gran Mendoza, Argentina.

2. Situación de la gestión de los RCD en el Gran Mendoza

El área metropolitana o Gran Mendoza posee una aglomeración urbana única consecuencia de la extensión de la ciudad de Mendoza por sobre los departamentos de Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Luján de Cuyo y Maipú. Tiene una población cercana a 950.000 habitantes y se extiende en una superficie de 16.700 km².

Los departamentos que configuran el Gran Mendoza presentan características similares en cuanto a la gestión de los RCD, especialmente en lo que concierne a su disposición final, la cual se realiza

en rellenos clandestinos y en vertederos autorizados sin proyecto de explotación. Además, todos se enfrentan a los problemas de la recuperación y recogida informal de los residuos, que luego son abandonados en sitios cercanos al punto de origen con la consecuente generación de áreas degradadas. El sistema de transporte utilizado en la disposición de los RCD es independiente del sistema de recolección de residuos domiciliarios y en condición de actividad privada. Los RCD se depositan sin pagar costo alguno en canteras abandonadas o en sitios recomendados por los municipios.

En el caso de Las Heras, por ejemplo, un relevamiento realizado en toda el área urbana y suburbana del departamento resultó en la identificación de 297 sitios contaminados con RCD [9]. El mayor volumen se localiza en un radio entre 3500 a 4000 metros del centro urbano, lo que da cuenta de la importancia de la rentabilidad del transporte en el abandono de los RCD.

La normativa respecto de la gestión de RCD es escasa y parcial. Los departamentos de Godoy Cruz y Guaymallén regulan la gestión de RCD a través de Ordenanzas, 5402/07 y N° 7366/07 respectivamente, en la que responsabiliza al productor por el correcto manejo de sus residuos, establece la obligatoriedad de uso de contenedores y crea un registro de transportistas de RCD.

3. Propuesta metodológica de estimación de la generación de RCD

3.1 Cálculo de la composición de RCD

Se revisaron las técnicas de muestreo disponibles seleccionándose la que corresponde al “muestreo aleatorio estratificado”. Se consideró la proporcionalidad entre la cantidad de superficie construida y demolida y la cantidad de RCD generados. La variable de interés X en este caso es “kg de RCD/año” y su precisión depende del tamaño de la muestra y de la varianza de la variable sobre la población [10]. Para un mismo tamaño de muestra, la precisión de X será mejor para una población “homogénea”, por lo que se construye una “partición de la población” en subpoblaciones. Se aplicó en este trabajo la técnica de *asignación proporcional*, por la cual el tamaño de la muestra de cada estrato es proporcional al tamaño del estrato en la población.

En el caso de los RCD se necesitan dos variables categóricas, siendo una de ellas “V1”, estratos por municipios L, M, N, H..., y la otra “V2”, los constituyentes materiales del flujo de RCD. Se realizó una repartición proporcional al tamaño de los estratos, tal como se expresa en la ecuación (1).

$$f_h = \frac{n_h}{n} = \frac{N_h}{N} \quad (1)$$

Siendo:

f_h : tasa de muestreo

N : número total cuotas proporcionales (población)

N_h : número cuotas proporcionales a la subpoblación o estrato

n : muestra global

n_h : muestra del estrato

La tasa de muestreo se elige de modo tal de asegurar que la distribución de las medias muestrales responde a una distribución normal [11]. El tamaño muestral n y las cuotas n_h , se calculan de acuerdo a las ecuaciones (2) y (3).

$$n_h = f \times N_h \quad (2)$$

$$n = \sum n_h \quad (3)$$

Seguidamente se calculan las medias y las varianzas por estrato y se calculan las estimaciones de la variable real X de la población total, como se muestra en la Tabla 3 ilustrada para el estrato M.

Tabla 3. Cálculo de medias y varianzas para el estrato M para la variable V1

Estrato	Cuota	Nº de muestras	Variable objetivo X	
	N_h	n_h	Media muestral	Varianza muestral
M	N_M	n_m	$\bar{X}_m = \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} X_j$	$S_{xm^2} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{n_m} (X_j - \bar{X}_m)^2$

La variable V2 contiene a la variable de interés, pero en distintos estratos, que son las composiciones de los materiales de los RCD, en kg ó m3, denotados h1, h2, h3, ... hn. Para tener en cuenta la estratificación con dos variables V1 y V2, se obtiene una tabla de doble entrada de la repartición de la población y la muestra, según dos variables asociadas. Se calculan las medias y las varianzas por estrato, fórmulas (4) y (5), y las fórmulas de estimaciones poblacionales o globales (6) y (7).

$$X_{ih} = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^n \bar{X}_{ih} \quad (4)$$

$$S_{ih}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X}_{ih})^2 \quad (5)$$

$$\bar{\mu} = \sum \frac{N_h}{N} \bar{X}_{ih} \quad (6)$$

$$\bar{V}_{(\mu)} = \sum \frac{N_h^2}{N} \frac{S_{ih}^2}{n_h} (1 - f_h) \quad (7)$$

Estos valores son los marginales en las tablas de medias y desvíos típicos. La suma de los marginales da los valores del conjunto Gran Mendoza, que es el objetivo del estudio, tal como se muestra en la Tabla 4 ilustrada para los estratos L y M.

Con la media y varianza estimadas se establece el intervalo de confianza del total de RCD (8):

$$\bar{\mu} \mp 1,96 \bar{V}_{(\mu)} \quad (8)$$

Tabla 4. Tabla de distribución de las estimaciones por estrato y global

Variable estratificación V2	Estrato			Variable estratificación V2					
		N_h	n_h	h_1	h_2	h_i	h_7	h_8	Total
	L	N_L	n_h						Σ_L
	M	N_M	n_m						Σ_M
	Total	N	n	Σh_1	Σh_2	Σh_i	Σh_7	Σh_8	Estimador global

3.2 Cálculo de la cantidad de RCD

La determinación de la cantidad de RCD se propone calcularla en función de los datos de superficie construida y los índices I_c e I_d obtenidos a partir de consultas a empresas constructoras, ya que no se cuenta con datos de estudios específicos, aplicándose la expresión (9), similar a la publicada en [2]:

$$RCD (kg) = I_c \times SC + I_d SD \quad (9)$$

Siendo:

I_c : Índice de generación de RCD para edificios en construcción

I_d : Índice de generación para edificios demolidos

SC: Superficie construida media

SD: superficie demolida media

4. Resultados

Aplicando la metodología expuesta el Item 3.1, se consideró como variable categórica auxiliar V1 la “superficie de obras construidas”, y cada Municipio constituye una subpoblación. Se obtuvieron las cuotas proporcionales a cada subpoblación a partir de los datos estadísticos de las superficies en construidas para el periodo 2003-2008 [7]. La variable objetivo es X (kg de RCD), de tamaño global $N = \sum N_h$. Para calcular el tamaño de cada muestra se aplicó la fórmula (1), eligiendo una tasa de muestreo adecuada que resultó de un valor $f = 3$.

Los resultados se exponen en la Tabla 5, siendo para este caso:

N : número total cuotas proporcionales a los m^2 de construcción del Gran Mendoza (población)

N_h : número cuotas proporcionales a los m^2 de construcción por Municipio

n : número total de muestras de medición de la variable real X determinadas en el Gran Mendoza.

n_h : número muestras de medición determinadas por Municipio

n_c : número de contenedores de RCD equivalente (se consideró 5 m^3 /contenedor)

Tabla 5. Cálculo del número de muestras por estrato

	Estrato	Cuota	Nº de muestras	Equivalente- contenedores RCD
Variable de estratificación V1		N_{hmedio}	$n_h [m^3]$	n_c
	Capital	14	42	9
	Godoy Cruz	18	54	11
	Guaymallén	26	78	16
	Las Heras	11	33	7
	Luján de Cuyo	18	54	11
	Maipú	13	39	8
	Total	$N = 100$	$n = 300$	Equiv. Cont. = 62

El cálculo del tamaño muestral arrojó un equivalente a 62 contenedores. Una vez obtenidos los datos de campo, se deben realizar los cálculos de media y varianza para cada municipio y para cada fracción de RCD considerada. A partir de estos valores se estimarán los parámetros de la población total.

5. Conclusiones

La metodología presentada en este estudio para determinar la estimación de la composición de los RCD se basa en un método directo de segregación a la entrada del vertedero, lo que puede ser aplicado a falta de índices de generación I_c e I_d disponibles en cuanto a composición.

Los cálculos realizados aplicando la técnica del muestreo aleatorio estratificado proporcional con dos variables categóricas para la caracterización de los RCD en el área del Gran Mendoza arrojan el tamaño de la muestra necesario para que esta sea representativa.

La recopilación de las mediciones correspondientes en campo permitirá estimar la generación media de RCD con un intervalo de confianza entre 5-10%, y que permite, junto al cálculo de la cantidad anual generada, ser el punto de partida para planificar alternativas de gestión.

Referencias Bibliográficas

[1] Mercante I, Bovea M D, Llamas S. *Residuos sólidos: un enfoque multidisciplinar*. Cap. Residuos de construcción y demolición. ISBN: 978-950-39-0254-7.2010. En impresión.

- [2] Martínez Lage I, Martínez Abella F, Vázquez Herrero C, Pérez Ordóñez J L. “Estimation of the annual production and composition of C&D Debris in Galicia (Spain)”. *Waste Management*. 30 (2010) 636–645
- [3] Kofoworola O F, Gheewala S H. “Estimation of construction waste generation and management in Thailand”. *Waste Management*. 29 (2009) 731–738
- [4] Cochran K, Townsend T, Reinhart D, Heck H. “Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US”. *Waste Management*. 27 (2007) 921–931
- [5] Wang JY, Touran A, Christoforou C, Fadlalla H. A systems analysis tool for construction and demolition wastes management. *Waste Management* 24 (2004) 989–997
- [6] Mercante I, Martinengo P, Llamas S, Rojo J, Poncio F. Aspectos ambientales de obras civiles de edificación. Gestión de residuos de construcción. *III Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Brasil*. (2010). ISBN 978-85-7745-589-8.
- [7] Dirección de Estudios e Investigaciones de Mendoza. DEIE. (2011) www.deie.mendoza.gov.ar
- [8] Mercante, I.; Césari, R.; Arena, A.P. Propuesta metodológica para la caracterización de residuos de construcción y demolición. Aplicación al área del Gran Mendoza. *Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingeniería*. Enidi, 2009. ISBN 987-575-044-1.
- [9] Mercante I, Magistocchi, L M, Llamas S, Salomón M, Martinengo P. Relevamiento y diagnóstico de áreas impactadas por residuos de la construcción y demolición en el Gran Mendoza. Estudio de caso: Las Heras. *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Colombia*, 2009. ISBN: 978-958-741-006-8.
- [10] Cesari R. *Producción y Tratamiento de Datos de Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*. Monografías. (2003). Universidad Nacional de Cuyo.
- [11] Triola M, Pineda Ayala L. *Estadística*. 9º Edición. (2004) Pearson Educación. Capítulo 6. Mexico.

Tasa de generación y variación en cantidad de distintas corrientes de residuos urbanos en comunidades de 10.000 a 200.000 habitantes

Juan Antonio Munizaga Plaza, Amaya Lobo García de Cortázar

juan-antonio.munizaga@alumnos.unican.es

Resumen

En este artículo se elabora y aplica una metodología para el análisis de la tasa de generación per cápita y de factores punta de generación de las corrientes de residuos sólidos municipales y asimilables, recogidos selectivamente y mezclados en contenedores de 11 municipios de la región de Cantabria, España. Según la información estadística disponible, se estimó la población generadora de residuos considerando tanto la población empadronada como estacional. Se aplicó un criterio combinado para determinar los valores punta de residuos generados, discriminando valores extremos (bajo 5% o sobre 95%) y considerando la sumatoria de residuos generados diariamente en semanas o meses móviles. Para el período 2006 – 2009 se obtuvo, en el conjunto de los 11 municipios, una tasa de generación per cápita de 418 kg/hab/año y valores de factor punta y mínimo mensual de 1,16 y 0,88, globales para las corrientes de residuos estudiadas. El análisis de los resultados muestra una disminución del 2,7% sobre la tasa de generación per cápita de residuos mezclados y un aumento en la cantidad recogida selectivamente del 10,2%. Se expone la importancia de la población estacional sobre el sistema de gestión de residuos en municipios, mostrando que tanto la tasa de generación per cápita como los factores punta no tienen una relación directa con el tamaño de la población censada, debido esencialmente a que estos parámetros se ven afectados por la variación estacional de población. Se concluye que, en los municipios estudiados, existe una similitud entre los factores punta para diferentes corrientes de residuos.

Palabras Clave: *factor punta de generación, población estacional, producción específica, recogida selectiva, RSU*

1. Introducción

Actualmente la gestión de residuos urbanos en España, busca poder mejorar los sistemas de planificación e información sobre la generación de residuos, para poder determinar las necesidades de infraestructura de tratamiento y recolección [1], [2].

Tanto el comportamiento de consumo, el crecimiento y variación de la población en las ciudades o localidades, pueden provocar desequilibrios en la gestión de los residuos sólidos y en su eventualidad, transformarse en un problema sanitario grave. Por lo que es fundamental la determinación de criterios y parámetros que estimen de forma idónea las cantidades reales de residuos sólidos generados, así como también poder entregar factores de diseño que puedan dimensionar instalaciones y éstas funcionen de forma eficiente.

El presente artículo, tiene como objetivo general dar a conocer al lector una metodología para estimar factores de diseño como la producción per cápita (PPC) y los factores punta de generación de residuos sólidos, aplicándolos a las diferentes corrientes de residuos sólidos municipales y asimilables que son recogidas desde contenedores dispuestos en la vía pública, en 11 municipios de la región de Cantabria.

Como objetivo principal, se tiene analizar los resultados obtenidos en la metodología planteada y contrastarlas con fuentes bibliográficas disponibles.

2. Metodología

2.1 Información disponible

En este estudio se consideraron sólo las corrientes de: *residuos de envases ligeros, residuos de papel-cartón, residuos de vidrio y residuos municipales o residuos mezclados o fracción resto*.

Para el análisis de los residuos sólidos se consideró el periodo 2006 a 2009 en los municipios de la región de Cantabria que poseen más de 10.000 habitantes, enumerándolos como Mun 01 a Mun 11, donde reside el 68,8% de la población media [3].

Respecto a las corrientes de residuos sólidos, se tuvo información estadística de carácter diario de los residuos mezclados en casi todos los municipios, pero no así de las corrientes de residuos de envases ligeros y papel-cartón, que fueron de carácter mensual. Referente a los residuos de vidrio, la información estadística disponible fue escasa, de carácter anual o mensual de algunos municipios.

2.2 Generación per cápita de residuos sólidos

La producción específica o tasa de generación per cápita de residuos (PPC) es la razón entre la cantidad de residuo producido (kg o t) en un periodo determinado (día o año) y el tamaño de la población [4] (ver Ecuación 1).

$$PPC = \frac{\text{Generación de residuos}}{\text{Población generadora}} \text{ (kg / hab / d) ó (kg / hab / año)} \quad (1)$$

La población generadora de residuos es la carga real o habitual de población del municipio, donde se considera tanto la población fija residente, como la población estacional. Ésta última puede cuantificarse como el número de turistas que pernoctan en plazas hoteleras de la ciudad más la población que hace uso de una segunda residencia (ver Ecuación 2).

El número aproximado de turistas o viajeros entrados residentes y los no residentes en España, se calcula aplicando el grado de ocupación por plazas de hospedaje (% OC) para cada mes al número de plazas estimadas dentro del término municipal.

$$Pob. \text{ Estacional} = \% OC * (Plazas disponibles + Plazas 2da Residencia) + Pob. \text{ sin cuantificar} \quad (2)$$

En este cálculo no se toma en consideración la población que no pernocta en plazas hoteleras o no hace uso de viviendas de segunda residencia, pero sí se encuentra de paso por la ciudad (como estudiantes, trabajadores, etc.) y genera residuos. Debido a que esta población es no cuantificable, se asume un grado de error en el cálculo de la población total.

2.3 Factores punta y mínimos de generación de residuos sólidos

Los factores punta y mínimos se definen como la razón entre la mayor o menor observación de una muestra y su medida de tendencia central en un determinado periodo de tiempo y espacio [5].

Su aplicación ha sido desarrollada en la planificación de gestión de residuos sólidos, para tratar las variaciones de las puntas de generación, que pueden ser considerables durante todo el año, con fluctuaciones diarias o semanales, así como una variación mensual o de temporada estacional [6].

Algunas de sus aplicaciones directas están en el área de diseño y optimización. El factor punta diario (FPD) puede ser utilizado para mejorar los sistemas de recogida, transporte y contenerización, el factor punta semanal (FPS) puede ser utilizado al dimensionar fosos de recepción de estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y valorización energética, mientras

que el factor punta mensual (FPM) puede emplearse en el dimensionamiento de una planta de tratamiento, incineradora, puntos limpios, entre otras.

Los valores extremos de generación de residuos son provocados por variados factores propios de cada ciudad o localidad, dentro de los que destacan los factores estacionales (como la población turista y de segunda residencia, poda y limpieza de jardines) y factores festivos (fiestas de fin de año, semana santa, fiestas especiales de cada localidad, etc.).

Para la determinación de estos valores punta se aplicó un criterio combinado: una primera consideración es que la generación extrema de residuos sólo se dará en un determinado número de días o semanas, a causa de eventos particulares que no se repiten frecuentemente durante el año [7]. Estos valores se determinan organizando la serie de datos en orden de magnitud creciente y se le asigna un número de orden en la serie. A continuación, se aplica el porcentaje de excedencia dado en Ecuación 3, para cada uno de los valores de la muestra [8]. Organizada la serie de datos, se excluyen los valores menores al 5% y mayores al 95%.

$$\text{Porcentaje de excedencia} = \frac{N^{\circ} \text{ de orden en la serie}}{N^{\circ} \text{ de observaciones} + 1} \quad (3)$$

Una segunda consideración se basa en mejorar la observación del valor punta de generación de residuos. El valor punta diario es fácilmente identificable durante el año, pero no así el valor punta semanal o mensual. Debido a este inconveniente, se puede considerar la sumatoria de residuos generados diariamente en una semana móvil que se mueve día a día en forma consecutiva para obtener los valores puntas semanales de generación durante el año. De la misma forma, se puede realizar el cálculo para los valores puntas mensuales considerando un mes móvil de 30 días a lo largo del año.

En las ecuaciones 4, 5 y 6 se presentan las fórmulas para el cálculo de los valores extremos de generación diario, semanal y mensual.

$$FPD = \frac{\text{Generación máxima diaria}}{\text{Generación media diaria}} \quad (4)$$

$$FPS = \frac{\text{Generación máxima semanal}}{\text{Generación media diaria} \times 7 \text{ días}} \quad (5)$$

$$FPM = \frac{\text{Generación máxima mensual}}{\text{Generación media diaria} \times 30 \text{ días}} \quad (6)$$

3. Resultados y discusión

Se obtuvo un valor de PPC de residuos totales aproximado a 418 kg/hab/año (1,15 kg/hab/día) para los 11 municipios en el periodo 2006-2009 (ver Figura 1).

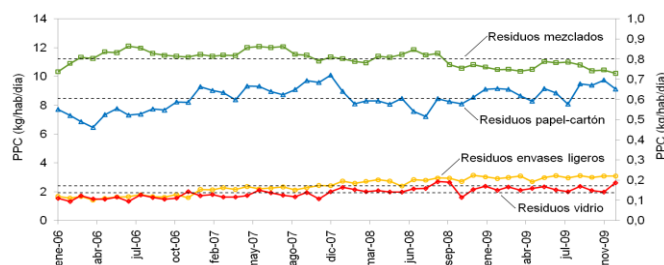


Figura 1. Evolución de la media de PPC diaria de las corrientes de residuos sólidos en los 11 municipios

El análisis global de los resultados muestra un decrecimiento del 2,7% en el valor de PPC de los residuos mezclados y un incremento del 10,2% de los residuos reciclables.

Coincidentemente, para el año 2007 se determinó un valor de PPC de 418 kg/hab/año. Este valor promedio se muestra inferior en un 42% al valor de PPC dado por el INE para la región de Cantabria en el año 2007 [9].

Tal como se muestra, los valores de PPC entregados por organismos públicos, no hacen mención sobre qué población realizan los cálculos. Es más, el cálculo del valor de PPC realizado por éstos, utiliza la definición de residuos sólidos municipales, sin especificar qué tipos de residuos se está analizando, dejando un amplio rango de residuos posibles a considerar, por lo que impide su comparación.

Al analizar los municipios con mayor variación estacional del valor de PPC de residuos totales durante el año, se observa que municipios como Mun 05, presentan un notable aumento en la generación de residuos y un aumento en su población, a causa de su componente estacional en temporada de verano (ver Figura 2).

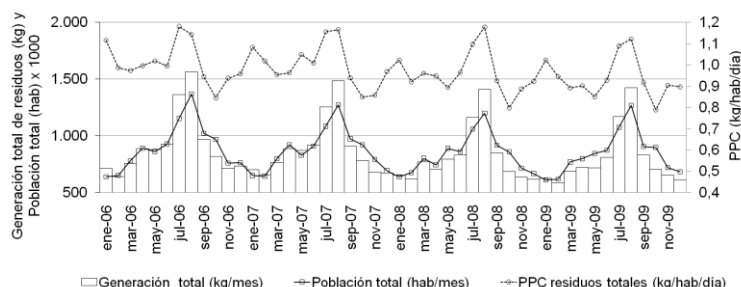


Figura 2. Evolución de la generación de residuos totales vs. Población total en el mun 05

En la Figura 3, se muestran los mayores porcentajes de variación estacional de población que se corresponden con los mayores factores punta mensuales, en el caso de Mun 03, Mun 05 y Mun 08.

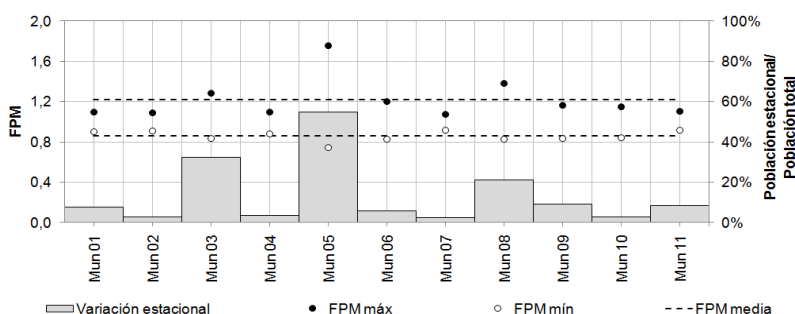


Figura 3. FPM de los residuos totales generados en los 11 municipios

4. Conclusiones

Los resultados presentados corroboran la importancia de la población estacional sobre el sistema de gestión de residuos sólidos de un municipio [10].

Se demuestra que para el rango de población estudiado, tanto el valor de tasa de generación per cápita (PPC) como los factores punta no tienen una relación directa con el tamaño de la población oficialmente registrada (como algunos autores han señalado), debido esencialmente a que estos parámetros se ven afectados por la variación estacional de la población.

El factor principal que condiciona los factores punta está relacionado directamente con la población estacional generadora de residuos, más que los gustos y preferencias de los habitantes. Por lo tanto, los factores punta en este tipo de poblaciones, con influencia estacional relevante, son propios de cada comunidad o ciudad y no son extrapolables.

Existe una similitud entre los factores punta para diferentes corrientes de residuos generados, lo que indica que el comportamiento de la población, en cuanto a la composición y separación del residuo producido, se mantiene a lo largo del año.

Existe una dispersión y/o falta de datos estadísticos sobre residuos, causada por la participación de diferentes actores en la gestión de los mismos. Por lo que se necesita mejorar el sistema de gestión de datos sobre cantidades de las diferentes corrientes de residuos generados en la región de Cantabria, lo que contribuiría a la optimización del sistema de gestión de residuos en la región. Esta necesidad es común en muchos lugares, como se indica en [1] y [2].

Agradecimientos

A la Beca MAEC-AECID 2008-2009 de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, que permitió el desarrollo de mi Máster de Investigación en Ingeniería Ambiental en la Universidad de Cantabria y el de este artículo.

Referencias bibliográficas

- [1] Reglamento CE 2150/2002, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2002, relativo a las estadísticas sobre los residuos.
- [2] PNIR 2008 – 2015 (2010). <http://www.boe.es/boe/dias/2009/02/26/pdfs/BOE-A-2009-3243.pdf>
- [3] INE, Censo de Población y Viviendas (2010). http://www.ine.es/censo_accesible/es/inicio.jsp
- [4] Pitchel, J. *Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial*. 1ra Edición. 2005. Ed. Taylor & Francis Group. Boca Ratón. pp. 64-68. ISBN: 0-8493-3525-6.
- [5] Morrison, M. Tobias, F. Some Statistical Characteristics of a Peak to Average Ratio. *American Statistical Association and American Society for Quality*. Vol. 7(3). 1965. pp 379-385.
- [6] Rhyner, C. Leander, J. Schwartz, L. Wenger, R. Kohrell, M. *Waste management and Resource Recovery*. 1ra edición. 1995. Ed. Lewis Publishers. Boca Ratón. pp. 48-50. ISBN: 0-87371-572-1.
- [7] Staff of Research and Education Association. *Modern Pollution Control Technology, Vol. II*. 1ra edición. 1978. Ed. Research & Education Association. New York. pp. 82-89. ISBN: 0-87891-511-7.
- [8] Tchobanoglous, G. Theisen, H. Vigil, S. *Integrated Solid Waste Management*. 1ra edición. 1993. Ed. McGraw-Hill. New York. pp. 158-163 y 1052-1055. ISBN: 84-481-1830-8.
- [9] INE, Encuesta sobre Residuos (2010). <http://www.ine.es/prensa/np572.pdf>
- [10] Maclaren, V. Yu, C-C. “A Comparison of Two Waste Stream Quantification and Characterization Methodologies”. *Waste Management & Research*, Vol. 13 (4). 1995. pp. 343-361.

GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

111

Actitud ante la recogida selectiva de biorresiduos en un municipio de España

David Bernad-Beltrán, M^a Dolores Bovea*, Míriam Prades, Antonio Gallardo, Francisco J Colomer

*bovea@uji.es

Resumen

El objetivo de este estudio es analizar el grado de aceptación de la recogida selectiva de los biorresiduos en un municipio español donde ya se recoge de forma selectiva las fracciones de papel/cartón, vidrio y envases ligeros. Para ello, se ha diseñado un cuestionario basado en la metodología de valoración contingente y estructurado en las siguientes partes: descripción del bien que se pretende valorar, valoración del bien e información sobre la persona entrevistada. Se realizaron 400 entrevistas telefónicas, garantizando un nivel de confianza del 95.5% y un error máximo del 5%. Además de obtener información sobre los hábitos de separación en origen de las fracciones que actualmente se recogen de forma selectiva en el municipio, se obtuvo que más del 80% de los entrevistados estaría dispuesto a separar también en origen los biorresiduos, y que el 40% estaría dispuesto a pagar algo más en la tasa de recogida de residuos si fuera necesario.

Palabras Clave: *recogida selectiva, biorresiduos, valoración contingente, encuesta*

1. Introducción

La aceptación por parte de la ciudadanía es uno de los principales problemas a los que se enfrentan las autoridades competentes a la hora de introducir cambios en los sistemas de gestión de residuos. Para que estos cambios sean aceptados resulta crucial incorporar la voz del ciudadano en la definición de los indicadores ambientales, económicos y sociales, haciendo así partícipe a la sociedad del proceso de toma de decisiones.

El modelo de recogida de residuos más comúnmente implantado en España recoge a nivel de acera la fracción resto y en área de aportación las fracciones de papel/cartón, vidrio y envases ligeros. Sin embargo, hay una tendencia hacia modelos que recogen de forma selectiva también los biorresiduos y existen ya experiencias en algunos municipios españoles donde esta fracción se recoge a nivel de acera junto con el contenedor de la fracción resto, como es el caso de Valladolid, área metropolitana de Barcelona, Tarragona o Vitoria, entre otros.

La fracción de biorresiduos engloba los residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos [1]. El objetivo de este estudio es analizar el grado de aceptación de la recogida selectiva de los biorresiduos en un municipio español donde todavía no se ha implantado. Para ello, se ha diseñado un cuestionario basado en la metodología de valoración contingente, al que han contestado de forma telefónica 400 personas, garantizando un nivel de confianza del 95.5% y un error máximo del 5%.

2. Diseño del cuestionario

El cuestionario elaborado puede enmarcarse dentro de la metodología de valoración contingente. El método de valoración contingente es una técnica empleada para estimar el valor de bienes para los que no existe mercado, simulándolo mediante una encuesta a los consumidores potenciales, a los que se les pregunta la cantidad máxima de dinero que pagarían por el bien si tuvieran que comprarlo. A partir del resultado obtenido en el estudio, se deduce el valor que para el consumidor tiene ese bien [2].

El cuestionario se ha estructurado en 3 partes:

- **Descripción del bien que se pretende valorar.** Se trata de una fase de preparación, en la que se familiariza al entrevistado con el escenario de valoración. Con este fin, se han incluido unas preguntas relativas a los actuales hábitos de separación de residuos, lo que permite introducir al encuestado en el ámbito de la recogida selectiva de residuos urbanos.

Para aquellos encuestados que no utilizaban los contenedores de recogida selectiva, se ha incluido una cuestión relativa a las razones por las que no realizan separación en origen.

Esta parte concluye con una explicación de las ventajas y posibles molestias que la recogida de la nueva fracción de biorresiduos podría ocasionar.

- **Valoración del bien.** Es la fase crítica e imprescindible del cuestionario, ya que es en este apartado donde se realizan las preguntas relativas a la disposición a pagar por el bien a valorar. A partir del conocimiento de la tasa actual de recogida y gestión de residuos en el municipio, se ha planteado una cuestión siguiendo el esquema de la Figura 1.

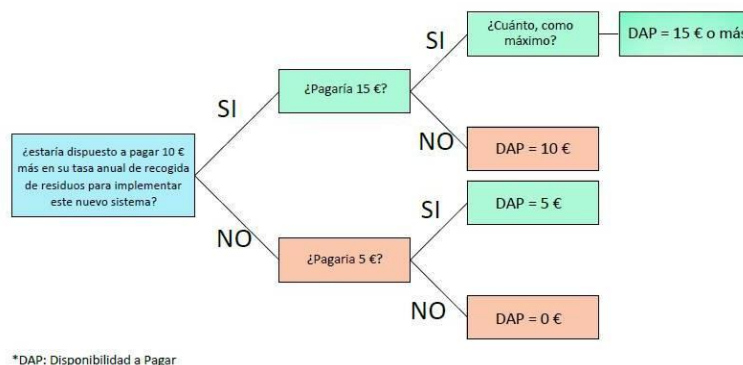


Figura 1. Esquema de obtención de la disponibilidad a pagar

- **Información socioeconómica de la persona entrevistada.** En la última parte del cuestionario se han planteados cuestiones relativas a características tales como: edad, sexo, nacionalidad, nº personas en la vivienda, nivel de estudios, situación laboral y nivel de renta familiar.

Esta información es útil para identificar si, dependiendo de las variables socioeconómicas, se dan diferentes hábitos y comportamientos relativos a la gestión de residuos domésticos.

3. Tamaño de muestra

Con el fin de determinar el tamaño de muestra, se ha de definir previamente el margen de error y el nivel de confianza:

- Un valor de margen de error del 5% es aceptable en estudios de investigación social, con el fin de poder utilizar la información recopilada en la encuesta para generalizar el comportamiento de la población total, [3].

- El nivel de confianza indica cómo de seguro se puede estar del resultado obtenido a partir de las respuestas. Se expresa como un porcentaje y representa la probabilidad de que el intervalo de confianza calculado contenga el valor real del parámetro (es decir, el valor del parámetro si se hubiera preguntado a la totalidad de la población). Los valores más comúnmente empleados en este tipo de estudios son 95% y 99%. En nuestro caso, se ha seleccionado 95%.

Además del margen de error y del nivel de confianza, hay que tener en cuenta el tipo de variable a estudiar, ya que dependiendo de si la variable es continua o categórica su formulación para el cálculo del tamaño muestral varía [3]. En este caso, como se trata de variables categóricas, la fórmula del tamaño muestral es:

$$N = \frac{Z^2 \times (p) \times (1-p)}{c^2} \quad (1)$$

donde N es el tamaño de muestra, Z es 1.96 para nivel de confianza del 95%, p es el porcentaje de respuestas que seleccionan una determinada opción, expresado en decimal (se recomienda utilizar $p=0.5$), c es el margen de error, expresado en decimal.

Aplicando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, se ha obtenido un tamaño de muestra de 384.

4. Resultados

La encuesta se realizó vía telefónica durante los meses de febrero-marzo de 2011, a los habitantes mayores de 30 años en un municipio español de aproximadamente 200.000 habitantes. El número de entrevistas realizadas ha sido de 400, con lo que se garantiza, con un 95% de probabilidad, que las respuestas obtenidas estén dentro del margen de error establecido del 5%. A continuación se describen los principales resultados.

Hábitos de separación en origen

Según muestra la Figura 2, se observa un índice de participación en la recogida selectiva relativamente alto, con un 75.0% para la fracción Envases, un 79.3% para el Papel/Cartón y 82.5% para el Vidrio. En cuanto a los encuestados que no separan en origen alguna de estas fracciones de residuos, la Figura 3 muestra los motivos que les lleva a no realizar una separación en origen, siendo los principales motivos: la falta de espacio para colocar varios cubos de basura en la misma vivienda (58.2%) y la incomodidad que supone separar los residuos (53.3%) y la distancia a recorrer hasta los contenedores (45.5%).

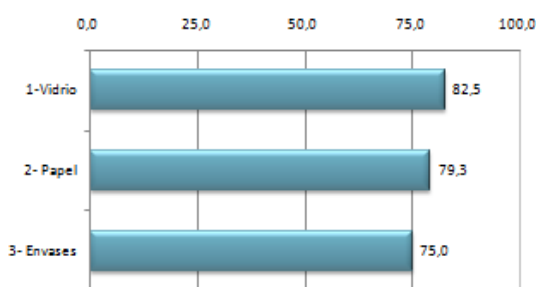


Figura 2. Participación en la recogida selectiva de las distintas fracciones

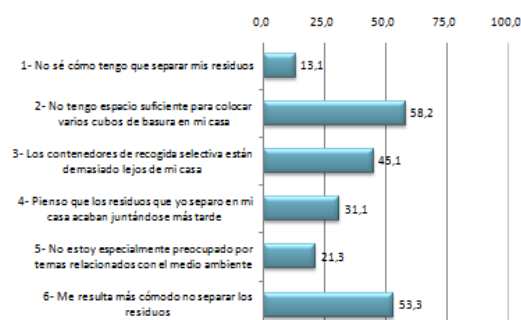


Figura 3. Motivos para la no participación en la recogida selectiva en origen

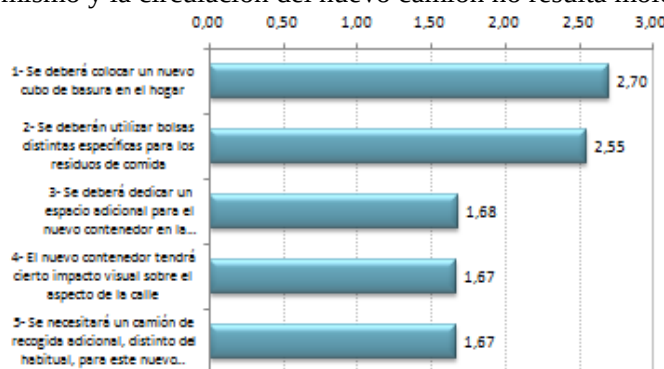
En la encuesta se realizaron una serie de preguntas cuya respuesta es dicotómica (sí o no) y además se han identificado características socioeconómicas de los entrevistados: sexo, situación laboral, nivel de estudios, tipo de familia según el número de miembros, edad y nivel de renta.

Mediante un modelo log-lineal [4] se ha determinado cómo son las relaciones e interacciones entre la participación en la recogida selectiva de cada fracción y las variables socioeconómicas obtenidas en la parte final del cuestionario. Este análisis estadístico ha permitido obtener las siguientes:

- En relación a la fracción de residuos papel, las personas con estudios universitarios separan esta fracción en origen en mayor medida que las personas sin estudios.
- En cambio, considerando las fracciones vidrio y envases, son las personas con estudios primarios quienes más participan en su separación en origen, seguidas de las personas con estudios universitarios. De nuevo las personas sin estudios las que menos separan estas fracciones.
- Resulta llamativo también que, en relación a la separación en origen de la fracción vidrio, las personas de edades comprendidas entre los 45 y 84 años participan más que las personas de entre 30 y 45 años.

Aceptabilidad del nuevo sistema de recogida selectiva de los biorresiduos

En relación a la implantación de un nuevo contenedor a nivel de acera para la recogida selectiva de los biorresiduos, los encuestados consideran que las principales molestias estarían relacionadas con la necesidad de disponer de un nuevo cubo de basura en el hogar y de la utilización de nuevas bolsas de basura específicas, tal y como muestra la Figura 4. El espacio ocupado por el contenedor, el impacto visual del mismo y la circulación del nuevo camión no resulta molesto.



(1=no resulta nada molesto; 5=resultado muy molesto).

Figura 4. Grado de molestia de la recogida selectiva de los biorresiduos

A priori, la población está muy dispuesta a separar los biorresiduos en sus viviendas (81.3%). De los que en principio no están dispuestos, el 40.0% sí lo estaría si el Ayuntamiento proporcionara bolsas y cubos específicos para tal fin, tal y como han realizado en experiencias piloto en otros municipios españoles. En este caso, se alcanzaría un 88.8% de participación.

Del análisis estadístico log-normal se extrae fundamentalmente que las personas que están más dispuestas a participar en la recogida separada de los biorresiduos son aquellas que ya realizan en sus viviendas la separación de las fracciones vidrio o papel.

Disponibilidad a pagar por la implantación del sistema de recogida selectiva de biorresiduos

La disponibilidad a pagar por la implantación de la recogida selectiva de los biorresiduos es baja, siendo la media de la disponibilidad a pagar de 4.86€ adicionales a la tasa anual actual. Un elevado porcentaje de la población no está dispuesto a pagar nada por el nuevo sistema (58.5%).

Del análisis estadístico log-normal se pueden concluir que:

- En general, las personas dispuestas a separar los biorresiduos en origen, están también dispuestas a ligeros incrementos en la tasa de recogida (5 o 10 €).

- Además, las personas más dispuestas a abonar 10€ más en su tasa de recogida de residuos son aquéllas que en este momento tienen empleo, seguidas de las personas jubiladas, las desempleadas, y por último, de aquéllas que se dedican a las labores del hogar.

5. Conclusiones

Un cuestionario realizado por vía telefónica es una herramienta útil para captar la voz del ciudadano en el campo de la gestión de residuos, ya que permite conocer los hábitos actuales de la ciudadanía, así como la voluntad de participar en nuevos sistemas de recogida y su disponibilidad a pagar por modificaciones en los mismos.

Según se ha obtenido en este estudio, los encuestados están altamente dispuestos a colaborar en la recogida selectiva de la materia orgánica, a pesar de ciertos inconvenientes que ello provocaría. Aquellos que más destaca la población son la necesidad de emplear un nuevo cubo de basura, además de bolsas específicas. Si se desea que la participación ciudadana sea elevada, los ayuntamientos deberían considerar la posibilidad de proporcionar a la población tanto los recipientes como las bolsas. En contraste, la disponibilidad a pagar por la implantación del nuevo sistema de recogida selectiva es baja.

En general, participan más activamente en la separación en origen de los residuos aquellas personas que disponen de estudios superiores. Además, aquellas personas que ya realizan separación de ciertas fracciones (vidrio, papel, envases) están más dispuestas a participar en la separación de nuevas fracciones (biorresiduos).

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Caixa Castelló – Bancaixa y la Universitat Jaume I, la financiación obtenida para la realización de este estudio (P1·1B2008-49).

Referencias Bibliográficas

- [1] Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre residuos. (2008). Diario Oficial de la Unión Europea. L312, pp 3-30.
- [2] Riera, P. *Manual de valoración contingente*. Instituto de estudios fiscales. 2004.
- [3] Bartlett, J., Kortlik, J. & Higgins, C. “Organizational Research: determining appropriate sample size in survey research”. *Information Technology, Learning and Performance Journal*. Vol. 19 (1). 2001. pp 43-50.
- [4] Agresti, A. *Categorical Data Analysis*. 2nd edition. 2002. Wiley-Interscience Ed. USA.

Análisis de la eficiencia de las plantas de selección de residuos sólidos urbanos del Distrito Federal

Héctor Barranco Cruz, Giovani López Serna, Felipe Núñez Espinosa, Gemma Cervantes Torre-Marín, *Fabián Robles Martínez

*froblesm@ipn.mx

Resumen

En el Distrito Federal se generan 15,739 [1] toneladas por día de residuos sólidos urbanos (RSU). El flujo de los residuos inicia en la recolección por camiones en los puntos de generación, para posteriormente ser dirigidos a estaciones de transferencia, plantas de separación o rellenos sanitarios. Uno de los puntos importantes para el reciclaje de materiales recuperados de los RSU, son las tres plantas de selección de RSU, cuyo objetivo es obtener materiales susceptibles a reciclarse como el papel, cartón, plásticos y diversos metales. Actualmente se recuperan 491 toneladas de materiales de estas tres plantas de selección. Sin embargo, existen varios factores que dificultan la selección de los materiales, como son la falta de separación desde la generación y recolección de los mismos, lo que incrementa los costos del reciclado o incluso lo imposibilita. Se han implementado programas para que los residuos comiencen a separarse desde la fuente de generación, pero éstos no han cubierto el total de la ciudad. El número de plantas de selección actualmente es insuficiente, dando como resultado que sólo una fracción de los residuos generados pasen por instalaciones de este tipo y el resto vaya directamente a los sitios de disposición final.

Palabras Clave: Distrito Federal, manejo, residuos, recuperación, separación

1. Introducción

En el Distrito Federal habitan 8,851,080 personas [3]. Esta concentración de población en un espacio tan reducido provoca una demanda de recursos y productos que luego de ser usados terminarán siendo desechados. Se estima que tan sólo en la capital se generan 15,739 toneladas de residuos por día como resultado de las actividades cotidianas de esta gran urbe, centro económico y político del país. Sumado a esto, diariamente entran alrededor de 2519 toneladas de residuos provenientes del Estado de México, agravando la situación [2].

El manejo de los residuos representa un asunto sumamente importante para la administración de la Ciudad de México, desde la recolección de los residuos en los sitios donde se generan, así como su traslado a las estaciones de transferencia para que posteriormente sean llevados, ya sea a los sitios de disposición final o sean valorizados y reaprovechados. Un ejemplo de esto son las plantas de selección, que se encargan de recuperar materiales para que sean reciclados y de esta manera disminuir la presión sobre las fuentes de recursos naturales. Algunos de los materiales que se separan en estas plantas son el papel, plástico, vidrio, metal, cartón entre otros. Para el caso del Distrito Federal se cuenta con tres plantas de selección ubicadas en Bordo Poniente, San Juan de Aragón y Santa Catarina que se encargan de separar parte de los residuos del Distrito Federal y una fracción proveniente del Estado de México.

2. Desarrollo

2.1 Metodología

Se realizó una búsqueda de información relacionada con el tema; principalmente información oficial reciente. Posteriormente se procedió a hacer un análisis del sistema.

3. Resultados

Como se mencionó anteriormente, el flujo de los RSU inicia en la recolección por camiones en los puntos de generación, para posteriormente ser dirigidos a estaciones de transferencia y plantas de separación. Uno de los puntos vitales para la buena gestión de los residuos son las plantas de selección. Según datos oficiales, en 2005 se recuperaba el 5 por ciento de los residuos que ingresaban a la Planta de selección de Bordo Poniente, en la Planta de selección de San Juan Aragón el 8 por ciento y en Santa Catarina el 20 por ciento, pero en 2006 se reportó una caída al cinco por ciento en Santa Catarina; no se reporta la razón de esta caída importante en Santa Catarina (Figura 1).

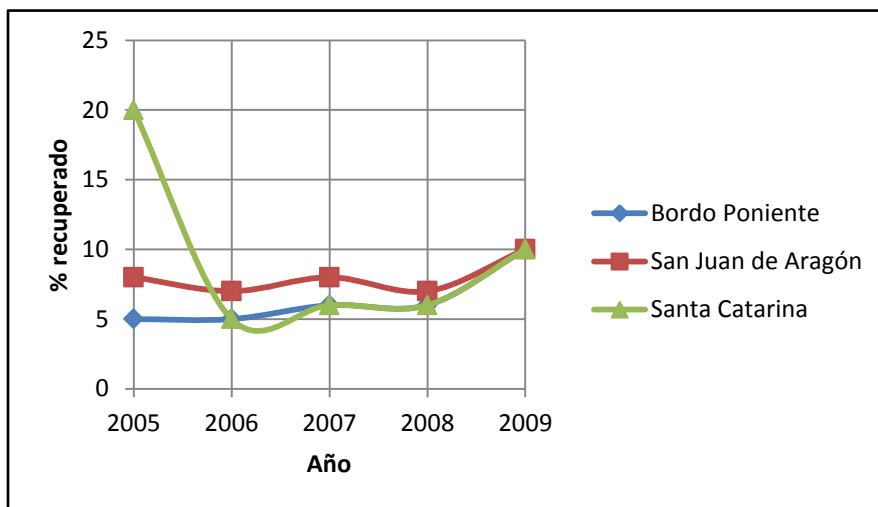


Figura 2 Recuperación de residuos en las plantas de selección (%)

Del 2008 al 2009 se observó un ligero incremento en el porcentaje de recuperación, esto muestra un interés creciente por parte de las autoridades en la etapa de selección de RSU [2]. El incremento en el porcentaje de separación también pudo verse impulsado por la implementación de programas dirigidos a la población para que realicen una separación de sus residuos desde el hogar; facilitando la labor de separación de las plantas de selección de residuos.

El diez por ciento que actualmente se separa en las tres plantas indica que de las 147,786 toneladas que entraron a las plantas de selección en 2009 se recuperaron 14,935 toneladas.

Bordo Poniente es la planta que más RSU recibe, seguida de Santa Catarina y finalmente, San Juan de Aragón como lo muestra la Figura 2.

El número de plantas de separación existentes es insuficiente en la ciudad de México y la eficiencia de separación en las tres plantas es muy baja. Considerando que en el año 2009, en promedio entraron 404.89 toneladas diarias a las tres plantas de selección, entonces se requerirían 114 plantas adicionales a las tres ya existentes, para poder dar una cobertura del 100 % de los residuos generados en la ciudad.

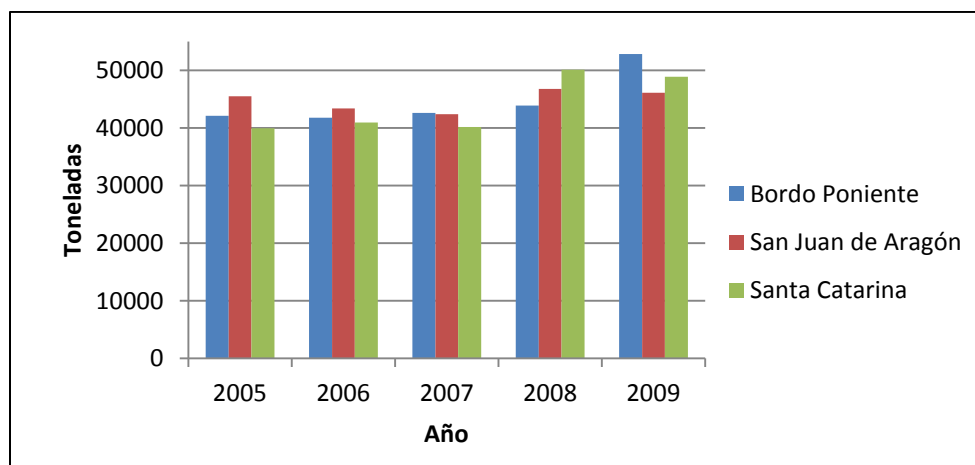


Figura 3 Residuos que ingresaron a las plantas de separación

Adicionalmente, la ubicación de las plantas de separación esta desbalanceada, ya que dos de ellas: San Juan de Aragón y Bordo Poniente están en la zona noreste de la ciudad, y Santa Catarina está ubicada al este de la zona metropolitana. Lo más recomendable sería que hubiera un mayor número de plantas de selección, y estas estuvieran distribuidas alrededor y al interior de la ciudad, de tal forma que la recuperación de materiales redujera considerablemente el traslado de residuos de toda la ciudad al único sitio de disposición final que opera actualmente.

Asimismo, cabe resaltar que las plantas de selección juegan un papel destacado en la vinculación entre el Distrito Federal y el Estado de México para la gestión y el manejo de los RSU ya que son el punto de entrada de una parte de los residuos provenientes del Estado de México. No es de extrañar que Bordo Poniente y Santa Catarina, al estar ubicados en las colindancias de la capital, dos terceras partes de los residuos que entran en ellas proviene de esta entidad y el resto del Distrito Federal. Por otra parte, en San Juan de Aragón el 48 % de los residuos provienen de la Ciudad de México, representado en la Figura 3.

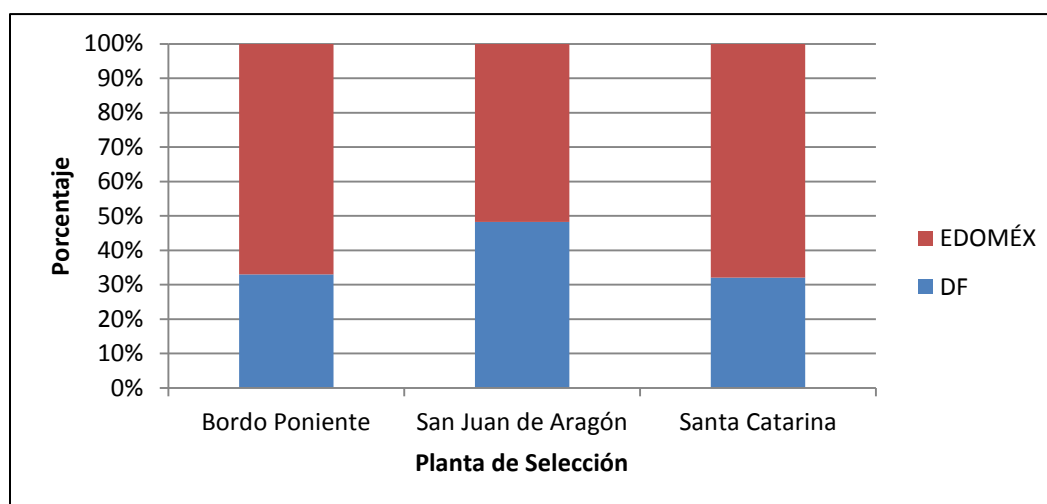


Figura 4 Origen de los RSU de las plantas de separación

La planta de bordo Poniente recibe residuos de todas las estaciones de tranferencia; mientras que Santa Catarina no recibe de las estaciones de Azcapotzalco y Álvaro Obregón. Por último, San Juan de Aragón maneja residuos de las estaciones de transferencia de las delegaciones Azcapotzalco y Miguel Hidalgo.

Las plantas de separación podrían ser la base para un mercado de subproductos con un potencial económico además del ahorro en el espacio ocupado en los sitios de disposición final y, por ende, de los costos económicos que de esto derivan. Es necesario incrementar el índice de recuperación de subproductos.

No obstante, es importante señalar que se deben considerar las características de los residuos de la zona para potenciar su aprovechamiento. Un ejemplo de esto son las delegaciones como Xochimilco y Milpa Alta; con una mayor fracción orgánica por una importante actividad agrícola, sería necesario instalar además plantas de composta.

4. Conclusiones

Las plantas de separación son pieza clave en el manejo de los residuos sólidos urbanos generados en el Distrito Federal y la zona conurbada. El porcentaje de recuperación en las plantas actualmente es del diez por ciento; que de incrementarse, podría traer beneficios ambientales, sociales y económicos.

El establecimiento de nuevas plantas de separación dentro del Distrito Federal ayudaría a recuperar mayor cantidad de materiales provenientes de los RSU. Lo anterior es de suma importancia, dado el cierre en un futuro próximo del único relleno sanitario que actualmente recibe los residuos de la ciudad de México. Las plantas de separación deben ser fortalecidas como el eslabón inicial de un mercado de subproductos, presentándose como una de las principales opciones para disminuir la cantidad de residuos depositados en rellenos sanitarios y como posibles fuentes en la generación de empleos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Gaceta Oficial del Distrito Federal, Gobierno del Distrito Federal, 13 de septiembre de 2010. Pp. 19-24.
- [2] Inventario de Residuos Sólidos del DF, Secretaría de Obras y Servicios, 2009. Pp 20-22
- [3] Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI. Sitio web INEGI www.inegi.gob.mx

Análisis de la problemática en la prestación del servicio público de limpia en el municipio de Toluca, Estado de México

Juan Roberto Calderón Maya, Francisco Javier Rosas Ferrusca, Pedro Leobardo Jiménez Sánchez

¹ jrcalderonm@uaemex.mx

Resumen

El término “residuo” ha significado y para la mayoría de la población, aún significa algo despectivo, algo que carece de valor y de lo que hay que deshacerse, de esta manera lo útil, que no siempre es necesario, se convierte en un estorbo y es causa del problema de cómo desentendernos de lo que consumimos o producimos. En el medio rural nunca fue un verdadero problema, pues los residuos orgánicos seguían el ciclo de la vida sirviendo de abono o de alimento para animales. La imagen que en un primer momento provoca a propios y extraños una ciudad, viene fundamentalmente determinada por sus rasgos urbanísticos y por su nivel de limpieza. Por lo que a limpieza de una ciudad se refiere, su situación depende de dos factores: la capacidad y adecuación de los servicios de limpieza y la capacidad y velocidad de contaminación de las vías públicas por parte de la población. Actualmente esta investigación se encuentra en la fase de diagnóstico, por lo tanto el objetivo central de este trabajo es presentar un análisis de la problemática existente en torno a la etapa de recolección de los Residuos Sólidos (RS) en el municipio de Toluca, Estado de México, a través de la prestación del servicio público de limpia.

121

Palabras Clave: *Municipio de Toluca, residuo sólido, servicio de limpia*

1. Introducción

Tal como puede comprobarse a primera vista, paseando por las calles y observando su trazo urbano, la Ciudad de Toluca, pero sobre todo el centro, presenta una zona perfectamente definida y delimitada que corresponde al primer cuadro de la ciudad, la que requiere una mayor necesidad de limpieza, ya que además de que el tiempo para contaminarse por los Residuos Sólidos (RS) tirados en la vía pública, es mayor que en el resto de la ciudad y del municipio debido a la gran concentración de las actividades asociadas a los servicios, al comercio y por ser un centro político administrativo de gran relevancia en el contexto metropolitano, regional y estatal, que debe presentar en todo momento un aspecto y una imagen limpia.

Las actividades asociadas al proceso de gestión de residuos sólidos han sido agrupados en seis elementos funcionales (Tchobanoglous, 1998): Generación; manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento en el origen; recolección; separación, procesamiento y transformación; transferencia y transporte; disposición final.

2. El municipio de Toluca, Estado de México

El municipio de Toluca se localiza en el centro del Estado de México, tiene una extensión de 420 Km², que representa el 1.86% del territorio estatal. Se localiza en el centro de la entidad y limita con once municipios, al norte Almoloya de Juárez, Temoaya, Otzolotepec y Xonacatlán; al este Xonacatlán, Lerma, San Mateo Atenco y Metepec, al sur Calimaya, Tenango del Valle, Villa Guerrero, Metepec y Zinacantepec y al oeste Zinacantepec y Almoloya de Juárez. La cabecera municipal es la Ciudad de Toluca de Lerdo, la cual se divide en 24 delegaciones y 26 subdelegaciones. La capital estatal se localiza a 2,660 m.s.n.m. (H.A.T., 2009).

3. Diagnóstico preliminar de la gestión de Residuos Sólidos (RS) en Toluca, Estado de México

3.1 Generación

Uno de los principales problemas dentro del proceso de gestión ambiental de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), está en la fase de su generación, ya que es a partir de esta, cuando los Ayuntamientos deben actuar adecuadamente sobre el manejo y gestión de los mismos. Una gran parte de los residuos que producimos en nuestros hogares, centros de trabajo, escuelas, mercados y otras fuentes generadoras, son depositados en sitios inadecuados, como los tiraderos a cielo abierto, al drenaje urbano, baldíos o incluso en las calles, camellones y plazas públicas. Sin embargo, queda claro que el problema dentro del Municipio de Toluca no es en sí la generación de los mismos, sino la forma de la gestión municipal que existe actualmente. En el municipio se generan diariamente 900 toneladas de residuos, de las cuáles 650 son de origen doméstico y 300 de origen comercial e industrial (no peligrosos) lo que significa que en promedio cada habitante genera 1.08 kg. por día (H.A.T., 2009).

3.2 Recolección

Alrededor de 700 toneladas diarias de basura son recolectadas por la Dirección de Servicios Públicos del Ayuntamiento de Toluca, lo que indica que se genera casi un kilo de basura por habitante (H.A.T., 2003), según datos proporcionados por Martha Celia Salgado Barrios, titular del área, destacó que al año 2010, se han sumado 22 vehículos nuevos para mejorar las rutas de atención, actualmente el parque vehicular es de 141 camiones, los cuales cubren las 197 rutas de recolección en prácticamente todas las localidades de Toluca y cuya capacidad varía de 3 a 10 toneladas. La cobertura de recolección ha aumentado gracias a las campañas permanentes del gobierno municipal, entre las que se encuentran “Limpia tu azotea”, los 13 centros de acopio del “Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos” y “Recolección de basura los fines de semana”.

El municipio cuenta con una cobertura general del servicio de limpia del 87%. En la zona urbana es de entre el 80 y 85%. Existe déficit de cobertura en zonas rurales y semiurbanas. Con el barrido manual y mecánico se recorren 313,022 Km., las cuáles cubren sólo el centro histórico y primer cuadro de la ciudad. El servicio de recolección de los RSM se organiza a través de 89 sectores para la cabecera municipal, partiendo del centro y las rutas se distribuyen por colonia y delegación (175 rutas). El servicio de recolección en la zona rural esta concesionado y se lleva a cabo con 11 camiones (H.A.T., 2009). El estado actual del parque vehicular es de 68 unidades (de acuerdo a datos proporcionados por el Departamento de Limpia y Recolección de Residuos Sólidos del H. Ayuntamiento de Toluca). Entre el periodo 2001 y 2002 se adquirieron 27 nuevos camiones. Del total de las unidades, 64 trabajan permanentemente, ya que casi siempre hay cuatro unidades descompuestas. El 35% del total de las unidades, son modelos 1985 o anteriores, lo que refleja que cerca de una cuarta parte de las unidades presenta deficiencias en cuanto a su funcionamiento. Se cuenta con siete barredoras, pero sólo funciona una. El Ayuntamiento sólo se encarga de la recolección de los residuos de tipo doméstico, parques y jardines y del pequeño comercio, que representan el 70.3%, mientras que el 29.7% restante, es generado por grandes comercios, oficinas, industrias y mercados, el cual es recolectado por una empresa privada (ATETSA: Asesoría Técnica y Sistemas Ecológicos de Toluca, S.A.). En cuanto a la recolección de las zonas rurales, durante esta administración (2009-2012) existe un contrato de recolección de RSM para 17 localidades del municipio de Toluca (ver Tabla 1).

Tabla 1. Recolección de los Residuos Sólidos (RS) en 17 localidades del municipio de Toluca, 2010

Localidad	Recolección m ³	Recolección	Habitantes	Kg/día/hab

		toneladas	beneficiados	
Tlachaloya	174.48	43.62	4,730	0.300
Tecaxic	104.64	26.16	2,679	0.320
San Martín Toltepec	82.88	20.72	2,000	0.340
Calixtlahuaca	314.00	78.50	7,061	0.300
San Pablo Autopan	832.00	208.00	18,047	0.380
San Cristóbal Huichochitlán	332.18	83.04	12,221	0.220
Santa Cruz Atzacapotzaltongo	224.22	56.05	6,708	0.270
Santiago Tlaxomulco	119.58	29.89	3,095	0.320
San Lorenzo Tepaltitlán	780.00	195.00	29,129	0.220
San Pedro Totoltepec	356.00	89.00	10,000	0.290
Santa María Totoltepec	240.00	60.00	7,454	0.260
El Carmen Totoltepec	61.26	15.31	1,000	0.510
San Felipe Tlalmimilolpan	313.64	78.41	6,300	0.410
El Cerrillo Vista Hermosa	293.44	73.36	3,000	0.810
San José Guadalupe Otzacatipan y Barrios	36.66	9.16	1,000	0.300
San Andrés Cuexcontitlán	244.54	61.13	8,422	0.240
San Mateo Otzacatipan	205.38	51.34	7,786	0.210
Total	471,490	1,178.69	130, 632	0.300

Fuente: Departamento de Limpia y Recolección de Residuos Sólidos del H. Ayuntamiento de Toluca, 2010.

3.3 Transferencia

El Centro de Transferencia, localizado en la Ciudad de Toluca, construido en 1995 y actualmente clausurado. A este centro llegan llegaban del 60% de las unidades de recolección. El Centro de Transferencia tenía un “Programa de Reciclaje”, sin embargo de las 950 toneladas que se recogen diariamente, tan solo el 10% se rescataban para su reciclaje. Se ha incrementado el uso del Centro (algunos días en que había hasta 2,000 carritos recolectores independientes) y se llegó a captar hasta el 15% de la basura diaria.

El actual ayuntamiento tiene previsto la construcción de su nuevo Centro de Transferencia, el cual tendría los siguientes objetivos básicos para su operación:

- 1) Protección al medio ambiente (Promoción para reducir la generación de materiales y captar los residuos reaprovechables);
- 2) Preservar los recursos naturales;
- 3) Optimización de sitios para la disposición final y,
- 4) Ahorro en la gestión de los residuos.

A pesar de la comercialización de algunos residuos, existen algunas limitaciones en el mercado. No se acepta con facilidad la venta del tetrapack, no se aceptan llantas, vidrio plano, tela y madera. Las pilas y los residuos hospitalarios no se pueden captar, ya que se consideran en la clasificación de los residuos peligrosos. El principal problema que deberá atender el nuevo Centro de Transferencia es cumplir adecuadamente con las funciones de transferencia y separación desde su creación.

3.4 Disposición Final

Los RSM de Toluca son depositados en dos sitios: el primero, un tiradero rustico ubicado en el Rancho La Chacra, Delegación de San Jorge Pueblo Nuevo del municipio de Metepec (40% del total de los residuos) y el otro en la Colonia San Pedro Barrientos del municipio de Tlalnepantla (60% restante). Para tal efecto se tiene contrato con las empresas: Tratamientos Especializados S.A. de C.V.; Red Recolector S.A. de C.V y con Mexicana de Medio Ambiente S.A. de C.V.

La disposición final de los residuos, de acuerdo a la zona, es el relleno sanitario de San Antonio La Isla, o bien, el de Zinacantepec, según datos proporcionados por Martha Celia Salgado Barrios, Directora de servicios públicos del municipio, el costo integrado para el Ayuntamiento por tonelada es de casi 600 pesos, entre combustible, depreciación de los bienes, pago del personal y gastos del destino. Por lo tanto, agregó, anualmente, el costo del servicio de recolección de basura es de hasta 40 millones de pesos.

4. Problemática en torno al servicio público municipal de limpia

Las sociedades podrían ser juzgadas por la forma de gestionar sus residuos que generan. Para las heterogéneas localidades que conforman el municipio de Toluca, esto es particularmente cierto, ya que la inadecuada gestión de los RSM que padece, refleja el tradicional sistema político y administrativo mexicano (Dunleavy, P. y Hood, 1995). Por lo tanto, detrás de la aparente funcionalidad del manejo adecuado de los RSM, existen relaciones de grupos de poder para los que su gestión, es tan sólo un botín político y económico. Éstos se han constituido en un serio obstáculo para poder diseñar estrategias de largo plazo en el manejo de estos residuos, pero cada uno es pieza fundamental para que "todo siga en orden y las localidades se conserven limpias". Una primera aproximación a la caracterización de la problemática en torno al servicio de limpia en el municipio de Toluca por niveles quedaría de la siguiente manera:

A nivel de la política pública: se ha considerado el problema básicamente desde la perspectiva de la "ingeniería ambiental", creando "rellenos sanitarios", "control de lixiviados", plantas recicladoras o de compostaje con infinidad de proyectos que han fracasado al tratar de incorporar la variable social.

A nivel de la política municipal: cuenta con legislaciones locales, pero se caracteriza por una gran improvisación. Esta inmersa en intereses económicos y sociales de todo tipo y, aunque es independiente, no parece tener un rumbo fijo.

A nivel de la recolección: es pública en general y privada en algunos casos. Es un proceso privatizado en donde los recolectores (camiones, camionetas o carretas de burros) son una especie de "microindustrias" que dan empleo a miles de familias, formalizan la propina y la pepena pero sin control.

A nivel de reciclaje: lo realizan tanto los empleados del servicio de limpia (pre-pepena) como los pepenadores del Centro de Transferencia y sitios de disposición final. Genera empleo para miles de familias que sobreviven con muy bajos salarios, genera cuantiosas ganancias a los caciques e intermediarios que controlan la compra-venta de materiales y beneficia directamente a la gran industria que compra barato y sin factura esta materia prima para sus procesos de producción.

A nivel de la disposición final: En el Municipio de Toluca, proliferan tiraderos a cielo abierto, los pepenadores, la explotación, los caciques y la falta de control por parte de las autoridades.

A nivel de la academia: se ha especializado en áreas específicas, como el reciclaje o los programas ecológicos de los "Campus", concursos y proyectos, que todavía no aterrizan lo suficiente, en espacios más amplios de la población.

A nivel de la sociedad: los esfuerzos de educación ambiental a la población han sido escasos y de poco impacto. La elevada presencia de organizaciones no gubernamentales no parece tener todavía la fuerza que se necesita para ver un cambio en la acción ciudadana. La población continua sin sentir una responsabilidad especial sobre el manejo y destino de sus residuos y el problema se entiende como parte de la vida cotidiana.

5. Conclusiones preliminares

5.1 Desde el punto de vista de la privatización del servicio

Partiendo de otros casos exitosos, en donde en el caso del servicio de limpia la privatización ha funcionado eficazmente ya en otras grandes capitales del país como Puebla o Mérida, desde hace quince años. Por lo tanto, existe la alternativa de la privatización del servicio de limpia, debido a la ineficiencia de la administración municipal para poder prestarlo, de acorde con las necesidades del Ayuntamiento. "El Ayuntamiento no puede hacer la función de empresario". "En un ambiente globalizado donde debe haber una competencia, requiere de eficiencia que permita tener productividad y que genere ingresos, y en las actuales condiciones que se dan estos servicios públicos se requiere la privatización". Sin embargo se debe considerar la posibilidad que, al privatizarse o concesionar el servicio de recolección de basura, se diera algún despido, entonces se harían las indemnizaciones y liquidaciones conforme a la ley para evitar problemas sociales con los sindicatos o si no se propondría a los trabajadores diferentes opciones de ser reubicados en otras áreas de la administración municipal o finalmente se promoverían a los trabajadores para su reconstrucción con la nueva empresa.

5.2 Desde el punto de vista de las leyes y reglamentos

De nada sirve que el servicio sea más eficiente si el ciudadano no participa. Se necesitan dos cosas, la primera es que arreglen la normatividad y, segundo, hacer que el camión de la basura recoja un día un determinado tipo de residuos. "El problema es que en México hasta que las cosas no son obligatorias, no se hacen. En algunas colonias del municipio en donde el grado de calidad de los habitantes es alto, se da una cooperación por parte de los vecinos y se tienen botes y contenedores de basura en lugares específicos, pero esto es porque hay una organización. En otras partes la gente pide que lo haga el Gobierno, que para eso pagan impuestos". Es urgente proponer una reforma a las Leyes Municipales, con relación a una iniciativa para fomentar la inversión privada en el servicio de limpia y mejorar la calidad de este servicio así como una Ley para obligar a los ciudadanos a separar su basura y proteger a los sectores de limpia del Gobierno municipal que se verían afectados por la entrada de capital privado. Es necesario instrumentar programas y campañas reales y factibles para difundir entre la población, la cultura de la limpieza, en los que involucramos a la Iniciativa Privada, organismos intermedios y ciudadanos en general. Estos programas y campañas deben incorporar objetivos muy específicos para que se cumplan en un corto plazo y de manera permanente.

5.3 Desde el punto de vista de la infraestructura y el servicio

La gestión de la basura no debe ser considerada como un problema, ni como un asunto de colores de partidos. Otro problema sería lograr la cooperación de los trabajadores de limpia, para lo cual el Gobierno municipal debe convocar a reuniones para buscar opciones de estímulo a la participación de los trabajadores en programas de limpia y separación de residuos, sin que vean afectados sus intereses, ya que la separación y la pepena son elementos que les ayudan a tener ganancias adicionales. Se requiere mejorar la infraestructura y equipamiento en el Departamento de Limpia del Municipio de Toluca, para mejorar el servicio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Dunleavy, P. Y Hood (1995): *De la administración Pública tradicional a la Nueva Gestión Pública*. Gestión y Análisis de Políticas n° 3, Mayo/Agosto. Distrito Federal, México.
- [2] H. Ayuntamiento de Toluca (H.A.T) (2009): Plan de Desarrollo Municipal 2009-2012 del Ayuntamiento de Toluca. Gobierno Municipal, Toluca, México.
- [3] H. AYUNTAMIENTO DE TOLUCA DE TOLUCA (H.A.T.) (2003): Plan Municipal de Desarrollo 2003-2006. Toluca, México.

[4] Tchobanoglous, G., (1998): *Gestión integral de residuos sólidos*, Tomo I. Ed Mc. Graw Hill. España.

Análisis de la situación actual de la gestión de la categoría 7 (juguetes) de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en España

Victoria Pérez-Belis, *M^a Dolores Bovea

*bovea@uji.es

Resumen

La fabricación y utilización de nuevos aparatos eléctricos y electrónicos aumenta progresiva y aceleradamente a medida que se desarrolla la tecnología y se crean nuevas necesidades en el usuario. Esto produce una reducción en la vida del producto, acelerando así su sustitución por nuevos con más prestaciones y generando grandes cantidades de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. La aplicación de la Directiva Europea 2002/96/CE sobre la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos trata de reducir la cantidad y peligrosidad de los aparatos eléctricos y electrónicos, estimular su reciclado y fomentar su reutilización y valorización. El objetivo de este trabajo es conocer el grado de implantación en España de las implicaciones de dicha directiva en su categoría 7, que engloba los juguetes. Actualmente no existe a nivel estatal una red extendida de recogida, reparación, reutilización y reciclaje de juguetes fuera de uso, aunque sí existen iniciativas a nivel local/autonómico asociadas normalmente a empresas de inserción social. Se propone realizar un diagnóstico que incluya las cantidades generadas en esta categoría a nivel nacional/autonómico, conocer los sistemas integrados de gestión que dan cobertura a esta categoría, cantidades recogidas de forma selectiva, y experiencias realizadas en diferentes comunidades autónomas. Toda la información recopilada, servirá de base para el diseño de una experiencia piloto de recogida, recuperación y reciclaje de los juguetes a nivel local.

Palabras Clave: *Directiva Europea 2002/96/CE, RD 208/2005, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, juguetes*

1. Introducción

Un juguete es un objeto cuya función principal es la de fomentar y favorecer el desarrollo humano a nivel físico y psicológico. Para ello, los juguetes han incorporado de forma progresiva componentes eléctricos y electrónicos, evolucionando desde las formas y sistemas más simples y sencillos hasta la creación de productos electrónicos complejos y sofisticados. Estos componentes incorporados contienen sustancias peligrosas para el medio ambiente, por lo que deben ser gestionados conforme a lo establecido en la Directiva 2002/96/CE [1] y RD 208/2005 [2], en el caso de España.

Entre los juguetes catalogados como aparatos eléctricos y electrónicos (AEEs), se encuentran todos aquéllos que incorporan luces, sonido, movimiento y cualquier otra aplicación cuyo funcionamiento dependa de baterías o corriente eléctrica y cuenten con componentes eléctricos y electrónicos, por lo que han de gestionarse como Residuo de Aparato Eléctrico y Electrónico (RAEE). Sin embargo, es muy reducido el número de juguetes gestionados al final de su vida como RAEE, y en la práctica son depositados en el contenedor de mezcla cuando dejan de ser útiles en el hogar.

El objetivo de este trabajo es analizar la situación actual de la gestión de los juguetes enmarcados en la categoría 7 de la Directiva 2002/96/CE en España, y diseñar una experiencia piloto a nivel local para su recogida y gestión.

2. Gestión actual de la categoría 7 (juguetes) en España

Con la entrada en vigor del RD 208/2005 en España, se ha aprobado el I Plan Nacional de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (PNRAEE 2008-2015) [3]. Este plan, entre otros, fija los objetivos de recogida, valorización y reutilización en un determinado período de tiempo, tal y como detalla la Tabla 1.

Tabla 1. Objetivos y calendario del I PNRAE

	2010	2012	2015
Recogida selectiva	85 %	90 %	95 %
Valorización			
Grandes electrodomésticos	95 %	95 %	95 %
Equipos informáticos, telecomunicaciones, y electrónica de consumo.	80 %	85 %	90 %
Reutilización y/o valoración de RAEE para todas las categorías.	90 %	95 %	95 %
Valorización de pequeños electrodomésticos, aparatos de alumbrado, herramientas, juguetes e instrumentos de control.	70 %	75 %	80 %

Durante el año 2010, en España se pusieron en el mercado un total de 749.635.639 kg de AEEs, siendo la categoría 7, un 3 % del total [4]. La Tabla 2 muestra la evolución de cada una de las subcategorías en que se divide la categoría 7 de juguetes.

Tabla 2. Cantidades puestas en el mercado por categoría global y productos (kg)

Categoría y productos	2008	2009	2010	2011*
Categoría 7: Juguetes y equipos deportivos o tiempo libre	24.967.350	20.275.682	22.513.284	3.349.913
Trenes eléctricos o coches en pista eléctrica	328.304	189.070	300.632	38.330
Consolas portátiles	514.787	201.921	217.177	55.340
Videojuegos	4.419.619	3.100.071	2.750.955	206.014
Ordenadores para realizar ciclismo, submarinismo, etc.	31.454	3.327	6.983	6.292
Material deportivo con componentes eléctricos y electrónicos	1.327.607	406.665	805.456	103.362
Máquinas tragaperras	7.303.870	6.319.257	5.105.764	1.295.288
Otros juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre	11.041.709	10.055.370	13.326.319	1.645.287

* Contabilizado únicamente el primer cuatrimestre del año 2011.

La gestión de estos productos al llegar a su fin de vida, al igual que la del resto de categorías de RAEEs, y en cumplimiento de lo establecido en el RD 208/2005, se ha de realizar a través de Sistemas Integrados de Gestión (SIG). Se trata de entidades constituidas sin ánimo de lucro en las que participan los productores de AEEs y cuyo objetivo principal es la creación de una estructura organizativa que responda a las necesidades de gestión de los RAEEs. Existen diversos SIGs especializados en cada una de las categorías establecidas en la Directiva 2002/96/CE. La Tabla 3 muestra aquéllos autorizados para gestionar la categoría 7 (juguetes).

Tabla 3. SIGs y empresas que gestionan juguetes incluidos en la Categoría 7

SIG	Categoría RAEE	Ámbito geográfico	Sistemas de recogida	Empresas gestoras
Ecoasimelec	Todas las categorías excepto 5	Nacional	Distribuidores y puntos limpios	n/d
Ecolec	Todas las categorías	Nacional	Puntos limpios. Distribuidores y domiciliaria.	ER-TPA, RECILEC, FERROSER, I.RECYCLING
Ecotic	Todas las categorías	Nacional	Puntos limpios y distribuidores.	ER-TPA, RECILEC, RECITEL, RAESL
ERP	Todas las categorías excepto 5	Nacional	Puntos limpios. Distribuidores y domiciliaria.	No disponible
EcoRAEE'S	Todas las categorías	Nacional	Distribuidores y puntos limpios	No disponible

Cada SIG cuenta con determinadas empresas gestoras, recicladores o plantas de tratamiento asociadas al mismo. En ellas, los juguetes se clasifican, descontaminan y tratan de acuerdo a procedimientos específicos dependiendo del tipo de residuo y componente que contenga, siguiendo un proceso similar al mostrado en la Figura 1.

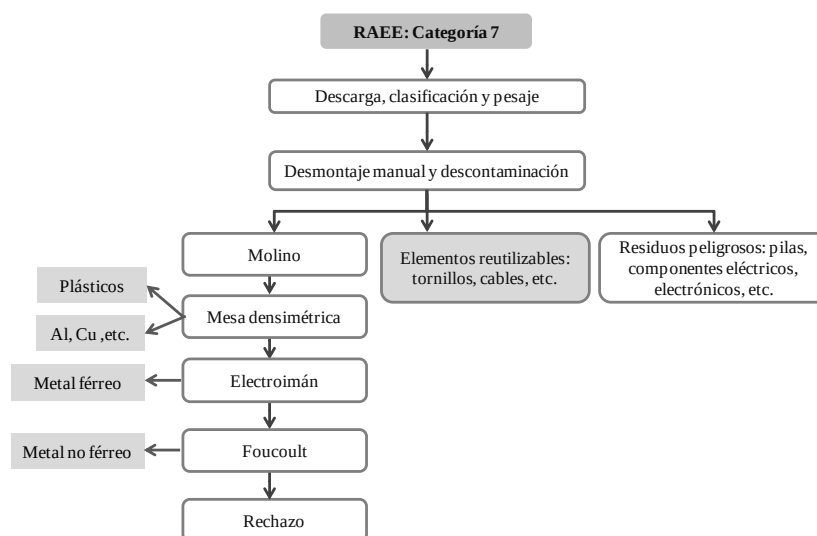


Figura 1. Tratamiento de los juguetes en las plantas de reciclaje [elaboración propia]

Según los datos facilitados por el SIG Ecolec [5], en el año 2010 recogió únicamente el 1.5 % de la cantidad total de kg puestos en el mercado ese mismo año (Tabla 2). Considerando que se trata del SIG de mayor porcentaje de recogida de esta categoría y que cuenta con el mayor número de empresas jugueteras adscritas al mismo, se desprende que el porcentaje de recogida respecto del puesto en el mercado es insuficiente.

4. Diseño de una experiencia piloto de recogida y gestión de juguetes

Hasta el momento, son reducidas las acciones iniciadas a nivel nacional con objetivos de recogida de juguetes, limitándose a acciones locales impulsadas desde organizaciones sin ánimo de lucro y por lo general de inserción social. Algunos ayuntamientos en colaboración con determinados SIG, organizan campañas puntuales de recogida de juguetes, coincidiendo, normalmente con la época de Navidad.

Estas campañas suelen tener una excelente acogida por parte del usuario, ya que encuentran en ellas la posibilidad de deshacerse de este tipo de residuo que tienden a almacenar en el hogar. Por ello se considera indispensable el desarrollo de acciones que de forma constante a lo largo del año permitan recoger y tratar de forma específica y selectiva estos juguetes, convirtiendo la gestión de éstos en un proceso continuo y generalizado, evitando que únicamente se realice en una determinada época del año.

Por tanto, dado el bajo porcentaje de juguetes que se recogen a través de los SIGs y la inexistencia de un sistema continuo de recogida de los mismos, se planteó diseñar una experiencia piloto de recogida en el municipio de Castellón de la Plana (España). Para ello, el Grupo de Ingeniería de Residuos (INGRES) de la Universitat Jaume I en colaboración con Reciplana Recuperacions S.L. (empresa de inserción social de la Fundació Tots Units), planteó una campaña de sensibilización y recogida de juguetes durante el mes de mayo de 2011, tanto en la universidad como en varios centros de educación infantil y primaria del municipio. Tanto desde la universidad como desde los colegios, la campaña ha sido acogida con entusiasmo.

Los objetivos de esta campaña han sido:

- sensibilizar a la población sobre la correcta gestión de este tipo de residuo, a través de información sobre el mismo, y
- recoger tanto juguetes como partes de juguetes que ya no se utilicen en los hogares, independientemente de si funcionan o no, para que éstos puedan ser reutilizados o en su defecto, reciclados.

La metodología seguida en la experiencia piloto ha sido la siguiente:

1. Contacto con los colegios para explicar la experiencia piloto y pedir su colaboración.
2. Llevar a los colegios interesados en participar, un contenedor que permanecía en el mismo durante 10-15 días.
3. Repartir material de sensibilización (Figura 2):
 - Un cartel de la campaña para cada uno de las aulas del colegio.
 - Un díptico informativo para los padres, donde se explican los objetivos de la campaña junto con una breve encuesta que servirá para analizar los hábitos de consumo y retirada de este tipo de producto.
 - Un tríptico orientado hacia el público infantil, en el que se explica qué es un juguete eléctrico y electrónico, cómo se identifica y qué se debe hacer con ellos a la hora de retirarlos.



Cartel de la campaña

**CAMPAÑA DE SENSIBILIZACIÓN Y
RECOGIDA DE JUGUETES USADOS**

Queridos padres:

El Grupo de Ingeniería de Residuos (INGRES) de la **Universitat Jaume I**, en colaboración con **Reciplana Recuperacions** (empresa de inserción de la **Fundació Tots Units**), ha iniciado una campaña de **recogida de juguetes usados**. Se pueden depositar tanto **juguetes como partes de juguetes**, independientemente de que funcionen o no, y de que estén en mejor o peor estado.

Para ello, se han situado temporalmente en su Colegio **contenedores**, donde se pueden **depositar los juguetes** que ya no utilicen en sus hogares.

¿Qué va a hacerse con los juguetes que se recojan?

- aquéllos que puedan ser reutilizados, Reciplana Recuperacions se encargará de higienizarlos y **repararlos**, para que otros niños puedan jugar con ellos.
- aquéllos que no puedan ser aprovechados, se separarán en sus diferentes materiales para su posterior **reciclado**.

Otro objetivo de esta campaña es la sensibilización sobre los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Por ello, les hemos entregado a sus hijos un **tríptico explicativo** de la campaña, y les adjuntamos a ustedes un **cuestionario** que agradeceríamos que contestaran de forma anónima, con el fin de conocer los hábitos de consumo y retirada de los juguetes eléctricos y electrónicos.

Durante los **días 2 y 3** podrán **depositar en su Colegio los juguetes** que sus hijos ya no utilizan (funcionen o no). Fuera de estas fechas, podrán seguir llevando sus juguetes a las instalaciones de **Reciplana Recuperacions**.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Número de hijo/s: _____ Edad/es: _____

1. **En promedio para cada niño/a, ¿cuántos juguetes recibe anualmente?**

¿En Navidad?: ☐ Menos de 5 ☐ Entre 5 y 10 ☐ Más de 10

¿En su cumpleaños?: ☐ Menos de 5 ☐ Entre 5 y 10 ☐ Más de 10

¿En otras fechas?: ☐ Ninguno ☐ Menos de 5 ☐ Entre 5 y 10 ☐ Más de 10

2. **Ordene de 1 (muy frecuente) a 3 (poco frecuente) los motivos por los cuales se deshace de los juguetes.**

☐ Porque están rotos o ya no funcionan

☐ Porque los niños ya no los utilizan

☐ Porque no caben en casa

3. **¿Cuánto tiempo tarda en deshacerse de un juguete?**

☐ < 1 año ☐ 1 - 2 años ☐ 2 - 3 años ☐ 4 - 5 años ☐ > 5 años

4. **¿De los juguetes que tiene en su hogar, qué porcentaje son eléctricos y electrónicos? (videoconsolas, robots/coches teledirigidos, muñecas con sonidos/luces, y cualquier otro juguete que contenga pilas o baterías).**

☐ < 25% ☐ 25% - 50% ☐ 50% - 75% ☐ > 75%

5. **¿Cuándo quiere deshacerse de un juguete eléctrico/electrónico, qué hace normalmente?**

☐ Lo regalo a familiares o amigos, si funciona correctamente.

☐ Lo llevo a alguna asociación/campaña con fines benéficos. Cuál: _____

☐ Lo tiro a la basura. → ☐ con pilas ☐ sin pilas

☐ Lo llevo a un **Ecoparque**. Cuál: _____

6. **Existen empresas de alquiler de juguetes, ¿alquilaría juguetes para sus hijos?**

☐ Sí ☐ No

7. **¿Compraría juguetes de segunda mano para sus hijos?**

☐ Sí ☐ No

8. **¿Ha identificado este símbolo en los juguetes de su hogar?**

☐ Sí → ¿Conoce su significado? ☐ Sí ☐ No

☐ No

Díptico informativo para padres con encuesta

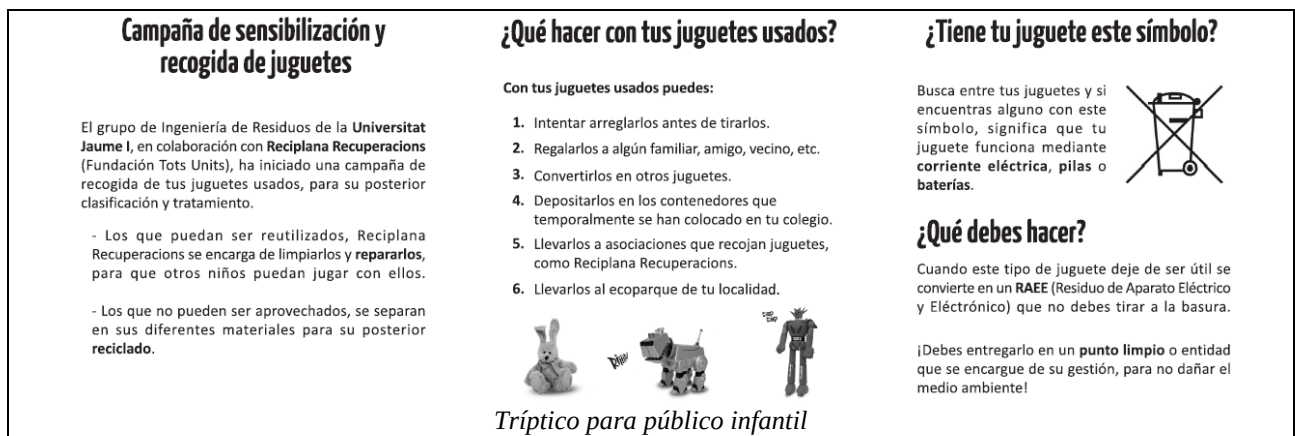


Figura 2. Documentación de la campaña.

4. Recoger cada tres días el contenido del contenedor y llevarlo al Taller de Residuos de la Universidad.
5. Caracterizar la muestra recogida:
 - Pesaje de la muestra, contar el número de unidades y calcular de la densidad en contenedor.
 - Clasificación entre RAEE y no RAEE.
 - Para analizar la muestra RAEE, se clasifica en subcategorías: primera infancia, figuras transformables (robots, mascotas, etc.), palomiteros-proyectores-manualidades, vehículos montables, vehículos de tamaño reducido, juegos de mesa electrónicos, muñecas y accesorios, peluches, teléfonos, musicales-audio, otros e impropios.
 - Para cada unidad RAEE, se elabora una ficha en la que se indica: si el juguete funciona, si lleva pilas, tipo de pila, marcado adecuado, funciones que realiza, etc.
6. Los juguetes, tanto RAEEs como no RAEEs, tras su caracterización, son recogidos por la empresa Reciplana Recuperacions, que se encarga de higienizarlos y repararlos, para que otros niños puedan jugar con ellos. Aquéllos que no puedan ser aprovechados, se separarán en sus diferentes materiales para su posterior reciclado, ya que son gestores autorizados.
7. Realización de un taller con estudiantes de Grado relacionados con Diseño Industrial sobre “Diseño de juguetes a partir de residuos de juguetes”.

La campaña se ha iniciado en ocho centros educativos de infantil y primaria durante el mes de mayo de 2011 y en la Universitat Jaume I se prevé prolongarla hasta el mes de julio de 2011.

5. Conclusiones

En base a la información disponible y analizada referente a recogida y puesta en el mercado de juguetes con componentes eléctricos y electrónicos, se determina que:

- Las cantidades de residuos de juguetes gestionadas son reducidas respecto a las puestas en el mercado.
- El consumidor carece de información referente al tratamiento y gestión específico de este tipo de RAEEs.
- Las campañas de recogida desarrolladas a nivel local resultan efectivas de forma puntual, pero se requiere un sistema de gestión implantado a nivel nacional que gestione los residuos de juguetes de forma continuada.

- La experiencia piloto de recogida cuenta hasta la fecha con una excelente acogida por parte del consumidor, por lo que se puede concluir que existe una necesidad generalizada de gestionar la retirada de juguetes, pero desconocen cómo hacerlo de forma correcta.

Una vez finalizada la campaña, caracterizada la muestra y analizadas las respuestas a los cuestionarios sobre hábitos de consumo y retirada de juguetes, se presentarán los resultados en la próxima edición del congreso.

Referencias Bibliográficas

- [1] Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- [2] Real Decreto 208/2005 de 25 de febrero sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.
- [3] I Plan Nacional de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos 2008-2015. http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/residuos/planificacion_residuos/pdf/borrador_pnir_anexo9.pdf (31 de mayo de 2011).
- [4] Registro de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. <http://www.mityc.es/industria/RAEE/Paginas/Index.aspx> (31 de mayo de 2011).
- [5] Informe de procedimientos acordados sobre cantidades de aparatos eléctricos y electrónicos puestos en el mercado nacional y de residuos gestionados por categorías de productos y materiales en el territorio nacional. Ejercicio 2010. Fundación ECOLEC.

Ciudades mexicanas y su manejo de residuos

Gerardo Bernache Pérez

gbernache@yahoo.com.mx

Resumen

La producción de residuos y su manejo fueron objeto de estudio en 41 municipios urbanos, con más de 50,000 habitantes, de la región centro occidente de México. El estudio fue realizado durante el segundo semestre de 2010 y consistió de la administración de un cuestionario sobre la gestión de residuos sólidos municipales. Los responsables del manejo de residuos en los municipios seleccionados respondieron a una serie de cuestionamientos sobre la producción, los tipos de recolección, programas de separación de residuos, costos del manejo por tonelada y otros más. Los datos obtenidos del estudio nos indican que la producción diaria de residuos sólidos es de 1.020 kilogramos /habitante en promedio para los 41 municipios. Respecto al servicio público de recolección, se tiene una cobertura promedio del 91% de la población (colonias) que tiene un servicio que se puede considerar regular. Esto se puede interpretar que de cada diez habitantes, uno no cuenta con servicio de recolección. En relación a la separación de residuos para su posterior reciclaje, la suma de residuos separados en los 41 municipios es de 1,644.5 toneladas por semana. Sin embargo, la realidad es que 17 municipios no reportan ningún monto (cero toneladas), mientras que los otros 24 municipios aportan unas 68.5 toneladas por semana cada uno.

Palabras Clave: *producción de residuos, manejo de residuos municipales, México, zonas urbanas*

1. Introducción

El estudio de la generación y manejo de los residuos puede ayudar a entender mejor el reto de la gestión integral de residuos, brindar elementos a los ayuntamientos para transitar hacia un desarrollo sustentable. De acuerdo con Bernache [1] [2], los principales elementos del problema de la basura en municipios urbanos de México son:

- 1) el creciente monto de residuos municipales que se desechan que demandan mayor infraestructura para recolección y disposición de residuos.
- 2) los requerimientos económicos (presupuestales) para el pago de personal y parque vehicular para la recolección.
- 3) la disposición final de residuos en sitios que no siempre tienen una infraestructura completa para el control de la contaminación, además de que el manejo de los sitios no es apropiado en muchos casos.
- 4) la falta de estrategias para la gestión sustentable de residuos por parte de los ayuntamientos; por ejemplo: son pocos los programas de separación de residuos para el reciclaje.
- 5) la escasa participación social en los procesos de gestión, particularmente en lo que se refiere a minimizar la producción y separar los residuos.

El manejo de los residuos se enfoca, en la actualidad, a tratar de brindar un mejor servicio de recolección y con mayor cobertura de las zonas urbanas que lo requieren. Aunque el servicio en las rutas domiciliarias tiende a ser ineficiente porque no está bien planeado, no tiene personal bien organizado ni cobertura regular a todas las zonas de los municipios.

La falta de recursos de muchos municipios, en términos de personal, presupuesto y equipamiento, resulta en una incapacidad para resolver el problema de manejo de los residuos; en los hechos, los gobiernos locales se ven rebasados por los cientos de toneladas que generan su población y sus actividades económicas.

Las mejoras en el servicio de recolección que se han dado en los últimos años han sido importantes, pero ahora se ha incorporado la dimensión ambiental al modelo de manejo de residuos y eso apunta no sólo a mejorar la recolección domiciliaria, sino a una gestión integral de los residuos. La gestión sustentable de los desechos implica, por un lado, la propuesta de programas de separación y reciclaje de residuos por parte de las autoridades locales, por otro, necesariamente la participación social, es decir, una responsabilidad compartida en el manejo eficiente y ambientalmente seguro del flujo de residuos urbanos.

2. Estudio de la generación y manejo de residuos sólidos urbanos

2.1 Metodología

El estudio surge a partir de los apoyos financieros otorgados por el Instituto Nacional para el Desarrollo Social [3] y El Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro Occidente [4]. El objetivo es conocer mejor la producción de residuos sólidos y el manejo de los mismos por parte de los ayuntamientos de la región. El trabajo de campo se realizó entre los meses de septiembre de 2010 y enero de 2011. En el Convenio se indica que se trabajará con 68 municipios urbanos, con población mayor a 50,000 habitantes en los nueve estados que conforman la Región Centro Occidente de México. Estos estados son: Nayarit, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Colima y Jalisco.

En el mes de septiembre se terminaron de elaborar el directorio de responsables municipales de manejo de residuos y el cuestionario con 27 preguntas que se administraría a los funcionarios identificados en los municipios urbanos. Es importante señalar que los 68 municipios seleccionados para este proyecto fueron atendidos, en este caso se les envió por correo ordinario y por correo electrónico el siguiente material: cuestionario de generación y gestión de residuos, así como la información básica del proyecto en la forma de un Folleto. Además se les dio seguimiento por teléfono para solicitar la información sobre residuos municipales.

Sin embargo, es importante precisar que el cuestionario sobre producción y manejo de residuos sólidos municipales fue respondido por el 60% de los municipios urbanos de la Región Centro Occidente. Es decir, tuvimos una respuesta positiva de 41 ayuntamientos.

2.2 Producción y manejo de los residuos sólidos urbanos

Para empezar se puede señalar que el peso de los residuos sólidos municipales en promedio es de 1.020 kilogramos /habitante /día. Este monto representa una producción estable de residuos durante la última década. Es decir, la producción de residuos en municipios de la RCO está en el mismo rango de un kilogramo que se reporta como promedio a nivel nacional.

En lo que respecta al servicio público de recolección de residuos. El indicador básico es la cobertura (el porcentaje de habitantes que tienen servicio). En este caso hemos encontrado que, en promedio, la recolección tiene una cobertura 91 % en los municipios estudiados. Los grandes municipios tienen, por lo general una cobertura mayor, cercana al 100%. Los municipios con menor población afrontan problemas financieros y de infraestructura, por lo que la cobertura del servicio de recolección es menor al 90%. En el estudio, 18 municipios reportan cobertura de 95 - 100 % de su población, estos municipios representan el 44% de la muestra.

Al separar los residuos se promueve el reciclaje de materiales recuperados de los residuos y se evita que terminen enterrados en vertederos. Al preguntar sobre actividades de separación de residuos,

los 41 municipios estudiados reciclan, en promedio, unas 40.1 toneladas semanales. Más de la mitad de los ayuntamientos (51%) reportan que separan residuos como parte de sus actividades en la recolección o bien en el sitio de disposición final.

El servicio de recolección que incorpora un programa de recolección con separación se lleva a cabo en 13 municipios (el 32% del total). Este tipo de programas se denominan de separación primaria porque separan los residuos en tres tipos: orgánicos y sanitarios que se recogen en ciertos días por semana, y los inorgánicos que se recogen en otros días. Aunque algunos municipios tienen programas especiales de recolección que se dedican a cierto tipo de materiales comunes (botellas de bebidas, papel, PET, cartón, o vidrio).

La gestión integral de residuos requiere del desarrollo de programas de participación social, en este caso 22 municipios (el 54%) reportaron al menos un programa que involucra a un sector de la población, la gran mayoría de estos programas se realiza en ambientes escolares con participación de estudiantes y maestros. Pocos programas municipales tienen un alcance masivo, lo más común son programas que involucran una decena de escuelas y colonias.

La recolección domiciliaria se lleva a cabo de manera constante, parece que los ayuntamientos tienen como objetivo una recolección diaria en todas sus rutas. Así lo muestran los datos, ya el promedio fue de 5 recolecciones domiciliarias por semana.

Respecto a los costos del manejo de residuos, el indicador es el costo por tonelada recolectada y dispuesta en el vertedero o relleno sanitario. Este costo asciende a \$ 365.23 pesos por tonelada. Los rangos de costo van de los \$ 150.00 a los \$618.69 pesos por tonelada, de acuerdo a los reportes del 39% de los ayuntamientos estudiados. Este costo debe reflejar la suma de salarios de empleados, el gasto en parque vehicular y su mantenimiento (incluido el combustible), la inversión y mantenimiento del sitio de disposición final. De manera curiosa, muchos funcionarios municipales contestaron que el costo es \$ 0.00 pesos, ya que consideran que no tiene costo alguno porque el Ayuntamiento realiza todos los gastos de manejo de residuos. La mayoría de ayuntamientos carecen de información sobre sus costos, el 61% de los ayuntamientos no pudo responder a la pregunta del costo de manejo de residuos sólidos por cada tonelada (recolección, tratamiento y disposición final).

Algunos estudiosos del tema del manejo de residuos habían considerado a partir del año 2000 aumentaría la presencia de empresas concesionarias en la recolección domiciliaria. Esto no ha sido el caso, en la región solamente 6 municipios urbanos han concesionado la recolección (15%).

Pedimos a los responsables de manejo de residuos que realizaran una autoevaluación del servicio de recolección domiciliaria. Tal evaluación fue, en promedio, de 84 puntos (en un sistema de 100), lo cual significa que la recolección es de buena calidad en términos generales. La Figura 1 nos muestra los resultados detallados de la evaluación. Aunque hay municipios que tienen un servicio que se puede clasificar como excelente, no todos pueden realizar las inversiones necesarias para brindar un servicio de calidad, de acuerdo a sus propios parámetros.

La Figura 1 nos muestra que el 20% de los casos se ubican en el rango de 60-79 puntos (regular), el 35% de los casos tienen una calificación de 80-89 puntos (bien) y, finalmente, un 45% de los casos reporta calificaciones de 90-100 puntos (muy bien y excelente) en su servicio de recolección.

Una buena estrategia de gestión de residuos enfatiza los programas y acciones que evitan que los residuos terminen enterrados en vertederos municipales. En el grupo de municipios estudiados, se separa un 8%, se entierra un 91.4% y un 0.6% se quema en traspatios o en el vertedero.

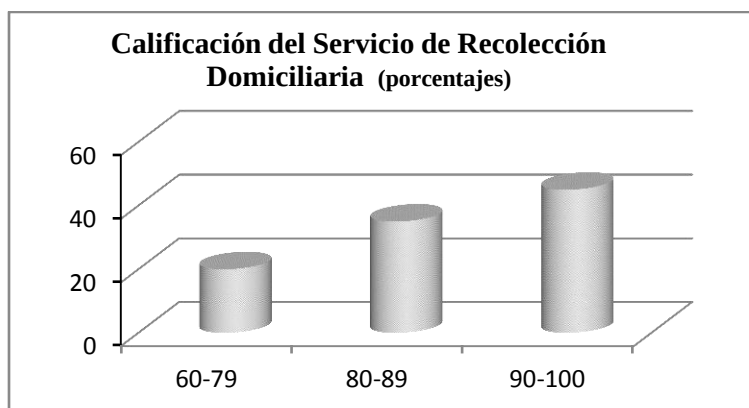


Figura 1. Auto evaluación del servicio de recolección de residuos municipales

Del total de municipios estudiados, el 37% no separa residuos para el reciclaje y no contabiliza monto alguno de residuos separados y comercializados. Mientras que el 63% si reporta actividades de separación. El rango de separación va desde el 0.2% al 40% de los residuos sólidos municipales. Los pepenadores están presentes y son parte importante de los procesos de separación de residuos sólidos para el reciclaje, 66% de los municipios reportan la presencia de pepenadores (aunque no todos los ayuntamientos contabilizan los residuos que ellos separan).

En algunas ciudades los habitantes tienen la costumbre de quemar la basura en su traspatio, esto ocasiona graves problemas de contaminación atmosférica. Por esta razón preguntamos ¿Se práctica la quema de residuos por parte de los habitantes de su municipio? Los resultados se presentan en la Tabla 1, a continuación.

Tabla 1. Persistencia de la práctica de quemar los residuos en traspatios

¿Quema de residuos?	Porcentaje
No hay quema	51
Si, poco	44
Diario + regularmente	4

Estas respuestas indican que la quema de residuos todavía es un problema muy serio en 4% de los municipios. Así mismo, es un problema recurrente en 44% de los municipios. Ambos tipos de quema contribuyen de manera importante a la contaminación atmosférica local y regional.

3. Análisis y discusión

Respecto a los resultados, se puede decir que la producción de residuos sólidos domiciliarios, que son el principal componente de los residuos municipales, ha permanecido estable durante la primera década del siglo XXI. El promedio de 1,020 gramos diarios por habitante, esta cifra está en el mismo rango de los 1,000 gramos que se estiman como promedio a nivel nacional en zonas urbanas. La situación económica de los últimos años no se ha desarrollado con un crecimiento fuerte, ha estado más bien dentro de un rango estable. De ahí que la producción de residuos también permanezca estable a nivel per cápita. En las ciudades los montos aumentan regularmente debido al crecimiento poblacional ya que hay una relación directa entre el número de habitantes y los montos totales de residuos en una ciudad.

Las acciones de los ayuntamientos están centradas en la recolección y el transporte para la disposición final, 9 de cada 10 kilogramos de residuos terminan por enterrarse en sitios que no cumplen cabalmente con la normatividad ambiental. La administración de la recolección de residuos se ha vuelto el eje central del manejo de residuos y esto se ha traducido en una mejor cobertura de la recolección en términos generales. La autoevaluación que arroja 84 puntos es un

reflejo adecuado de lo que sucede en las calles de los municipios urbanos, con una recolección buena en general. Aunque dentro de cada municipio hay zonas que reciben un servicio de primera y otras zonas que son relegadas en el servicio y lo reciben de manera intermitente e irregular.

Los programas de separación de residuos son importantes, 32% de los casos reporta que la recolección regular incorpora una separación primaria de los residuos: inorgánicos por un lado, orgánicos y sanitarios por otro lado. Así mismo, el 54% de los casos reporta al menos un programa de participación social, la mayoría de estos programas involucran colonias y escuelas. Aunque no son de alcance masivo, si tienen un impacto positivo por el impacto de la educación ambiental que se consolida.

Ambos tipos de programas (recolección separada y programas sociales) producen un monto bajo de residuos comparado con el total de residuos recolectados en un día, se podría pensar en un rango de 3% al 5% del total municipal. En la actualidad los montos principales de residuos separados son un resultado de las actividades de los pepenadores y otros agentes que laboran en la recolección de residuos. Es decir, son resultado de las labores de pepena, como actividad económica desarrollada por el sector informal.

El gran reto para los ayuntamientos de la región es desarrollar y consolidar programas y acciones que logren separar un 15% del total de sus residuos. Esto es una meta razonable para los próximos 5 años. En México, los niveles de separación de residuos municipales se encuentran actualmente en un 8% del total. Los ayuntamientos mexicanos están lejos de la propuesta de “Basura Cero” en la que se trabaja para que el 80% de los residuos sólidos municipales sean separados y aprovechados para el reciclaje antes del año 2020.

Es evidente el avance en el desarrollo de programas de separación de residuos a nivel de colonias y de escuelas. En el estado de Jalisco se ha promulgado una norma que obliga a la separación en la fuente, por parte de los usuarios. En este caso se han tenido variedad de problemas para concretar las acciones de separación y ligarlas a la comercialización eficiente. Por lo anterior, a pesar de que los ciudadanos hacen un esfuerzo separando residuos, solo una pequeña fracción de tales residuos terminan en centros de acopio para su comercialización, casi la totalidad terminan enterrados en los vertederos municipales.

4. Conclusiones

La producción de residuos en términos de gramos diarios por persona se ha mantenido relativamente estable en la última década, en el rango de 1 kilogramo por habitante. Aunque la composición material ha cambiado y han aumentado en un 5% la presencia de materiales de empaque y embalaje en productos de consumo doméstico.

El manejo de residuos se ha centrado en mantener un paso firme en las actividades de recolección de residuos tratando de mejorar la cobertura del servicio y brindando un servicio 5 días por semana. En muchos casos el ideal sería recolección diaria.

Los programas formales de separación de residuos para el reciclaje sufren los vaivenes de los tiempos políticos, de los presupuestos y de los cambios de administración por lo que no han logrado consolidarse como una acción prioritaria en el marco de la gestión de residuos. El sector informal ha ganado espacios y se encuentra en dos terceras partes de los sitios de disposición final de la región. Los pepenadores siguen aportando, con su trabajo, un monto significativo del material separado para comercializarlo con fines de reciclaje industrial.

Hay mucho trabajo por delante para poder decir que los municipios de la Región Centro Occidente han ingresado a una estrategia de gestión integral y sustentable de los residuos sólidos, hay muchos obstáculos por superar y retos para elevar la calidad de los procesos.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Desarrollo Social (INDESOL) por el apoyo financiero para desarrollar esta investigación.

Al Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro Occidente (FIDERCO) y al Observatorio Urbano de la Región Centro Occidente (OURCO) por su apoyo financiero para realizar el trabajo de campo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bernache Pérez, Gerardo *Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. 2006. Publicaciones de la Casa Chata. CIESAS. México, D.F. 551 páginas.
- [2] Bernache Pérez, Gerardo *Los ayuntamientos y el desarrollo sustentable. El desafío de la gestión de residuos sólidos*. Revista Vetas, año II, núm. 5, 67-88. El Colegio de San Luis. San Luis Potosí.
- [3] Bernache Pérez, Gerardo *El desarrollo sustentable y la gestión de residuos sólidos en los principales municipios urbanos de la Región Centro Occidente*. Proyecto de investigación. Financiado por INDESOL, Folio: CS-09-I-DS-095-10. Mayo de 2011. México, D.F.
- [4] Bernache Pérez, Gerardo *Estudio de la gestión de residuos municipales en zonas urbanas de la Región Centro Occidente. Tercera etapa de los trabajos del OURCO*. Proyecto de investigación. Financiado por el Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro Occidente. Convenio 075/10, agosto de 2010. Guadalajara, Jalisco.

Comparación de las prácticas de manejo de los celulares al final de su vida útil entre México y España

Samantha Eugenia Cruz Sotelo, Sara Ojeda Benitez, M^a. Dolores Bovea, Victoria Perez-Beliz,
Socorro Ureña-Valenzuela
samantha.cruz@uabc.edu.mx,

Resumen

Los avances tecnológicos, la expansión de mercado y la tendencia de los productos electrónicos de acortar los ciclos de vida generan grandes volúmenes de residuos electrónicos, representando en la actualidad el flujo de residuos de más rápido crecimiento en el mundo. Por lo que resulta fundamental obtener mayor conocimiento sobre las consecuencias ambientales y las diferentes opciones de manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. La adquisición y manejo de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos está asociado a los estilos de vida de los segmentos de la población, aunado a esto, está la diversidad de aparatos electrónicos que oferta el mercado, por lo que la generación de estos residuos requieren de un análisis a un mayor nivel de resolución que arroje más información sobre los diversos grupos de consumidores y tipos de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados, por lo cual, en este trabajo se presentan los resultados de una investigación que explica esta problemática. La investigación se realizó con jóvenes universitarios de México y España tomando como caso de estudio una universidad para cada país. Para ello se diseñó un instrumento con el propósito de obtener información referente al conocimiento ambiental, prácticas de consumo y manejo de los celulares. Los resultados obtenidos sustentan la necesidad de desarrollar evaluaciones e implementar posibles escenarios para el manejo sustentable de los celulares al final de su vida útil.

Palabras Clave: *basura tecnológica, conocimiento ambiental, estilo de vida*

1. Introducción

Los aparatos electrónicos en la actualidad son parte de nuestro estilo de vida, no hay lugar en casas, oficinas, escuelas, edificios, donde no encontremos algún dispositivo electrónico que facilite las actividades cotidianas, las comunicaciones y el entretenimiento. El desarrollo tecnológico ha favorecido la rápida sustitución de aparatos por nuevos modelos, aunado al desarrollo demográfico y por motivos de obsolescencia, terminación de ciclo de vida o daño a equipos, estos productos generan toneladas de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE's) alrededor del mundo. Por lo que resulta importante identificar las consecuencias que estos ocasionan y las diferentes opciones para su manejo sustentable.

A nivel mundial, los RAEE's constituyen una de las fracciones de residuos de más rápido crecimiento. Esta tendencia representa problemas ambientales y aumenta la necesidad de implementar acciones para su gestión [1] [2].

Uno de los aparatos electrónicos de mayor demanda por los consumidores de dispositivos electrónicos son los teléfonos celulares. En el mundo, el uso del celular ha crecido de manera exponencial hasta llegar a los 4.6 billones de usuarios en 2007 [3]. En México el mercado de la telefonía celular inició operaciones en 1987 y ha experimentado un constante crecimiento en la última década [4]. Cada vez más, los teléfonos celulares son reemplazados por nuevos modelos con

diseños más modernos y/o mayor número de funciones lo que provoca menores tiempos de vida útil.

La adquisición y manejo de los AEE's (Aparatos Eléctricos y Electrónicos) está asociado a los estilos de vida de la sociedad, aun mas a ciertos segmentos o grupos, tal es el caso de los universitarios que presentan marcadas características en el consumo de tipos específicos de AEE's. Ya que en su afán de seguir la moda o por el deseo de explorar lo novedoso, tecnologías actuales busca adquirir nuevos modelos y desechan sus aparatos sin importar aun su funcionalidad.

La telefonía móvil, hoy en día constituye un servicio indispensable, ha experimentado un enorme y constante aumento en la penetración desde la implementación del innovador sistema global para comunicaciones móviles (GSM) estándar desde 1990. Por lo que, la producción ambientalmente segura, funcionamiento y tratamiento de la tecnología de telefonía móvil al final de su vida útil, es muy importante en un mundo ante el creciente número de redes de telefonía móvil y los aparatos con componentes cada vez más complejo [5].

La gestión de los RAEE's es un tema relevante tanto en el área de generación de políticas como en la oportunidad de negocio. En el manejo de los desechos electrónicos, es importante incentivar el reciclaje, no sólo porque reduce el impacto ambiental a una menor tasa de contaminación debido a los tratamientos, sino también porque ahorra recursos limitados y la energía necesaria para su extracción a través de la recuperación de los materiales Sin embargo, antes de reciclar es importante considerar el reacondicionar y reusar ya que una gran cantidad de teléfonos celulares entran en etapa de desuso por razones de moda o estética sin considerar su funcionalidad [6].

Por lo anterior, en este trabajo se presentan los resultados de la investigación que explica la problemática de los hábitos de manejo de los celulares en dos comunidades universitarias de México y España tomando como caso de estudio una universidad para cada país. El teléfono celular es considerando objeto de estudio, ya que es el AEE que más se consume entre jóvenes universitarios [7]. Para ello se diseñó un instrumento con el propósito de obtener información referente al conocimiento ambiental, hábitos de consumo y prácticas de manejo de los teléfonos móviles.

2. Metodología

La encuesta fue aplicada en dos comunidades universitarias, una española y la otra mexicana, para ello se calcularon muestras representativas para cada universidad. La universidad española seleccionada fue la UJI (Universidad Jaime I), y la mexicana fue el campus Mexicali de la UABC (Universidad Autónoma de Baja California). Posteriormente se aplicó la encuesta en diversas áreas de las universidades (Cafeterías de las diferentes facultades, pasillos y oficinas).

En España se cuenta con una población de 13,089 estudiantes. En México la población en el periodo 2010-2 fue de 19,151 estudiantes. Para el cálculo de la muestra representativa se consideró un nivel de confiabilidad del 90% y utilizando la ecuación para la obtención de la muestra representativa determinamos que el número de encuestas a aplicar en la UJI es de 266 y 267 en la UABC.

La encuesta fue diseñada para obtener datos referentes a los hábitos de compra y uso de los teléfonos celulares; ésta se organizó en tres secciones: 1) perfil del usuario, 2) consumo y manejo de los teléfonos celulares y 3) conocimiento ambiental del usuario de telefonía celular. En la primera sección se incluyen datos del perfil del usuario como son: sexo y edad. El apartado de consumo y manejo se diseñó para conocer las prácticas manejo del usuario de su celular actual y los anteriores que ha utilizado: antigüedad, marca, criterios de compra y que hace con los que ya no utiliza, si ha reparado o a utilizado celulares de segunda mano. Finalmente, la sección de conocimiento ambiental se incluyó para conocer la visión, el grado de conocimiento, interés y disposición del

usuario con relación a la aplicación de medidas sustentables en el manejo de estos residuos tales como la posibilidad de aumentar la vida útil del celular, el conocimiento sobre el manejo especial que requiere este residuo y sobre quiénes son los responsables de estos residuos, si conoce las practicas actuales en el manejo y el tratamiento que debe dársele al terminar su vida útil.

La variable conocimiento ambiental (CA) fue evaluada de forma distinta, en ambos países, ya que en México son pocas las medidas e iniciativas que se han adoptado en el manejo de los celulares al final de su vida útil; por lo contrario, España tiene camino recorrido en cuanto a estrategias y medidas para el acopio y tratamiento de los RAEE's. La tabla 2 presenta los ítems considerados en la evaluación del nivel de conocimiento ambiental (NCA) en México. Cada ítem tiene ponderación 1 ó 0. Evaluados los 12 ítems se establecieron escalas de 0 a 12 y de esta forma determinó el nivel de NCA. Se define de 12 a 8 como NCA-ALTO, de 7 a 4 como NCA-MEDIO y finalmente de 3 a 0 como NCA-BAJO. Para el caso de la universidad Española se consideraron 8 ítems, y una vez evaluados se establecieron escalas de 8 a 6 para NCA-ALTO, de 5 a 3 para NCA-MEDIO y finalmente de 3 a 0 para NCA-BAJO.

3. Resultados

Los resultados muestran que de los estudiantes encuestados en la UJI y en la UABC el 64% y el 51% son mujeres respectivamente. En la UJI, el 37% de los estudiantes encuestados son menores de 19 años y el 46 % están entre 20 y 24 años. Mientras que en la población universitaria encuestada en la UABC el 44% corresponde a estudiantes menores de 19 años y 49% de entre 20 y 24 años. Se encontró que las prácticas más comunes de disponer del celular en desuso son almacenarlo o regalarlo. El 52% y 25 % lo almacena en España y México respectivamente, el 19 % los regala en la UJI y el 33% en la UABC. La figura 1 muestra las principales formas en que los universitarios se deshacen de sus celulares en desuso.

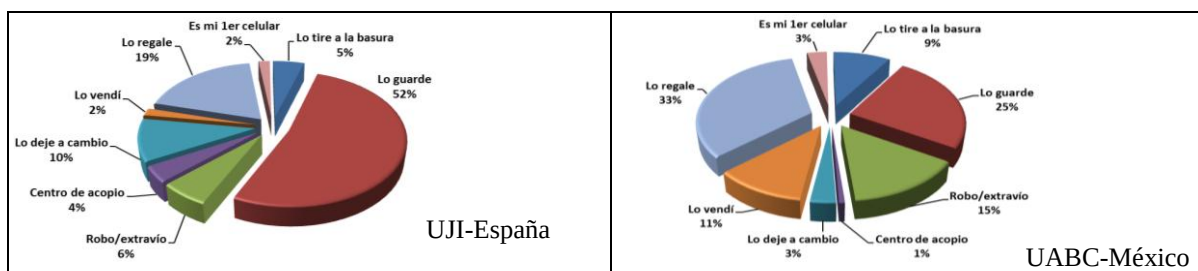


Figura 1. Prácticas en el manejo del celular en desuso

Entre el 32 y 39% de los universitarios en ambas universidades coinciden en que el tiempo que le dan uso al celular es menor a seis meses. El 77% de los universitarios en España y el 80% en México dicen que el tiempo de vida útil del celular no es mayor a 18 meses tal como lo muestra la figura 2.

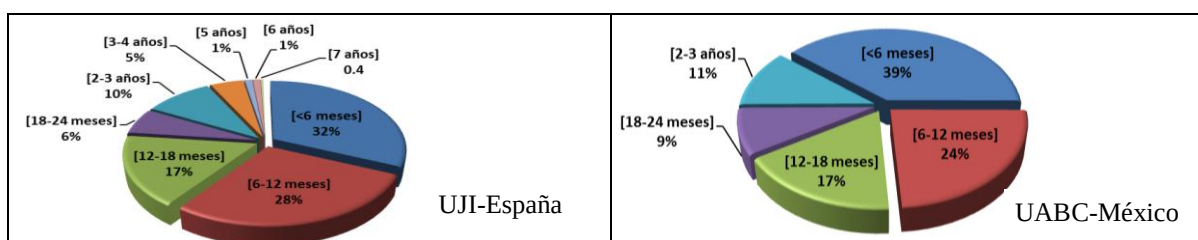


Figura 2. Tiempo de vida útil del celular

En la UJI se reportaron 14 diferentes marcas de celulares y 11 en la UABC, de estas las más adquiridas son Nokia (35.6% y 22.8%), Samsung (23.7% y 21.8%) y Ericsson (12.2% y 17.9%) en España y México respectivamente.

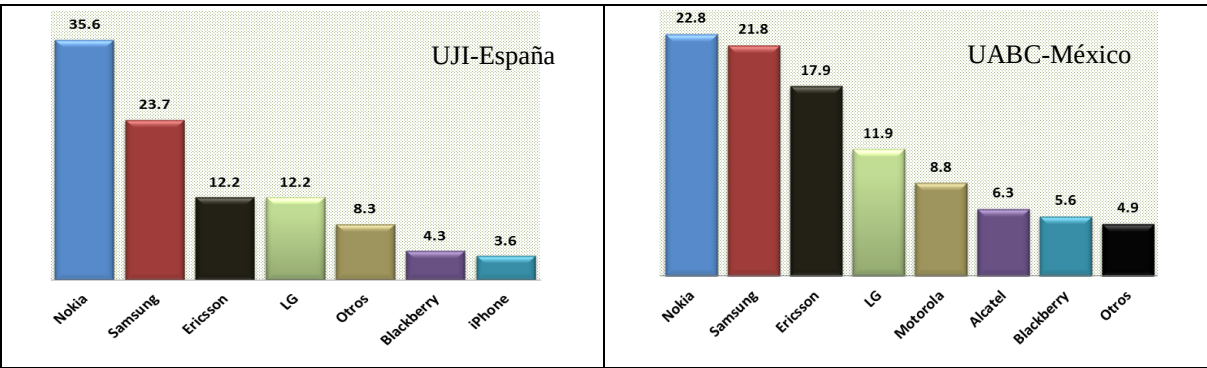


Figura 3. Marcas de celulares que más consumen los universitarios

La figura 4 muestra los factores que determinan el incremento en el volumen de teléfonos celulares en desuso. Se encontró que la pérdida de funcionalidad es el principal motivador del cambio.

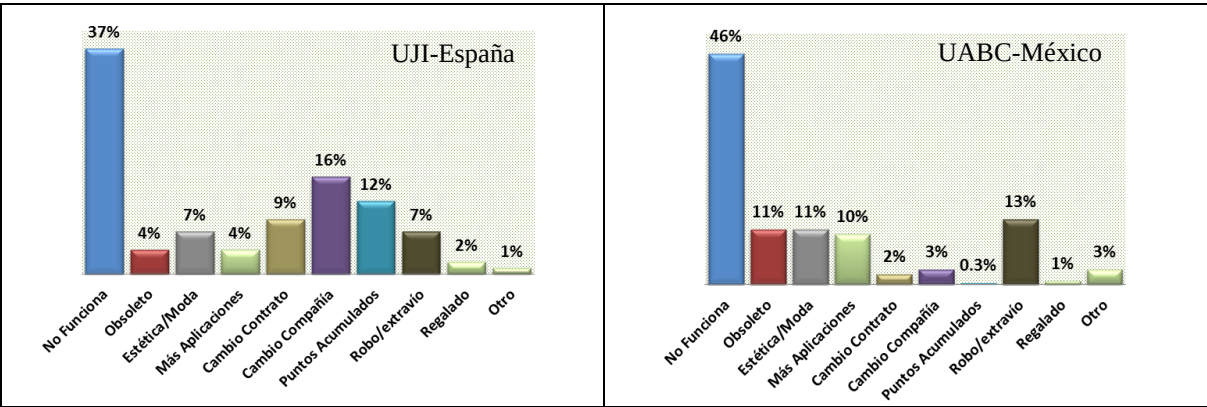


Figura 4. Principales motivadores de cambio del celular entre los universitarios

En la figura 5, se observa que en ambas universidades que los criterios de mayor peso que determinan la elección de un nuevo celular son el precio y las aplicaciones.

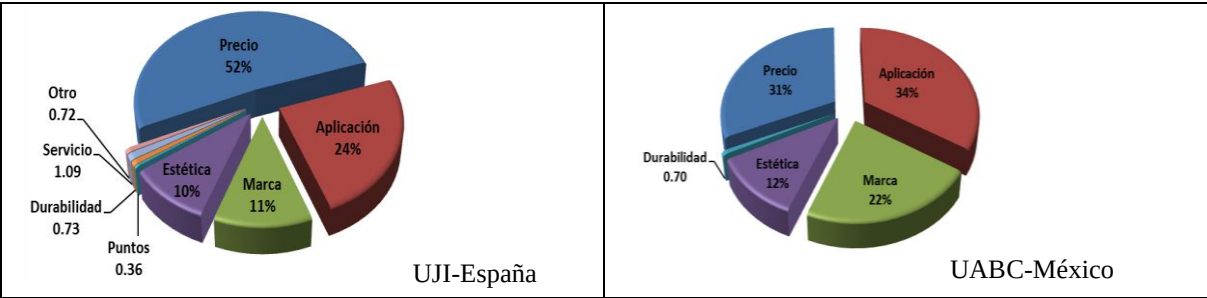


Figura 5. Criterios de compra de un nuevo celular

El 27% de los universitarios en España han reparado en alguna ocasión sus celulares, y el 31% en México. Además, el 52% en la UJI y 47% de la UABC han utilizado equipos de segunda mano comprados o regalados.

Referente al Conocimiento ambiental del usuario de telefonía celular, en la tabla 1 se muestra que el NCA-UJI (67.5%) y en la NCA-UABC (76.5%) es medio. Sin embargo un porcentaje muy bajo de los universitarios presentó NCA-ALTO, lo que significa que una pequeña cantidad de la población conoce la problemática que los celulares provocan al convertirse en residuo, también conocen empresas responsables encargadas de dar tratamiento y realiza practicas ambientalmente positivas al deshacerse de los celulares en desuso.

Tabla 1. Nivel de Conocimiento

Nivel	NCA-UJI	NCA-UABC
ALTO	4.6%	9.8
MEDIO	67.5%	76.5
BAJO	27.9%	13.7

4. Conclusiones

Tomando en cuenta que en España existe legislación efectiva referente al manejo/tratamiento de los RAEE's y cuenta con empresas bien establecidas y reglamentadas, a diferencia que en México aún no contamos con leyes, mercados ni difusión suficientes en materia de los RAEE's se llevó a cabo esta investigación en la que se observó cómo los hábitos y prácticas en el uso y consumo de teléfonos celulares es similar en grupos definidos de la sociedad, tal es el caso de los estudiantes universitarios.

Se observa que almacenar los celulares en desuso es la práctica más común y al parecer no representa problemas ambientales; sin embargo, este dispositivo pasa largo tiempo guardado y cuando el usuario se percata de su existencia ya el mercado nos ha invadido y superado con modelos novedosos de alta tecnología, lo que lleva a ese antiguo celular a convertirse en un aparato obsoleto que ya no satisface las necesidades del usuario y busca la forma más cómoda de deshacernos de él, llegando directamente al flujo de la basura doméstica. A pesar de que la ley establece para este tipo de residuos que son de manejo especial, que se deben implementar planes de manejo considerando su adecuada recolección y tratamiento, en México para los RAEE's del flujo de los residuos sólidos urbanos aún no existe legislación aplicable. En cambio en España existen Sistemas de Manejo para los RAEE's, incluyendo los de la corriente de residuos domiciliarios.

A través de esta investigación observamos que la mayor proporción de estudiantes universitarios se deshacen de sus teléfonos celulares por que dejan de funcionar, sin embargo más del 50% esta segmentado en otros motivos distintos.

A pesar de que el mercado de telefonía móvil oferta una gran variedad de marcas se observa que las tres marcas preferidas por los universitarios son Nokia, Samsung y Ericsson. Además de acuerdo a las prácticas de llevar celular al desuso podemos resumir para el caso de la UJI que el 14% lleva a centros de acopio o deja a cambio por modelos nuevos de tal forma que se puede asumir que se le dará buen manejo y en el caso de no funcionar se dispondrán de forma adecuada. Además, el 27% es destinado al reúso. Para el caso de la UABC solo el 4% se lleva a lugares donde se les dará manejo adecuado (puntos de venta, centros de acopio, etc.) y el 59% se desvía al reúso. Aproximadamente el 30% de los estudiantes universitarios cambian su celular en periodos menores de seis meses y más del 75% coincide en que el tiempo de vida útil no es mayor a 18 meses.

Por lo que los resultados obtenidos sustentan la necesidad de desarrollar evaluaciones e implementar posibles escenarios para el manejo sustentable de los celulares al final de su vida útil. Una gestión eficaz y eficiente en costo y en impacto ambiental de los RAEE's es una tarea compleja, y en el diseño de un sistema integral de gestión es importante considerar características de los diversos factores y actores que intervienen en todo el ciclo de vida del producto. Por lo anterior, es necesario llevar a cabo la integración de varios aspectos ambientales, económicos y

sociales en la obtención de indicadores que sustenten la importancia y necesidad de implementar acciones acorde a las condiciones de la sociedad que se trate. Además, en el análisis de datos es recomendable la utilización de herramientas que permitan relacionar y definir los niveles de las variables estudiadas como son los perfiles de usuarios, nivel de conocimiento ambiental y los patrones de consumo y manejo de los celulares al final de su vida útil.

Referencias Bibliográficas

- [1] Mohabuth Nusruth y Miles Nicholas, “The recovery of recyclable materials from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) by using vertical vibration separation”, Resources, Conservation and Recycling 45 pp. 60–69, 2005.
- [2] Valentina Elena TARTIU, The management of waste from electrical and electronic equipment (WEEE) in the European Union. Ph.D. The Ninth International Conference: Investments and Economic Recovery. The Bucharest Academy of Economic Studies, Romania, 2009.
- [3] International Telecommunication Union (ITU) 2009. New ITU ICT Development index compares 154 countries Northern Europe tops ICT developments.
- [4] Mariscal Judih and Rivera Eugenio. 2007. Regulación y competencia en las telecomunicaciones mexicanas. Series: Estudios y Perspectivas, No. 83. United Nations, Economic Commission for Latin American and the Caribbean. México.
- [5] Scharnhorst W. et al. “The end of life treatment of second generation mobile phone networks: Strategies to reduce the environmental impact”. Environmental Impact Assessment Review Vol 25, Issue 5, July 2005, pp. 540-566. Environmental and Social Impacts of E-Waste Recycling.
- [6] Cruz-Sotelo, Ojeda-Benitez, Pérez-Beliz, Bovea. “Environmental implication of extending the lifespan of mobile phones. A comparison of different lifestyles” 2011. SETAC Europe 17th LCA Case Studies Symposium, Sustainable lifestyles, Budapest, Hungary. lcabudapest.setac.eu
- [7] Cruz S. 2010. UABC “Los residuos domésticos eléctrico-electrónicos: Diagnóstico de generación en la ciudad de Mexicali, B.C.” Tesis maestría.

Comparación de métodos de optimización de rutas en la recogida de residuos sólidos urbanos aplicado a Castellón de la Plana

Mar Carlos Alberola, Antonio Gallardo Izquierdo, Francisco Colomer Mendoza

mcarlos@emc.uji.es

Resumen

La planificación de las tareas es una herramienta indispensable para el correcto funcionamiento de cualquier actividad industrial. En la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es fundamental realizar una buena planificación de la recogida de los residuos domiciliarios. Con la aparición de la recogida selectiva, dicha planificación se complica ya que aumentan el número de variables a tener en cuenta. En esta modalidad de recogida, imprescindible para fomentar la reutilización y reciclaje de los residuos, aumenta el número de puntos de recogida ya que aumenta el número de contenedores a nivel de acera. Con el aumento del número de puntos a cubrir y el aumento de la flota que hay que destinar a esta tarea, aumenta también evidentemente el coste económico y el ambiental. Con la finalidad de reducir ambos tipos de costes es necesario revisar las herramientas disponibles para definir las mejores rutas en un sector determinado de una población. Actualmente se utilizan los sistemas de información geográfica como herramienta básica para llevar a cabo tal fin. En este documento se compararán los resultados obtenidos con esta técnica con los de otra herramienta que también ha dado resultados positivos en este sentido como la teoría de grafos. La comparación se aplicará a un caso real, la recogida en un sector de la ciudad de Castellón (España).

Palabras clave: GIS, grafos, residuos, rutas

1. Introducción

La recogida de RSU de un municipio es un problema de logística al cual se deben enfrentar a diario las empresas encargadas de la gestión de residuos así como las administraciones competentes en la materia. Una de las herramientas más utilizadas hasta la fecha para realizar la programación de estas tareas son los sistemas de información geográfica (GIS). Otras técnicas de optimización que se han aplicado a lo largo del tiempo han demostrado también su eficacia en el análisis de rutas, es el caso de la teoría de grafos.

La teoría de grafos es una herramienta ampliamente utilizada hoy en día por multitud de empresas consultoras. Se ha utilizado para resolver situaciones como la limpieza de calles, el reparto de correo o la recolección de basura. Los avances tecnológicos en computación y en técnicas de optimización han contribuido al desarrollo de nuevo software que facilita la aplicación de la teoría de grafos a la resolución de problemas de rutas.

La recogida de RSU de un municipio aparece en la bibliografía de la teoría de grafos como un ejemplo típico en el cual dada una serie de arcos (calles) y de vértices que representan las intersecciones de varias calles hay que encontrar el camino más corto para pasar por todos los contenedores de un sector de un municipio.

2. Metodología

Cuando una determinada empresa de recogida de basuras o un municipio se plantean abordar la recogida diaria de los residuos sólidos urbanos es importante analizar tanto la estructura del municipio en cuestión como la disponibilidad de recursos. El caso de estudio se ha aplicado a Castellón de la Plana, municipio de unos 180.000 habitantes. El primer paso ha sido dividir el municipio en sectores. El número de sectores dependerá fundamentalmente del número de contenedores instalados para dar un buen servicio a la población. Los sectores se organizan teniendo en cuenta los accesos principales a la ciudad, las vías rápidas que la atraviesan, las posibles circunvalaciones etc. El sector de estudio se denomina Peri-18 y está situado en el sur-este de la ciudad de Castellón de la Plana. Se trata de un sector residencial de calles anchas que cuenta con una población de unos 17.500 habitantes (Gallardo, 2000). El sector de trabajo estudiado dispone de 135 puntos de recogida.

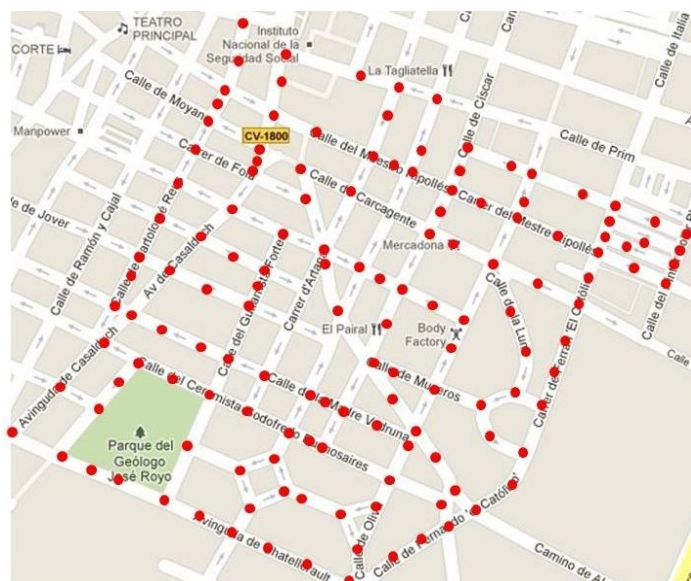


Figura 1. Mapa del sector de estudio con contenedores

El cálculo de la ruta óptima se ha obtenido en base a dos técnicas ARCVIEW, software que utiliza los sistemas de información geográfica (GIS) y el MCF, programa basado en la teoría de grafos cuya finalidad es obtener el camino más corto que pase por todos los puntos del grafo. Ambos programas necesitan adecuar los datos de entrada lo cual significa que se debe realizar un proceso de depuración de la red que conforman los diferentes elementos de un sector determinado. Este trabajo es especialmente laborioso y es fundamental para obtener unos datos completamente fiables.

2.1 Procedimiento para el análisis de datos utilizando ARCVIEW

A partir de la cartografía digital facilitada por el ayuntamiento del municipio se procede a corregir errores en la misma y a simplificarla para obtener ficheros más pequeños. El proceso de depuración consiste básicamente en eliminar información no necesaria para el caso de estudio. Con la cartografía depurada se traza la red formada por líneas que representan a las calles y nudos que se corresponden con los nudos de las calles. Una vez trazadas las calles se concatenan para crear una red mallada. Seguidamente se introducen los datos de cada calle, nombre y sentido de circulación. Finalmente se debe comprobar que todas las calles estén bien concatenadas y editadas. Se deben definir también las calles no idóneas o calles que por cualquier motivo sean inaccesibles para el camión de recogida y por último verificar la red [3].

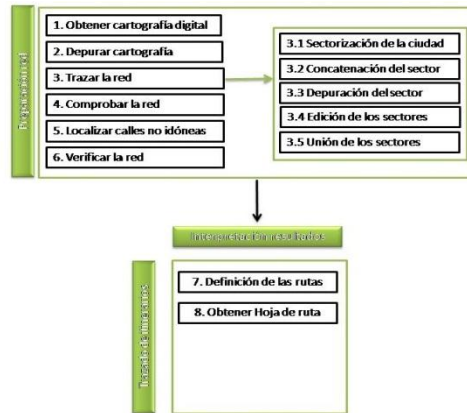


Figura 2. Proceso de cálculo utilizando Arc View

2.2 Procedimiento para el análisis de datos utilizando MCF

La teoría de grafos se aplica desde hace más de dos siglos a resolver gran cantidad de situaciones relacionadas con la optimización de rutas. De entre los diferentes problemas que se pueden abordar con esta teoría se encuentra el Problema del Cartero Chino (The Chinese Postman Problem, CPP). El problema del cartero chino no dirigido consiste en encontrar un camino de cartero de mínimo coste de un grafo conectado. En un problema de cartero dirigido, cada vértice debe tener tantas salidas posibles como entradas tiene. Como el grafo original no tiene por qué satisfacer esta condición, se deberán añadir copias de ciertos arcos para transformar el grafo. [1]

El caso de estudio equivale a un grafo fuertemente conexo, lo cual indica que siempre se podrá llegar desde un vértice a cualquier otro vértice del grafo. Cada arco tendrá asociado un coste, que en el caso de estudio hará referencia a la longitud en metros de cada calle o tramo de calle.

El programa MCF es una implementación de un algoritmo primal dual simplex que ha sido testeado con problemas del mundo real. Este programa se ha usado comercialmente para resolver problemas de tráfico público, es el caso de Berlín [4].

La resolución del problema de encontrar el camino más corto que debería seguir el camión de recogida de basura en un determinado sector se ha realizado siguiendo las etapas mostradas en la figura 3.

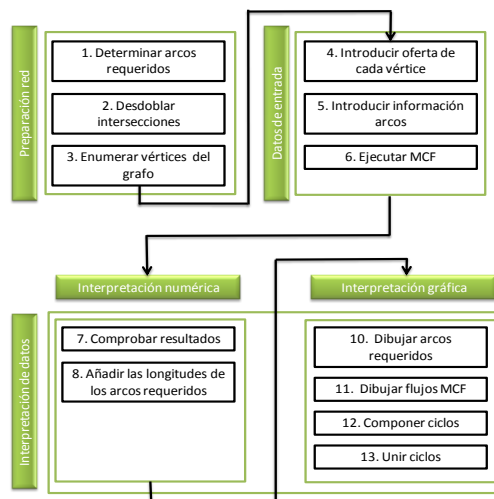


Figura 3 Proceso de cálculo utilizando la teoría de grafos

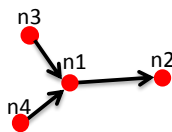
148

En segundo lugar hay que determinar cuáles son los arcos requeridos y los arcos no requeridos. Se entiende por arco requerido aquella calle por la que el camión deberá pasar obligatoriamente porque contiene uno o varios contenedores además de los vértices que previamente se han definido.

A map of a street network in Madrid, Spain. The map shows several streets: 'Calle de Oña', 'Calle de San Mateo', 'Calle de San Juan', and 'Calle de San Pedro'. A green oval highlights a specific area on 'Calle de San Juan', labeled 'Arco requerido' (required arch). Red dots are placed at various intersections and points along the streets.

En los arcos no requeridos, los vértices se deberán transformar en arcos ficticios, es decir arcos de longitud igual a cero para indicar que se debe pasar por estos contenedores sin que esto implique un aumento de coste. Por tanto, cada uno de estos puntos se desdoblará en dos vértices. El programa necesita dos tipos de datos de entrada:

- Definición de arcos: Para definir un arco habrá que indicar su vértice de entrada, el de salida y longitud del mismo. Hay que introducir todos los arcos pertenecientes al grafo, tanto los requeridos como los no requeridos.
- Oferta de cada vértice: Se debe definir la oferta de cada vértice perteneciente a un arco requerido como el número de arcos que entran en un vértice menos el número de arcos que salen del mismo vértice. En la figura 5 se muestra un ejemplo de unión de arcos. Suponiendo que el arco n_1 - n_2 sea un arco requerido, la oferta del vértice n_1 será igual a 1. También se deberá calcular la oferta de los vértices pertenecientes a arcos ficticios. La suma de las ofertas de todos los nodos deberá ser igual a cero.



2.4 Interpretación de resultados obtenidos con MCF

El algoritmo hace que el grafo sea simétrico, es decir, que en un vértice el número de arcos que entran sea igual al número de arcos que salen. Los valores óptimos representarán el número extra de veces que hay que pasar por un arco [2].

El resultado numérico se puede interpretar de modo gráfico. En el mapa del sector se debería representar en primer lugar los arcos requeridos y en segundo lugar los arcos que aparecen en el fichero solución del MCF. En la figura 6 se muestra un ejemplo de la composición de la ruta óptima. Los trazos rectos rojos son los arcos requeridos, en azul se han representado los arcos no requeridos y en rojo y forma curvilínea los arcos que el programa MCF dice que hay que añadir a los arcos requeridos para completar la ruta.

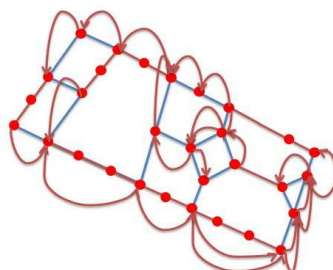


Figura 6. Composición de la ruta

Una vez dibujado el grafo solución se deben componer ciclos, de manera que empezando por cualquier punto del grafo se vaya trazando un recorrido que acabará finalmente en el mismo punto. Cuando siguiendo una determinada dirección se haya llegado al punto de inicio y no se hayan completado el total de los puntos del grafo, se seguirá la misma operación iniciando el recorrido en otro punto y así sucesivamente hasta completar el total de los puntos. Una vez se hayan completado todos los arcos (requeridos más los añadidos por el MCF) se deberán juntar todos los ciclos, uniéndolos por un punto común. La solución final estará compuesta por un solo ciclo que pasa por todos los puntos del sector.

La longitud final calculada con cada una de las técnicas presentadas es la que se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1. Longitud mínima para el sector PERI 18

Camino más corto ARC VIEW	14773,90 m
Camino más corto MCF	14448.29 m

3. Conclusiones

- Con ambas técnicas, ARC VIEW y Teoría de grafos se ha obtenido el camino más corto que cubre una serie de puntos, en este caso, la recogida de residuos sólidos urbanos en un mismo sector de una población y en ambos casos resulta ser aproximadamente de igual longitud.
- Aplicando la teoría de grafos se obtiene un grafo simétrico de manera que se puede empezar la ruta por cualquier punto del sistema. La ruta óptima resultante tendrá la misma longitud independientemente del punto de inicio elegido.
- Tanto una técnica como otra necesitan de una preparación inicial minuciosa de los datos de entrada al modelo.
- Con el ARC VIEW se puede obtener la red a partir de los datos de la cartografía digitalizada del municipio con lo que la entrada posterior de datos es más visual.
- En situaciones en las que no se disponga de una cartografía digitalizada, puede resultar más útil y sencillo el uso del MCF ya que simplemente necesita introducir los datos de entrada como si fueran vectores.

- El ARC VIEW es un programa muy potente ampliamente utilizado en diferentes ámbitos de la ingeniería, pero su adquisición y su mantenimiento requieren un coste importante.
- El MCF es una aplicación que se puede encontrar libre en la red, realmente es un algoritmo de resolución de un problema matemático que puede servir para solucionar problemas creando un software propio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bautista Valhondo J., Pereira Gude J. Una revisión de modelos para el diseño de itinerarios y su aplicabilidad a los problemas de Recogida de Residuos urbanos. II Conferencia de Ingeniería de Organización. Vigo, 2002.
- [2] Eiselt H.A., Laporte G. Arc Routing: Theory, Solutions and Applications. Chapter 1. A historical perspective on arc routing. Ed Moshe Dror. 2000.
- [3] Gallardo A. PhD. Metodología para el diseño de redes de recogida selectiva de RSU utilizando sistemas de información geográfica. Creación de datos aplicables a España. Universidad Politécnica de Valencia. 2000.
- [4] Löbel A. Optimal Vehicle Scheduling in Public Transit. PhD Thesis, Technische Universität Berlin, Noviembre 1997.

Derecho ambiental y remediación de sitios contaminados, hacia una integral instrumentación de su valorización

Mariano J. Beret Rodríguez y Carla D. Aceves Ávila

marianoberet@yahoo.com.mx

Resumen

Esta investigación analiza el marco legal, la política pública y la problemática jurídico administrativa de los pasivos ambientales por residuos peligrosos en México. Apunta diversas limitantes jurídicas prácticas que llevan tanto a las autoridades administrativas, como a diferentes actores económicos y sociales, a no poder optimizar sus funciones, recursos y motivaciones, pues en general la instrumentación de las remediaciones aún está basada en la disposición final, y no en la valorización. Identifica escuetamente las habilitaciones legales y de política pública vigentes para una más eficiente incorporación los principios, bases, definiciones y objetivos del régimen jurídico para el tratamiento y la valorización de los residuos peligrosos, y analiza cómo lo anterior se ha materializado en las licitaciones públicas con objeto de remediación del pasivo ambiental en el Municipio de Tultitlán, Estado de México, provocado por la fábrica de sales de cromo de Cromatos de México. Finalmente, propone una serie de reformas al marco jurídico vigente con el fin de mejorar y atender las oportunidades que el régimen y la planeación nacional actuales reconocen y proyectan.

Palabras clave: *gestión, incentivo, instrumento, pasivo, derecho*

1. Introducción a la cuestión desde la óptica jurídica y de la política pública mexicana vigentes

El legislador mexicano considera fundamentales para elevar la calidad de vida de la población, los principios y normas, bases, definiciones y objetivos relativos al control y la prevención de la contaminación ambiental. Lo anterior se ha instrumentado principalmente en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [1] (LGEEPA), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [2] (LGPGIR) y el Reglamento de ésta [3].

La promoción de la prevención de la generación y la valorización de los residuos así como su manejo integral, ha sido declarado primordial para México, por lo que se requieren medidas y procedimientos que reduzcan los costos de su administración, faciliten y hagan más efectivos, desde la perspectiva ambiental, tecnológica, económica y social. Dichas medidas necesitan de la aplicación de criterios como la reducción e incorporación de técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, la regulación su manejo y disposición final eficientes, y en caso de suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, la ejecución de las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por los instrumentos de planeación, ello en el sentido de promover el valor y aporte del suelo a la función social del mismo donde se encontraba, restringiendo al máximo su confinamiento, como señala Aceves [4].

La propia Norma Oficial Mexicana 147-SEMARNAT/SSA1-2004 [5] que establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio, señala que tanto la remediación como los residuos y lixiviados que puedan ser generados durante el

tratamiento del suelo contaminado deben manejarse conforme a la legislación vigente, por lo cual también ha de aplicarse lo señalado previamente.

La legislación ambiental mexicana considera que la disposición final de residuos ha de limitarse a aquellos cuya valorización o tratamiento no sea económicamente viable, tecnológicamente factible y ambientalmente adecuada. En modo alguno sataniza la disposición final, cuestión que compartimos, sino que la sitúa en un dilema de ponderación de beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social, según las necesidades y circunstancias de cada localidad o región, lo cual además se debe realizar cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Hemos de reconocer que la decisión a tomar en materia de remediación resulta sumamente compleja y requiere de un análisis particularizado para cada caso, mas no debemos descartar la posibilidad de tratamiento y valorización para su aprovechamiento como insumos en las actividades productivas; es más, nuestra legislación estima objeto de los programas gubernamentales de remediación el que se lleven a cabo las acciones necesarias para la recuperación y restablecimiento del sitio y, de ser posible, su incorporación a procesos productivos.

Por su parte, una gestión integral, transversal, eficaz y eficiente para la remediación de sitios contaminados es meta del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012 (PSMAyRN) [6] en consonancia con el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (PND) [7]. Asimismo, el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012 (PNPGIR) [8] tiene por objetivo la valorización material y energética, y la disposición final restringida y apropiada de los residuos como última opción, y para residuos que no puedan ser aprovechados. En el mismo tenor, el Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados (PNRSC) [9] para lograr una gestión integral y transversal que sea eficiente y eficaz, considera acciones para aumentar la eficacia de la gestión de los actores públicos involucrados, contar con un marco jurídico consolidado en el que se prevean todos los instrumentos necesarios para prevención, gestión, remediación y reutilización de sitios contaminados, para impulsar cambios legislativos en materia de remediación de sitios contaminados, su reutilización y la protección de suelos, así como para la modificación de reglamentos y normas de la gestión técnico administrativa. Concretamente el PNRSC, contempla que a fin de contar con un marco jurídico consolidado para la prevención, la gestión, la remediación y la reutilización de sitios contaminados, se debe realizar un proyecto de modificación de la LGPGIR y su Reglamento con nuevos instrumentos de prevención y de gestión diseñados para la remediación de sitios contaminados, así como las nuevas Normas Oficiales Mexicanas necesarias; también la elaboración de estudios acerca de tecnologías de remediación de suelos contaminados con metales pesados, aplicables bajo las condiciones económicas, políticas y sociales del país, o para determinar la viabilidad de tecnologías que privilegien la remediación de sitios contaminados.

2. Incorporación de los principios de gestión integral en las licitaciones públicas de remediación de pasivos ambientales

Las licitaciones públicas para la remediación de pasivos ambientales en donde no hay responsable de la contaminación (en abandono o cuyo propietario o poseedor del inmueble se desconozca), en las que el gobierno federal toma el control mediante posesión material del predio, declaratoria de utilidad pública y procedimiento de expropiación, están enfocadas actualmente al confinamiento de residuos o materiales peligrosos con un tratamiento primario, mismo que no elimina su peligrosidad, y que ocasiona que los residuos continúen siendo un factor potencial de contaminación.

No obstante, también para los casos en los que se conoce el responsable de la contaminación (o se aplica esta en base a su responsabilidad solidaria) sería oportuno que el legislador mexicano, y la

propia Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), implementaran las normas y procedimientos adecuados para atender las necesidades que aquí se vierten, al menos en cuanto a favorecer y otorgar incentivos para la investigación y desarrollo de procesos tecnológicos que prioricen el tratamiento y valorización de los mismos respecto de su confinamiento, permitiendo a su vez la reinversión en la remediación de los recursos obtenidos por la comercialización del insumo resultante; y en general, una aplicación más ajustada a los principios y posibilidades que ya habilita la legislación mexicana vigente en la materia, dejando a salvo el derecho que les asiste a los responsables para proponer los programas y propuestas de remediación que consideren, pero sin dejar de lado que dicha responsabilidad se sostiene en un derecho colectivo, y que la función social del suelo como recurso ambiental no se diluye simplemente con la asunción de aquella responsabilidad por medio de la disposición final.

En este sentido han de interpretarse, entre otros, los artículos 134 y 151 de la LGEEPA, los artículos 1º, 2º (al menos en sus fracciones III, V, VIII y XII), así como el artículo 7º fracción XXI de la LGPGIR, e incorporar a la gestión pública el contenido de los artículos 22 y 26 de la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público (LAASSP) [10], que se refieren a la necesidad de evaluación de tecnologías disponibles y a la investigación de mercado a efecto de asegurar al Estado las mejores condiciones disponibles con el fin de lograr la optimización y uso sustentable de los recursos, y la protección al medio ambiente, entre otros, por parte de los comités de adquisiciones, arrendamientos y servicios de las dependencias y entidades públicas.

Asimismo, se requiere de una atención coordinada por parte de las autoridades implicadas, entre las que se encuentran principalmente la SEMARNAT, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, la Secretaría de Salud, la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, entre otras.

El estudio de las licitaciones mencionadas resulta complejo, ya que los instrumentos que individualizan o concretan los casos, normalmente a través de bases de convocatoria, resultan difícilmente accesibles (previo pago, en los tiempos definidos), entre otras cuestiones por las dificultades que ocasiona una política de acceso a la información basada en la solicitud (pasiva), y no en el involucramiento de los actores potencialmente beneficiados, perjudicados, o en general interesados por el contenido de la información. Aunado a lo anterior, son muy escasas las empresas autorizadas para la confinación de materiales y residuos peligrosos en nuestro país [11] lo cual, además de resultar insuficiente, posiblemente frene una libre competencia indispensable para la generación de efectividad y la productividad de las empresas dedicadas al tratamiento, la remediación y confinación de materiales y residuos.

Habitualmente bajo el criterio de evitar riesgos por su abierta exposición, la autoridad justifica la inconveniencia de someter a los residuos ya tratados a un proceso adicional. Sin embargo este proceso adicional puede en ocasiones lograr la reincorporación de los materiales a otros procesos, sin mayor riesgo que el que implica confinarlos, e inclusive fomentar las buenas prácticas de compras gubernamentales sustentables, entre otras oportunidades de abrir la gestión pública a una más económica y efectiva valorización, cuando existan alternativas a la disposición final de los residuos peligrosos derivados de programas de remediación.

3. Breve acercamiento al caso *Cromatos de México*

En el caso analizado, por centrar sucintamente la problemática, y a decir del decreto expropiatorio en dicho predio se confinaron setenta y cinco mil toneladas de residuos altamente contaminados con cromo hexavalente. Se trata de un pasivo ambiental en el Municipio de Tultitlán, Estado de México provocado por fábrica de sales de cromo de Cromatos de México que operó en un predio de propiedad particular desde 1958 hasta que fue clausurada en 1978 por Servicios Coordinados de

Salud del Gobierno del Estado. Según datos oficiales (SEMARNAT 2010) [12] en total han sido retiradas 13,623 toneladas de residuos de demolición y suelos contaminados, con un costo total de 24.18 Mio (entendemos que SEMARNAT se refiere a millones de pesos), la demolición del confinamiento pequeño (Celda 1) y parte de la celda grande (Celda 2), y el retiro de 23,593 toneladas de residuos de demolición y suelos contaminados, con un costo total de 67.17 Mio. Sin embargo, en un muy reciente reportaje [13] la propia SEMARNAT ha referido el retiro de un total de 100,000 toneladas, con un costo total de unos 290 millones de pesos, mismo que llegará a unos 500 millones de pesos hasta convertirlo en un área verde.

Las propiedades químicas y la deficiencia en su compactado hicieron que la confinación *in situ* realizada en 1983 fracasara y el cromo aflorara a la superficie a causa de fisuras y hundimientos, dispersándose nuevamente al medio ambiente, lixiviándose a estratos profundos del subsuelo y provocando la contaminación de pozos de agua cercanos a la planta. Al respecto, se estima que aproximadamente cinco toneladas de cromo hexavalente son lixiviadas anualmente, y según varias convocatorias de licitación para su remediación, muestras de los núcleos de perforación confirman que parte del cromo se ha infiltrado hasta por lo menos treinta metros debajo del área de confinamiento.

En las diferentes fases de remediación del predio, las descripciones de objetivos y trabajos a ejecutar referidas en las licitaciones analizadas únicamente se refieren a transportar los productos contaminados de la demolición y de la excavación a un confinamiento controlado de residuos peligrosos autorizado, y ahí mismo proceder al tratamiento de los residuos peligrosos para reducir el cromo hexavalente a cromo trivalente, para después disponerlos en una celda de confinamiento controlado. Por lo general las edificaciones se demuelen, se excava hasta una profundidad variable en la zona de demolición para la extracción del material y el suelo que se transporta al confinamiento, y se rellena (entendemos que con tierra y suelo, similar al existente en la zona).

En ningún momento se contempla que los residuos puedan ser valorizados, o que el tratamiento pueda encaminarse a ello, es más, todas las bases de licitación a las que se ha podido tener acceso [14] señalan que en ningún caso se podrá disponer de los residuos tratados en otro sitio que no sea un confinamiento de residuos peligrosos autorizado (no necesariamente que los mismos no se puedan tratar en una instalación que no sea un confinamiento de residuos peligrosos autorizado). Todas las bases de licitación señalan que en todo momento se deberá cumplir con lo establecido en la LGEEPA y la LGPGIR, su Reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas en materia de residuos peligrosos que le apliquen (aún insuficientes), sin embargo como hemos destacado, podrían seguirse de mejor modo los principios y enunciados de aquellas.

4. Conclusiones y propuestas de mejora legislativa

El permitir que las leyes actuales promueven la remediación de materiales por un lado, pero las licitaciones públicas permanezcan orientadas al confinamiento con un tratamiento primario, por el otro, provoca una incongruencia de facto, ya que como hemos visto, confinar y remediar no comparten la misma esencia final.

Lo que se analiza y concluye en esta investigación está en la agenda política, legislativa y ejecutiva de México, pues la propia autoridad señala entre los retos y desafíos a solucionar respecto a la gestión de sitios contaminados en su suelo, el mejoramiento de procedimientos administrativos, el establecimiento de mejores canales de comunicación entre los partidos involucrados, el desarrollo de guías técnicas, y el desarrollo de una política pública eficiente respecto a la revitalización y reintegración de los sitios contaminados en áreas urbanas.

Las mismas pretensiones nos han movido a realizar esta investigación, que tratamos de cristalizar en las siguientes propuestas de mejora legislativa:

1. Adicionar el párrafo V del Artículo 134 de la LGEEPA, respecto del criterio de reutilización y revalorización del suelo remediado, y la limitación de su disposición final siguiendo los principios de la gestión ambiental.
2. Reformar y adicionar la fracción II del artículo 3º de la LGPGIR, para considerar de utilidad pública las actividades, además de las obras, destinadas a la remediación, ampliando sus supuestos a cuando la ley las habilite mediante una adecuada justificación y motivación.
3. Reformar y adicionar la fracción XXI del artículo 7º de la LGPGIR, para una mejor aplicación de los principios de la gestión de los residuos, ampliando la posibilidad de establecer instrumentos económicos para la remediación, sin necesidad de atender a causas o situaciones jurídicas particulares, con ciertas condiciones y garantías.
4. En el mismo sentido anterior, enfatizando en los entornos urbanos, y mediante los fondos creados a tal efecto, se adicionan dos párrafos al final del artículo 73 de la LGPGIR, para el fortalecimiento de la investigación, innovación y el desarrollo científico y tecnológico; así como para el diseño de alternativas para el tratamiento, reutilización y valorización de los pasivos ambientales.
5. Adicionar el artículo 115 de la LGPGIR para abrir posibilidades a la gestión económica y administrativa de los programas y procedimientos de remediación, a otros fondos que se gestionen, y a la eficiencia de las remediaciones autorizadas.
6. Adicionar el párrafo único del artículo 133 del Reglamento de la LGPGIR para incorporar la posibilidad de concertar mediante convenio las acciones y bases de la remediación, así como otras cuestiones propias de la naturaleza y objetivos del mismo.
7. Adicionar un párrafo final (cuarto), al artículo 152 del Reglamento de la LGPGIR para que en la formulación y ejecución de los programas de remediación tengan cabida los convenios de concertación con los responsables de la remediación y otros agentes, definiendo la participación y compromisos de las partes, así como los instrumentos económicos que procedan.
8. Reformar la fracción II del artículo 5º de la LGPGIR, para incorporar los materiales secundarios al concepto de aprovechamiento de los residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Diario Oficial de la Federación (DOF) del 28 de enero de 1988. con numerosas modificaciones, entre las que destaca por su calado la publicada en el DOF el 13 de diciembre de 1996 (que alcanzó a 161 artículos de los 194 originales, 60 adiciones y 20 derogaciones).
- [2] Diario Oficial de la Federación del 8 de octubre de 2003.
- [3] Diario Oficial de la Federación del 30 de noviembre de 2006
- [4] ACEVES AVILA, Carla D.; *Bases fundamentales de derecho ambiental mexicano*, Ed. Porrúa, 2003.
- [5] Diario Oficial de la Federación del 2 de marzo de 2007.
- [6] Diario Oficial de la Federación del 21 de enero de 2008.
- [7] Diario Oficial de la Federación del 31 de mayo de 2007.
- [8] Diario Oficial de la Federación del 2 de octubre de 2009.
- [9] El cual a la fecha no ha sido publicado en el DOF. Referencias basadas en el último borrador disponible <http://siscop.ine.gob.mx/psc.html> , de Octubre de 2008.
- [10] Diario Oficial de la Federación del 4 de enero de 2000.
- [11] SEMARNAT 2007; *Sitios de Disposición Final y Manejo Integral de residuos peligrosos en México*, Septiembre de 2007. Consultado el 7 de Noviembre de 2008 en

<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/residuos peligrosos/disposicion/disposición.pdf>

[12] SEMARNAT 2010; *La Remediación y Revitalización de Sitios Contaminados como contribución al desarrollo sustentable de las ciudades mexicanas*. DGGIMAR/SEMARNAT. Junio 2010. Presentación consultada el 17 de Noviembre de 2010 en www.remas.org.mx/ReunionArranque/RuizPresentacion.pdf

[13] Video reportaje transmitido por Cadena 3, refiere a los trabajos realizados en la antigua planta Cromatos de México <http://bit.ly/mnJtZI> Consultado el 2 de junio de 2011.

[14] Números de licitación 00016057-009-07 (DOF 15/02/2007), 00016057-032-07 y 00016057-033-07 (DOF 18/09/2007), 00016057-005-09 y 00016057-006-09 (DOF 10/03/2009), 00016057-003-10 y 00016057-004-10 (DOF 03/06/2010), y prebases de convocatorias disponibles.

Directrices para la gestión de residuos sólidos urbanos en el área oeste de Godoy Cruz

Luis Magistocchi, Patricia Infante, Luis Guisasola, Mario Salomón, Humberto Mingorance

ingamb@uncu.edu.ar

Resumen

Se ha realizado el estudio de la generación y recolección de residuos sólidos urbanos en un sector representativo del área metropolitana de Mendoza, ubicada en el departamento de Godoy Cruz. Se incluye el análisis de valorización y separación de los residuos, abarcando acciones de clasificación y separación, como también la recolección selectiva. En el análisis comparativo y, mediante entrevistas con los actores, se han considerado, dos modalidades urbanas opuestas donde las necesidades se diferencian notablemente. En el primer caso, tomando un área de asentamientos marginales, se ha analizado un plan piloto de residuos sólidos urbanos, teniendo como base la educación como herramienta fundamental que promueve, de manera sistemática, la separación de residuos en origen, la recolección, el acondicionamiento por fracciones y su posterior venta en un lugar especialmente acondicionado, como medio válido de empleo. El segundo caso trata la propuesta de un complejo urbano, de dos etapas. La primera tiende concientiza a sus moradores de efectuar una primera separación de residuos por categorías en origen. Esto posibilitará la reducción del volumen de recolección de lo orgánico húmedo y el material separado será entregado a los recicladores del primer caso. La segunda etapa, ampliará la selección a fin que el residuo recolectado se reduzca predominantemente a la fracción orgánica. Estas propuestas de gestión pueden complementarse obteniendo un logro ambiental abarcando la inclusión social en torno a que la separación selectiva de un sector de la sociedad, se convierta en el insumo para el empleo de otro sector de menores recursos.

Palabras Clave: *generación de residuos, separación, valorización*

1. Introducción

Según estudios realizados por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de Mendoza, la calidad de prestación del servicio y el manejo de RSU en el territorio provincial, se puede calificar como *aceptable* considerando la recolección y transporte, y *deficiente* si se incluye en la valoración el tratamiento y la disposición final [1]. A su vez, un análisis comparativo de las distintas situaciones departamentales, muestra notorias variaciones en la etapa de recolección, debido al equipamiento utilizado, la frecuencia y los diferentes porcentajes de cobertura. Ante tal análisis, en las localidades de mayor envergadura es donde se presta mejor el servicio. Respecto al tratamiento, está generalizado el enterramiento no controlado o la disposición a cielo abierto. A partir de la disposición inicial, y durante la etapa de transporte, aparece la actividad de cirujeo o recolección informal de residuos, que tiene consecuencias de gran significación ambiental. A modo informativo, en la provincia de Mendoza se arrojan aproximadamente 1.100 Ton/día de residuos [1].

Respecto a la gestión de residuos peligrosos, se están implementando acciones para el tratamiento o la disposición final, especialmente el producido por pequeños generadores por considerarse antieconómico el tratamiento de pequeñas cantidades. Esta situación aumenta el riesgo de disposición de estos residuos en sitios no preparados para contenerlos generando contaminación del suelo y agua e indirectamente afectando a la población expuesta. Actualmente, el Gobierno Provincial avanza en la implementación del Plan Provincial de Residuos, que consiste en la regionalización a partir de la integración de distintas áreas servidas en función de su centralización

en una única planta de tratamiento o disposición final. Por otro lado, se están tratando los basurales clandestinos para proceder a su remediación [2].

Pese a los consensos políticos y técnicos sobre la necesidad de políticas articuladas para el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) en su conjunto, no se ha logrado acordar estrategias para resolver problemas metropolitanos acuciantes: tránsito, transporte, zonificación de los usos del suelo, RSU y seguridad, entre otros. El desencuentro alcanza, en algunos casos, la articulación entre los niveles políticos y técnicos [1]. En este contexto se ha realizado el estudio de la generación y recolección de RSU en un área representativa del AMM como es el oeste de Godoy Cruz, ubicado en el sector de piedemonte. Se ha efectuado análisis de valorización y separación de los residuos, incluyendo tareas de clasificación y recogida selectiva. Para la ejecución del trabajo se han considerado diversos modelos de asentamientos residenciales y entornos ambientales con alta fragilidad ambiental. Los resultados logrados contribuirán a la puesta en práctica de una propuesta de gestión de los RSU, que incluye la valoración adecuada del volumen generado a nivel comunal considerando experiencias diferentes pero complementarias.

2. Metodología

2.1 Situación Oeste Departamento de Godoy Cruz

La significativa desarticulación territorial que se produce en el piedemonte del AMM, también se observa en la competitividad de las tierras generada por grupos sociales contrastantes como es en barrios muy austeros o villas marginales, frente a los emprendimientos con altas inversiones como los barrios privados o countries y en consecuencia desencadena un proceso complejo y grave como es la segregación socio espacial que a su vez, favorece a la inseguridad, propia de la zona. La inseguridad social, la infraestructura deficitaria, la falta de equipamiento básico, la contaminación ambiental, el acelerado proceso de degradación del soporte físico, la falta de articulación e integración vial. Todos estos aspectos hacen que la calidad de vida de la población del lugar sea deficitaria sobre todo para los sectores más bajos que viven en una marginalidad social y económica [3]. La proximidad de dicha aglomeración le otorga acciones contradictorias, ya que le genera un beneficio por la conectividad con el AMM, a la que somete a una mayor presión de usos. Puede advertirse también un acelerado proceso de deterioro provocado por la extracción irracional de áridos que, al ser abandonados, se transforman en depósitos a cielo abierto de RSU y de escombros potenciando el deterioro ambiental por el mal uso de los recursos (suelo, agua, vegetación), degradación del paisaje y alteración de la escorrentía [4]. La población que se encuentra en esta zona vive en condiciones precarias y se integra al circuito de economía informal, vinculada a la recolección y procesamiento de residuos. En dicha zona predominan los basurales a cielo abierto donde se realiza la quema de los mismos para selección de residuos metálicos produciendo contaminación del suelo y del aire por dispersión. A partir de estos vaciaderos de residuos orgánicos se practica la cría de cerdos y de otros animales como estrategia de supervivencia con todos los riesgos de salubridad y seguridad que implica.

El área de estudio comprende barrios y asentamientos con modos residenciales diversos desde una mayor a menor formalidad y acceso a servicios (ver Figura 1).

La composición actual estimada de residuos tratados por el Municipio de Godoy Cruz (MGC) es de 53% materia orgánica, 10% papel y cartón, 8% plásticos, 6% metales, 3% vidrios y el 20% otros elementos. Entre estos se encuentran componentes no reciclados como pañales descartables, jeringas, medicamentos vencidos, pilas, neumáticos. Aproximadamente se produce entre 0,4 y 0,7 kg/persona/día de residuos sólidos, que no son valorizados convenientemente y podrían convertirse un importante recurso económico para reciclaje y como fuentes no convencionales de uso energético y como materia prima para compostaje [5].

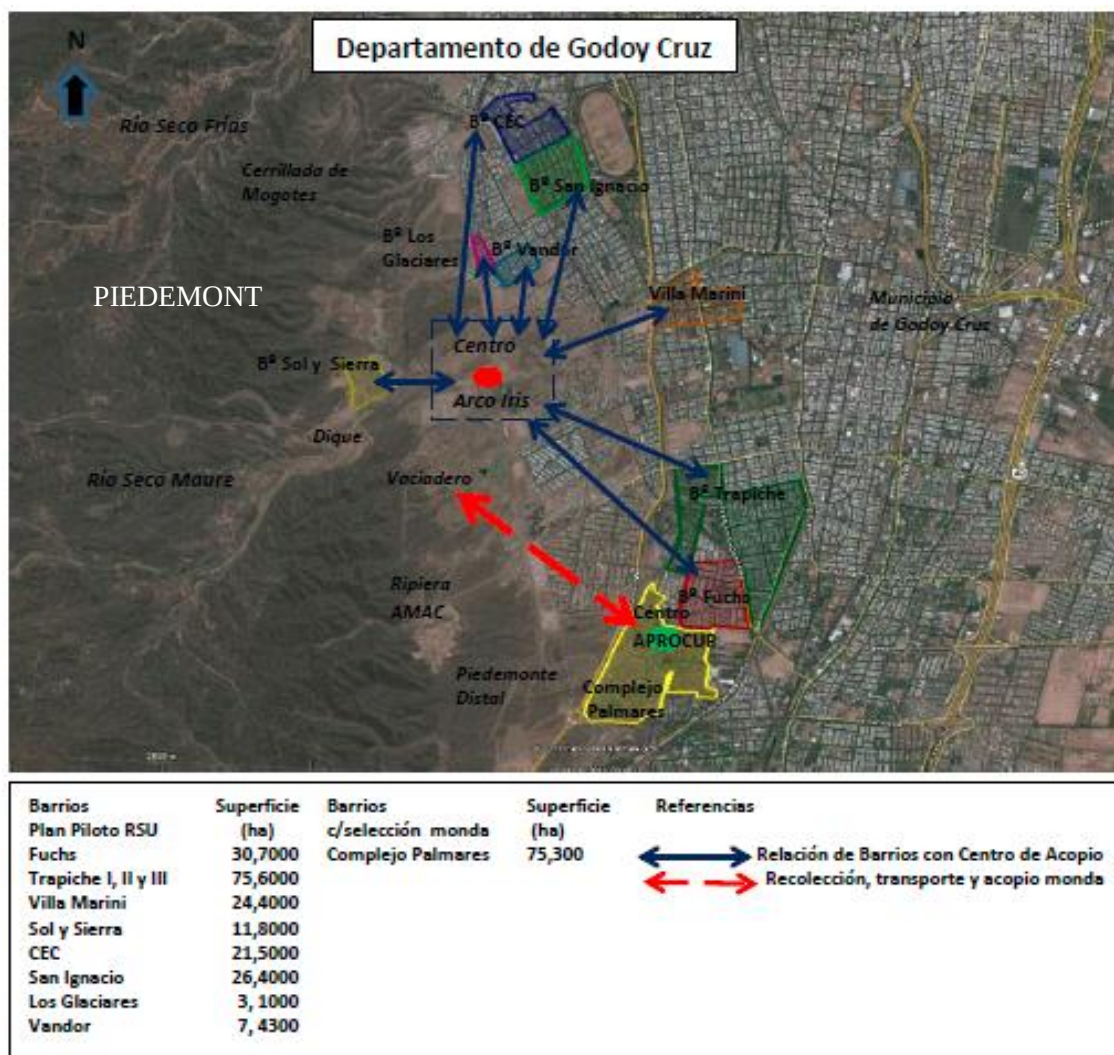


Figura 1. Área de propuestas de reciclaje y separación RSU Oeste de Godoy Cruz

A la fecha se cuenta con diversas experiencias y acciones en marcha promovidas por el MGC que pueden considerarse como buenas prácticas para lograr una gestión integral de los RSU.

3. Resultados y discusión

3.1 Propuesta: Plan Piloto de Gestión de RSU

Esta iniciativa plantea la adopción de medidas dirigidas a la reducción de la generación de residuos, la recuperación y el reciclado así como también la disminución de la toxicidad de la basura y la responsabilidad asumida por parte del fabricante sobre sus productos. Forma parte de una política pública encaminada a la implementación de la gestión integral de los residuos, lo que la convierte en una importante estrategia para incrementar los niveles de recuperación y reciclado de materiales producidos en la Comuna. Los objetivos principales que se plantean llevar a cabo son: i) concientizar a los vecinos y a los grandes generadores acerca de la necesidad de la separación en origen de los residuos, diferenciando entre los reciclables (por ejemplo plásticos, vidrios y metales), materia orgánica y residuos peligrosos, ii) minimizar el volumen de los residuos a enterrar mediante la consolidación de práctica de separación de materiales reciclables en origen, iii) formalizar e integrar los recolectores informales en el circuito del servicio público de recolección diferenciada,

iv) garantizar los espacios necesarios para la disposición final, incorporando nuevas tecnologías, v) impulsar proyectos ambientales que contemplen la puesta en marcha de sistemas de recuperación, reutilización y reciclado de RSU, iv) incrementar los materiales que regresan como materia prima post consumo a la industria, v) contribuir al ordenamiento de la cadena de valor del reciclado.

Dentro de los grupos de trabajo se destaca la ONG Coordinación Los Barrancos (Co.Lo.Ba.), ubicada en el Centro Educativo *Arco Iris*, situado en la zona de barrios marginales del piedemonte (ver Figura 1). Se trata de un jardín de infantes donde asiste y se alimentan niños entre dos y cinco años, cuyo anexo consiste en la conformación de un equipo de trabajo denominado *Los Triunfadores*, que llevan adelante labores de retiro, selección y venta de residuos reciclables. Las fracciones que trabajan son: papel, cartón, plásticos en general, vidrio y metales. El grupo objetivo lo constituye la franja de jóvenes entre 17 y 25 años de edad que actualmente se encuentran fuera del sistema formal y se posibilita su reinserción al mismo. Otro grupo de jóvenes y adolescentes *Promotores Educativos Comunitarios* trabajan articuladamente con parte del personal del Centro Educativo Arco Iris ya que las acciones que desarrollan son de divulgación en la comunidad civil inmediata al Centro Educativo de campañas para efectuar preselección en domicilio. En forma complementaria se están implementando *talleres de reciclado*, mediante técnicas artesanales. Los ejecutores son niños y jóvenes del apoyo educativo con profesores en cada temática. Este trabajo permite incorporar valor agregado a los residuos cuyos precios son bajos en su comercialización. En todos los casos se trabaja en los siguientes tópicos: a) capacitación adecuada y continua en la temática de residuos, b) fortalecimiento del trabajo en grupo c) mejoras sanitarias y de higiene, tanto en las condiciones laborales como en el sitio de trabajo, d) mejoras en las condiciones de comercialización, aumentando las posibilidades económicas, tendiente a la autosustentación, e) incremento de puntos de recepción f) afianzamiento de los circuitos de recolección y g) fortalecimiento de talleres artesanales de reciclado [6].

Esta iniciativa desarrollada desde 2004, se basa en la educación como una herramienta que permita conocer la problemática socioambiental que implica el manejo y recuperación de los RSU y en la articulación con actores sociales y protagonistas directos, intentando dignificar la tarea desempeñada en condiciones adecuadas de seguridad e higiene. Mediante una fuerte campaña de divulgación municipal personalizada, se ha involucrado a los vecinos de los barrios de Vador, Los Glaciares, CEC, Sol y Sierra, San Ignacio, Villa Marini, Fuchs y Trapiche (I, II y III), en la separación de residuos en origen y algunas empresas como generadores primarios, promocionando la importancia ambiental. A dichos vecinos se les entrega previamente bolsas reutilizables, en las que depositan los materiales reciclables, coordinando con el MGC el transporte hacia el Centro Educativo *Arco Iris*. En este lugar existe un galpón donde el material se acondiciona por fracciones y se realiza su venta a compradores preestablecidos que utilizan estos materiales reciclables. Entre los materiales recolectados se incluyen papeles, cartones, metales, plásticos y vidrios.

3.2 Propuesta: Complejo Urbano Palmares

Existen emprendimientos inmobiliarios de un elevado nivel económico con importantes inversiones a nivel de parcelamiento, los cuales poseen restricciones al libre acceso, aunque algunos de ellos han donado las calles a la Municipalidad. Tal es el caso del Complejo Urbano Palmares, el cual nació hace más de 20 años y se ha ido desarrollando exitosamente desde el punto de vista comercial y de jerarquía urbana. Comprende unas 27 ha consolidadas y a 600 familias (alrededor de 2.800 habitantes). La fracción mínima inmobiliaria ronda entre los 392 m² para la primera etapa y los 420 m² para las otras dos, debido a esto, los espacios verdes y las veredas tendrán un buen desarrollo superficial. La infraestructura es de alto nivel tecnológico. Si bien el trazado urbano no se encuentra en la forma clásica cuadriculada con las calles en el sentido de las máximas pendientes (dirección Oeste-Este), tampoco logra la mayor optimización para zonas áridas y pedemontanas, con pendientes moderadas y vegetación característica para la precipitación media anual de 200 mm. La administración la lleva a cabo un consejo de vecinos que componen el consejo directivo de la

unión vecinal que recauda un monto fijo por unidad de superficie y la destina a los gastos fijos del complejo urbano. Entre las actividades que se desarrollan en la actualidad relacionadas con los RSU, puede encontrarse la separación en origen de residuos orgánicos (restos de poda y de jardín) el cual es embolsado por cada propietario y depositado en lugares habilitados a tal fin. Dichos residuos, que contienen una gran cantidad de biomasa vegetal, son retirados por el propio complejo tres veces por semana y transportado hacia el vertedero municipal, quien ha autorizado tales prácticas. Por otra parte, los residuos domésticos se recolectan diariamente durante las mañanas (salvo los sábados), los cuales son depositados por cada vecino en un canasto en el borde de la calle, para que sea llevado por un camión propio del complejo urbano y autorizado para su disposición. El destino final de tales materiales es el vertedero municipal, ubicado al oeste del departamento de Godoy Cruz, en las cercanías de los barrios, mencionados en el apartado 2.1. Con anterioridad a las entrevistas realizadas con las autoridades municipales y vecinales, han existido algunas iniciativas aisladas a fin de darle algún tipo de conectividad al complejo urbano, con los barrios más carenciados de las cercanías, a través de distintos medios, entre los cuales, se intentó realizar una separación en origen. Debido a esfuerzos aislados y a la falta de continuidad en las acciones, tales iniciativas sustentables y ecologistas no se pudieron llevar a cabo en el tiempo. En su lugar, ha persistido la ayuda material a diversos comedores comunitarios, destinando un porcentaje de las expensas mensuales. Durante las reuniones mantenidas con los distintos actores (comunidad, autoridades municipales y grupo interdisciplinario de estudio) pudo comprobarse que los vecinos pueden convertirse fácilmente en actores de la separación en origen. Estas acciones posibilitan la inclusión social de los sectores cercanos de menores recursos, involucrándose activamente frente a la presencia de una institución científica (la Maestría en Ingeniería Ambiental) apoyada fuertemente por el aspecto institucional de la Municipalidad, nexo necesariamente presente.

Como una primera medida será preciso concientizar a los moradores del Complejo Urbano Palmares de la necesidad de efectuar una primera separación por categorías en origen, es decir en la misma vivienda: materiales reciclables tales como plásticos, vidrio, metales, materia orgánica y residuos peligrosos.

De esta manera, con esta primera clasificación o separación, el volumen de recolección de lo orgánico húmedo en conjunto con el RSU se verá reducido en un importante porcentaje en esta primera etapa.

Como segunda etapa, deberá realizarse una selección más extendida, de manera que el residuo recolectado se reduzca preferentemente a la fracción orgánica. Esta última debería ser embolsada en bolsas especiales (por ejemplo, de 30 l), valoradas en cuánto le cuesta al organismo el procesamiento de ese mismo volumen. Ello va a tender a que el producido por los vecinos sea controlado por ellos mismos, ya que, a medida que más residuos orgánicos se produzcan, mayor cantidad de bolsas se verán obligadas a emplear con los consiguientes costos involucrados, siendo esta una forma de cobro por volumen de residuos producidos. En cuanto a la recolección de los materiales reciclables, se realizará de acuerdo a la producción que se tengan de cada uno de ellos, es decir, la frecuencia mínima de retiro podrá establecerse en una o dos veces semanales para los materiales de chatarra, vidrio, plásticos, maderas y residuos peligrosos.

4. Conclusiones

Es necesario indicar que las acciones dispersas no permitirán dar respuesta a las externalidades socioeconómicas negativas y positivas que genera la producción, disposición y tratamiento de los RSU. Desde la concepción y perspectiva de análisis, estas problemáticas deben concebirse a través de un marco ordenador de carácter interdisciplinario, aunque el mismo no será suficiente si no se cuenta con la integración de la educación, investigación, gestión e institucionalidad organizada gubernamental o no gubernamental.

Las acciones permiten apreciar en forma concreta y visible, la factibilidad de integrar a pequeña escala a la comunidad organizada desde el propio diagnóstico y visión de los actores locales, aunque es destacable el fuerte apoyo y promoción del ente que maneja el territorio como es Municipio de Godoy Cruz.

Estas iniciativas surgidas desde la necesidad local demuestran tanto los vacíos e insuficiencia en la coordinación institucional a nivel nacional y provincial, como también la falta de antecedentes de estudios referidos a esta temática que generen un cambio efectivo de la situación.

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaria de Medio Ambiente 2010, *Plan Estratégico Mendoza 2010* (PED). <http://planestrategico.mendoza.gob.ar/>, pp.32-70.
- [2] Informe Ambiental (IA), 2009.. Gobierno de Mendoza, p.169.
- [3] Becerra, 2010 *Propuesta Integral de Ordenamiento y Desarrollo Territorial para el Sector Sureste del Piedemonte del Gran Mendoza*. Maestría en Ordenamiento Territorial. UNCuyo, p.167.
- [4] Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA), 2009, *La visión de Mendoza desde la perspectiva del IADIZA*. Aportes a la Ley de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo N°8051. Mendoza, pp.5-6.
- [5] Ambiental Cuyo SA, 2008, *Manifestación General de Impacto Ambiental Proyecto Planta Integral de Tratamiento RSU de Godoy Cruz*, Mendoza, Argentina, p.2.
- [6] Zottola, O. y Co.Lo.Ba, 2008. *Vinculación Técnico Social. Gestión Ambiental con RSU*. UTN, pp.6-7.

Elementos necesarios para una gestión eficiente de desechos peligrosos en laboratorios de investigación y docencia en Venezuela

Vladimir J. Valera Mejías, Miriam Carrillo

vvalera@unimet.edu.ve

Resumen

Los laboratorios de investigación y docencia en Venezuela, constituyen un riesgo para el ambiente, así como para la salud de sus trabajadores y comunidades cercanas, debido al manejo inadecuado de los desechos peligrosos que generan, situación que se agrava por la carencia de infraestructura en el país para su tratamiento y/o disposición final. En el presente trabajo se realizó una investigación en seis centros públicos de investigación y docencia en Venezuela para determinar las causas y consecuencias de los problemas que enfrentan estas instituciones en cuanto a la gestión de sus desechos peligrosos, a través de la aplicación de encuestas y la construcción de árbol de problemas y soluciones, para luego definir los elementos necesarios para una gestión ambientalmente adecuada de los mismos que sirva de orientación general a otras instituciones similares y para la definición de políticas públicas por parte del estado venezolano. Se determinó que para el éxito y sostenibilidad de la gestión de los desechos peligrosos en instituciones de investigación y enseñanza se deben centrar esfuerzos en el fortalecimiento de seis acciones prioritarias, tales como: (i) cumplimiento del marco legal ambiental vigente, (ii) desarrollo de instrumentos económicos necesarios para la gestión de los desechos, (iii) debida planificación de los sistemas de gestión integral, (iv) fortalecimiento de la capacidad técnica de las instituciones, (v) aseguramiento de sinergias intra - interinstitucionales, y (vi) programas de educación ambiental que promueva prácticas tendientes a la minimización del impacto generado por los desechos peligrosos.

Palabras Clave: *disposición final, educación ambiental, instrumentos económicos, riesgo*

1. Introducción

Una fuente importante de desechos peligrosos en Venezuela lo constituyen aquellos generados en distintos laboratorios de investigación y docencia; ya que en muchos casos, son manipulados en condiciones inapropiadas, constituyendo un riesgo ambiental y para la salud. A esta problemática se suma la ausencia de alternativas disponibles para su tratamiento y/o disposición final, lo que conlleva a una acumulación creciente de desechos.

Muchas instituciones han implementado planes de manejo de desechos en sus laboratorios para minimizar los riesgos citados, pero a pesar de ello los accidentes continúan presentándose [1]; ya que han dejado de lado algunos aspectos fundamentales para una gestión integral y ambientalmente adecuada de los mismos [2].

En tal sentido, el objeto de la presente investigación fue realizar un diagnóstico de las fallas en la gestión de desechos de laboratorios, del sector educativo y de investigación en Venezuela, e identificar los elementos que se hacen necesarios para una gestión ambientalmente segura de los mismos.

2. Desarrollo

2.1 Laboratorios Educativos y de Investigación -Generadores de desechos

Las Universidades generan una gran diversidad de desechos peligrosos los cuales demandan una adecuada gestión para así evitar daños a la salud y al ambiente [3]; de esta realidad no escapan las universidades venezolanas, donde se generan desechos químicos peligrosos como producto de las actividades de rutinas, constituyendo un riesgo para el ambiente y para la salud de las personas, debido a un manejo inadecuado de los mismos, como por ejemplo la práctica común de disposición de reactivos usados a través de los desagües o el almacenamiento sin control y pericia [1].

Esto ha traído consecuencias nefastas como por ejemplo un accidente ocurrido en una prestigiosa universidad venezolana, donde un estudiante requirió de una cirugía de mano luego de que uno de los recipientes en los que almacenaba desechos peligrosos estallara. Lo anterior llevó a dicha universidad al diseño de un plan de erradicación de reactivos y materiales contaminantes de los laboratorios de la institución, y la creación de mesas técnicas de desechos tóxicos [1].

2.2 Gestión Integral de Desechos Peligrosos

Antiguamente se concebía el manejo de los desechos peligrosos una vez que éstos ya habían sido generados y orientado los esfuerzos a encontrar un lugar seguro para su disposición final; hoy día esta concepción ha cambiado hacia un enfoque relacionado con una gestión integral de los desechos peligrosos tomando en cuenta desde su generación hasta su disposición final [2]. Esta gestión integral debe partir de las siguientes premisas:

Prevención y minimización de la generación en el origen: La minimización es la adopción de medidas organizativas y operativas que permiten disminuir (hasta niveles económicos y técnicamente factibles) la cantidad y peligrosidad de los desechos generados que precisan un tratamiento o disposición final. Esta etapa está orientada hacia la autogestión por parte de los generadores y un cambio de conductas por parte de los consumidores [4].

Aprovechamiento y valorización: a través de la reutilización, reciclaje, recuperación de los desechos peligrosos generados que ayudada a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía y alargar la vida útil de los sitios de disposición final [4].

Tratamiento y Transformación: son procesos físico-químicos, biológicos y/o térmicos que tienen por objetivo reducir el volumen y la toxicidad de los residuos [5].

Disposición final controlada: se define como la ubicación de los desechos en instalaciones adecuadas para este fin, como los rellenos sanitarios, rellenos de seguridad, inyección en pozos profundos o su colocación en minas o domos de sal [5].

2.3 Aspectos a considerar en la formulación de planes de gestión

Los planes de gestión son herramientas que permiten asegurar el control y la reducción de la producción de desechos a fin de proteger la salud y al ambiente contra los efectos nocivos que puedan derivarse del inadecuado manejo de los mismos, mediante la consolidación de forma integral de procesos, tales como: identificación, clasificación, minimización, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos peligrosos [2].

El problema de los desechos peligrosos es de carácter complejo, por lo tanto su solución debe abordarse de forma integral. Todo plan de gestión de desechos se compone de muchos aspectos íntimamente relacionados e integrados y debe ser ambientalmente efectivo, económicamente viable y socialmente aceptable; lo cual implica que se debe garantizar la segregación y clasificación desde el origen, la evaluación de tecnologías y la existencia de infraestructura de sitios de disposición final. En lo que respecta a que sea económicamente factible, debe haber orientación de los

proyectos y su financiamiento, así como planificación del manejo, específicamente, determinando los costos del mismo. Finalmente, para que sea socialmente aceptable debe haber diseño y aplicación de programas de educación ambiental permanentes y sistemáticos que garanticen la creación de conciencia ambiental en la gestión de desechos peligrosos de todas las personas junto con la participación comunitaria [6].

Los laboratorios buscando adecuarse a las regulaciones ambientales establecidas en el país, han iniciado acciones para gestionar de forma ambientalmente segura los desechos peligrosos que en ellos se generan.

Muchos de los planes de gestión que se emplean en las instituciones académicas a nivel internacional se basan en la OSHA Laboratory Standard, 29 CFR 1910.1450 "Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in Laboratories" [7], [8], [9]. Los laboratorios en Venezuela tienen además que incluir en su planes las regulaciones ambientales establecidas en el país, las cuales son varias y exigentes [2].

Los planes deben considerar en su formulación varias estrategias para la gestión ambientalmente segura de los desechos peligrosos basado en el principio de las 3 R: reducir, reciclar y reusar [10], [11], [12], como por ejemplo el uso de equipos de laboratorio a nivel de microescala los cuales tienen la ventaja de reducir costos a las instituciones en los gastos asociados por compra de reactivos y disposición final de desechos peligrosos [11], o el evitar la generación de ciertos desechos, mediante el uso en los análisis de sustancias químicas menos peligrosas. La generación de desechos también puede ser reducida mediante la compra justificada de las cantidades necesarias de reactivos, en función de una planificación detallada de los análisis químicos que se efectuará [10].

El reciclado puede realizarse a través de diversas vías, una de las más simples, es utilizar los desechos en secuencias de análisis, donde el producto de un experimento es empleado como reactivo en el próximo experimento. Algunos desechos pueden ser reciclados mediante la repurificación, tal como es el caso de varios solventes a través de sistemas de destilación [10]. Es importante resaltar que el reciclado es solo posible mediante una efectiva segregación y recolección de los residuos [12].

Los planes de gestión son exitosos a medida de cada una de las personas se comprometen con la conservación del ambiente mediante la gestión ambientalmente segura de los desechos peligrosos, para ello es necesario la conformación de programas sistemáticos y permanentes de educación ambiental [10].

Son varios los obstáculos que afrontan las instituciones públicas para garantizar el éxito de los planes de gestión de desechos peligrosos, por ejemplo, en el caso de las universidades y centros de investigación, el dinamismo y cambio constante de las prácticas experimentales y proyectos de investigación dificultan el establecimiento de este tipo de programas [13], [14]. Otra barrera lo constituye el factor económico, debido a que se requiere de personal técnico calificado para el manejo interno de los desechos e instalaciones adecuadas para el almacenamiento temporal y la subcontratación de empresas manejadoras para dar disposición final a los mismos [12]. Los planes de gestión son raramente exitosos sin el soporte del departamento administrativo y la dedicación de los responsables ó líderes de seguridad, todos trabajando en conjunto para la revisión constante del plan para la consecución y éxito del mismo, el cuál siempre será la salud y seguridad de las personas y el ambiente [7], [8].

3. Materiales y Métodos

El estudio se enfocó en determinar las condiciones de manejo y gestión de los desechos peligrosos generados en cinco universidades públicas y un centro de investigación en Venezuela; iniciándose con la revisión del marco legal ambiental vigente y de los antecedentes en el manejo de los

desechos peligrosos de laboratorios de investigación y docencia disponibles en el Ministerio del Ambiente en Venezuela. Posteriormente se aplicaron encuestas a las instituciones para evaluar la incidencia de diferentes aspectos en la gestión de sus desechos peligrosos y se evaluaron 45 empresas manejadoras de sustancias materiales y desechos peligrosos autorizadas por el Ministerio del Ambiente, para determinar la capacidad operativa de las mismas en el tratamiento y/o disposición final de los desechos peligrosos de los laboratorios en referencia.

Finalmente se construyeron árboles de problemas y soluciones para obtener una visión de conjunto de los elementos asociados a la mala gestión de los desechos y determinar las acciones prioritarias que cualquier laboratorio de investigación y docencia debería considerar para una gestión ambientalmente adecuada de sus desechos peligrosos.

4. Resultados

Venezuela cuenta con un amplio marco legal que regula la gestión de los desechos peligrosos, sin embargo el mismo no es suficiente para garantizar una gestión adecuada, ya que existe un gran desconocimiento del mismo a nivel de técnicos, administradores y usuarios de laboratorios; donde no existen esquemas adecuados para la capacitación del personal y para la planificación de las actividades que minimicen el gasto de reactivos y por ende la generación de desechos. Adicionalmente los presupuestos son insuficientes e inadecuados para contratar los servicios de empresas manejadoras de desechos peligrosos, aun cuando estas tienen una capacidad limitada orientada más al manejo de desechos industriales.

Las principales deficiencias encontrada para una gestión adecuada de los desechos peligrosos son: (i) desconocimiento del marco legal que regula la materia en el país, acrecentada por la falta de expertos ambientales en las instituciones; (ii) carencia de recursos económicos destinados a la gestión integral de los desechos peligrosos, lo que repercute en que las preocupaciones ambientales pasen a un segundo plano o simplemente sean olvidadas; (iii) falta de compromiso y voluntad por parte del personal directivo, supervisorio y operativo, como consecuencia de los problemas presupuestarios y operativos que las instituciones públicas tienen que afrontar, no siendo prioridad para las instituciones; (iv) deficiencia institucional en aspectos de planificación y capacidad técnica operativa para el manejo ambientalmente seguro de los desechos peligrosos, específicamente en lo que respecta a infraestructura inadecuada para el almacenamiento temporal, falta de personal técnico calificado y sistemas de registro y control insuficientes.

En tal sentido, existe la necesidad de ciertos elementos que deberán ser cubiertos y atendidos por las instituciones, para lograr una gestión integral, eficiente y sostenible de los desechos peligrosos, tales como: (i) establecimiento de reglamentos internos; (ii) desarrollo de capacidad para evaluar, seleccionar y adaptar tecnologías para el tratamiento de los mismos en las instituciones, (iii), desarrollo de infraestructura adecuada para el almacenamiento temporal de los desechos peligrosos, (iv) planificación de actividades conducente a la minimización de los desechos a partir de una definición precisa de los análisis necesarios y de sus requerimientos de reactivos y equipos, (v) fortalecimiento del talento humano y programas de sensibilización ambiental que respalden los planes de gestión, mediante la formación de valores ambientales en el personal y que promuevan la participación voluntaria, (vi) creación de bases de datos digitalizadas y accesibles en redes de servidores para la divulgación de los planes de gestión, (vii) creación de una partida presupuestaria específica que soporte los gastos asociados a la gestión integral de los desechos peligrosos conforme a las necesidades detectadas, y (viii) establecer nexos con instancias a nivel nacional encargadas de coordinar y definir lineamientos para la gestión ambientalmente segura de los desechos peligrosos.

5. Conclusiones

La gestión de los desechos peligrosos de laboratorios del sector educativo y de investigación adscritos a algunas instituciones públicas en Venezuela presenta debilidades y serias deficiencias, siendo común la falta de planes de gestión integral de desechos peligrosos. Sin embargo se identificó que la gestión de desechos peligrosos debe comprender elementos transversales para asegurar el éxito y la sostenibilidad de la misma, tales como:

- Sociales: promover valores ambientales en las personas que laboran en las instituciones en todos los niveles, mediante el establecimiento de programas permanentes de educación ambiental.
- Legales: establecimiento de reglamentos internos que establezcan las bases y lineamientos para el manejo de los desechos peligrosos.
- Planificación/ Técnicos operativos: desarrollo e implementación de planes de gestión integral de desechos peligrosos y sistemas de registro que soporten y den cumplimiento a la reglamentación interna establecida, adecuación de infraestructura para el almacenamiento temporal y creación de bases de datos digitalizadas y accesibles en redes de servidores para la divulgación del plan de gestión integral de la institución.
- Económicos: creación de mecanismo e instrumentos económicos necesarios que soporten la gestión integral de los desechos peligrosos conforme a las necesidades detectadas.
- Sinergias Inter-Institucionales: establecer nexo con la máxima instancia a nivel nacional encargada de coordinar y definir lineamientos para la gestión ambientalmente segura de los desechos peligrosos para presentar avances de la implementación del plan en la institución, así como con otras instituciones interesadas en la gestión de desechos peligrosos para compartir experiencias y establecer sinergias.

Para la implementación exitosa de planes de gestión integral de desechos peligrosos para laboratorios de instituciones públicas es necesario además el fortalecimiento del Estado Venezolano a través de sus diferentes instancias con competencia en la materia, a manera de garantizar el adecuado tratamiento y la disposición final de los desechos peligrosos una vez que estos salen de las instalaciones de los laboratorios para ser manipulados por las empresas manejadoras. Para ello se plantea: (i) la creación de una base de datos automatizada, actualizada y accesible al público que contenga los contactos de las empresas manejadoras de desechos peligrosos inscritas en el Ministerio del Ambiente; de esta manera los laboratorios mejorarán el criterio y conocimiento de las capacidades operativas en el país para el tratamiento y disposición final de los desechos peligrosos, (ii) creación de un relleno de seguridad y promoción de la investigación y adaptación de tecnologías para ampliar la capacidad de tratamiento de los desechos peligrosos, (iii) fortalecimiento de las instancias nacionales que promueven y apoyan el cumplimiento de las leyes, reforzando la vigilancia y control en la gestión de los desechos peligrosos, (iv) identificación y establecimientos de incentivos fiscales y económicos que fortalezcan y promuevan la gestión de los desechos peligrosos, y (v) promoción de programas de sensibilización por una gestión ambiental segura de los desechos peligrosos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Carrillo M., Miriam. Modelo de Plan de Gestión Integral de Desechos Peligrosos para Laboratorios Públicos en Venezuela. Tesis de maestría. 2009. USB. Venezuela.
- [2] Valera, V. Economía de los residuos y desechos: Gestión de residuos y desechos. 2009. USB, Caracas.

- [3] Passarelli, M. Manejo de residuos químicos en universidades- Estudio del caso del departamento de química de la UFSCAR. Trabajo de grado de maestría. 2005. Universidad Federal de Sao Carlos, Sao Carlos.
- [4] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (Consulta: 18 abril 2009), Política ambiental para la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/politica-amb.pdf> [19]
- [5] Batstone, R., Smith, J. y Wilson, D. The safe disposal of hazardous wastes: special needs of developing countries. World Bank Technical Paper, 93(3)1989: pp.823-830.
- [6] McDougall, F. White, P. Franke, M. Hindle, P. Gestión Integral de Residuos Sólidos: Inventario de Ciclo de vida. 2004. Proter & Gamble Industrial, S.C.A, Caracas. 624p.
- [7] Foster, B. L. Laboratory safety program assessment in academia. Chemical Health and Safety, 11(5)2004; pp 6-13.
- [8] Foster, B. L. In pursuit of excellence in safety. Chemical Health and Safety, 2007. 6-13.
- [9] Gibbs, L.M. ChemTracker Consortium – The higher education collaboration for chemical inventory management and regulatory reporting. Chemical Health and Safety, 12(5)2005: pp 9-14.
- [10] Matteson, G. y Hadley, C. Six strategies for chemical waste minimization in laboratories. Journal of the Society of research Administrators, 23(3)1991, pp 41-45.
- [11] Martin, N., Walkman, F. The three R's of resource management in the undergraduate organic chemistry laboratory. Journal of Chemical Education, 71(11)1994, pp.970-982.
- [12] Sales, M., Delerue, C., Martins, I., Serra I., Silva, M., Morais, S. A waste management school approach towards sustainability. Resources Conservation & Recycling, 48(2006):197-207.
- [13] Calbo, P. Los residuos peligrosos en la Universidad Jaume I de Castellón. Ponencia presentada en el I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 2008. Castellón-España
- [14] Becker, J. y Elston H. You have what? An evaluation of three new Jersey public school chemical inventories. Chemical Health & Safety, 2004. Pp 21-23.

Estrategias de gestión sustentable para el aprovechamiento de biogás del relleno sanitario Bordo Poniente

Víctor Alejandro Rosales Velázquez
victorv75@yahoo.com.mx

Resumen

La gestión de los residuos sólidos representa un campo importante para la sustentabilidad de las ciudades. En tal proceso, la disposición final representa una etapa importante para hacer esa gestión de forma integral; la construcción de rellenos sanitarios representa de por sí un avance para manejar los residuos de forma más segura, al impedir la contaminación al suelo y los mantos acuíferos, así como ventilar los gases producto de la descomposición de tales residuos, llamados Gases de Efecto Invernadero. Sin embargo, no se agotan ahí las acciones requeridas para hacer sustentable dicha fase, pues debido a la magnitud de residuos almacenados en los rellenos sanitarios de las grandes ciudades, como el caso de la Ciudad de México, no basta ventilar dichos gases, sino que es indispensable capturarlos y en tal proceso aprovecharlos energéticamente. De los Gases de Efecto Invernadero despididos de Bordo Poniente -el relleno sanitario de la Ciudad de México- el metano es un gas que puede aprovecharse energéticamente para generar electricidad, sumado a que tal componente tiene un potencial de calentamiento 21 veces mayor que el dióxido de carbono, el otro gas emitido en tales sitios. Las estrategias para llevar a cabo un proyecto de tal naturaleza en Bordo Poniente ya tienen antecedentes mundiales, sobre todo en ciudades de Estados Unidos, y también en México -la Ciudad de Monterrey-. De tal forma, urge realizar este proyecto en Bordo Poniente, por la dualidad benéfica que representa, a saber, el beneficio económico y el ambiental.

Palabras Clave: actores, disposición final, energía eléctrica, legislación, residuos sólidos

1. Introducción

En las grandes ciudades del mundo se forman muchos problemas relacionados con la disposición final de residuos, pero al mismo tiempo surgen los métodos necesarios para superar tales hechos. En el presente documento se trata de vincular la gestión de residuos sólidos con la satisfacción de energía por vías renovables.

La manera que aquí se ha encontrado para relacionar estas dos grandes temáticas está basada en el hecho de que los rellenos sanitarios despiden Gases de Efecto Invernadero (GEI), el metano es uno de ellos. Al capturar este gas se le puede aprovechar para generar energía eléctrica. Así pues, a partir de un “desperdicio” se obtiene un beneficio energético.

La Ciudad de México [1] cuenta con el relleno sanitario Bordo Poniente como sitio de disposición final. De tal forma, el objetivo de este trabajo es el de dar a conocer los esquemas potenciales para valorizar el biogás que se emite en dicho lugar. Para lograrlo se ha desarrollado el presente trabajo en varios apartados.

El primero se refiere a los modelos de gestión de residuos, que han surgido como respuesta a los cada vez más complejos y creciente volúmenes de residuos de las ciudades. En ese contexto resaltan dos grandes modelos de gestión, por un lado el Modelo Jerárquico de tratamiento de Residuos Sólidos y por otro el Modelo de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Asimismo se plantea la importancia del reconocimiento de aquellos individuos o grupos de personas (actores) que participan en la construcción de alternativas para el manejo de residuos sólidos, por medio de la aplicación práctica de los componentes teóricos de uno u otro modelo.

El segundo apartado trata sobre las experiencias que distintas naciones han adoptado para el aprovechamiento energético a partir de la descomposición de los residuos sólidos que se presenta en sus rellenos sanitarios. En el tercer bloque se contrasta la forma de gestionar rellenos sanitarios en la Ciudad de México con la que se da en la ciudad de Monterrey, dicha referencia se hace necesaria puesto que el relleno sanitario de esta última es pionero en México en cuanto al aprovechamiento energético de gas metano para producir electricidad.

En las conclusiones se pretende sugerir las diferencias de gestión de rellenos sanitarios que han tenido las dos ciudades estudiadas y con ello prever qué condicionantes han permitido que en una ya se valore el metano y en la otra no.

2. Desarrollo

2.1 Los modelos de gestión de residuos sólidos

Las ciudades son los sitios donde se genera la mayor cantidad de residuos debido a la gran concentración de actividades económicas y sociales que ahí se encuentran. El reto actual que tienen es tratar de recolectar la mayor cantidad de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que generan y tener un manejo ambientalmente adecuado de ellos, "...entendiendo manejo como las diferentes fases del ciclo de vida de los residuos desde que se generan, almacenan, transportan, tratan y disponen en algún sitio" [2].

La planeación urbana tiene a su cargo la búsqueda constante de herramientas que permitan la administración eficiente de los recursos naturales en las ciudades, y en ello la gestión de los RSU representa un elemento sustantivo.

Bajo esa premisa la planeación urbana de residuos sólidos contempla dos modelos básicos de manejo de residuos sólidos urbanos, con los que una administración citadina o municipal puede incluir el tema en los hechos cotidianos. El primer modelo es el llamado Modelo de Jerarquía del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y el otro se conoce como la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

El Modelo de Jerarquía de residuos sólidos debe tener etapas, las cuales tienen un determinado orden de preferencia, situación que comienza con las fuentes generadoras de residuos como prioridad hasta la disposición final como última opción de las acciones, pasando por el reuso, reciclaje y el tratamiento, ver figura 1 [3].

Aunque en tal Modelo se ha planteado una preferencia a la reducción de los residuos sólidos en la fuente de generación, algunas ciudades de los países desarrollados se han topado históricamente con la necesidad de tener una cobertura de recolección satisfactoria que evite la aparición de tiraderos a cielo abierto en calles, barrancas u otros sitios en las ciudades. Dicha situación ha provocado que en la realidad cotidiana las soluciones de manejo de residuos se hayan tratado desde el final del ciclo o sea la disposición final [4].

A diferencia del Modelo Jerárquico, el Modelo de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (MGIRSU), plantea la necesidad de abordar cada aspecto del manejo de residuos con la misma importancia, es decir, canalizar los mismos esfuerzos y recursos hacia un sistema de tratamiento, el reciclaje, la disminución en la fuente o la propia disposición final, bajo la premisa de que sea en forma ambientalmente segura, ver figura 2. Asimismo, plantea la combinación de las diferentes etapas de la gestión de residuos para optimizar el proceso total, apoyado en un aspecto central, como lo es la adaptabilidad de las estrategias a los contextos locales o regionales donde se considere su aplicación [5].

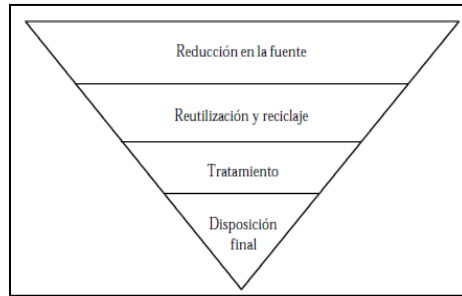
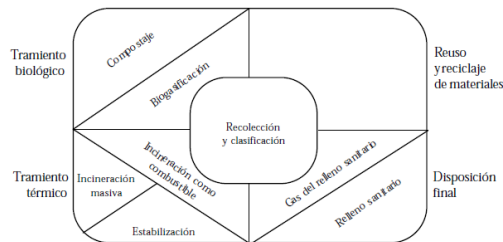


Figura 1. Modelo de Jerarquía en Manejo de RSM

Al contemplar aspectos de combinación de fases de manejo de residuos, capacidad de adaptación a los lugares de aplicación y brindar la misma importancia a cada etapa, el MGIRSU busca optimizar cada uno de los procesos que integran todo el ciclo de gestión. El resultado es un menor uso de recursos técnicos, económicos, administrativos y naturales para llevar a cabo dicha tarea, sumado a la menor presión que se ejerce sobre el territorio por la disminución de la cantidad de residuos, como de su mejor manejo ambiental; características propias de la sustentabilidad que conlleva dicho modelo.



Todas las opciones de manejo descritas deben llevarse a cabo bajo condiciones de control de acuerdo con las normas correspondientes.

Figura 2. Manejo Integral y Sustentable de los Residuos Sólidos

2.2 Los actores

En relación a la viabilidad de la valorización de biogás en rellenos sanitarios, estos pueden ser origen de una sustentabilidad mayor en los territorios que albergan dichas instalaciones, pero también de impacto local en las ciudades e incluso a escala mundial. Sin embargo, la consolidación real de éstos no es automática y se necesita la participación de gobiernos, ciudadanos, empresas o asociaciones; lo que se podría identificar como “actores” cuya definición se puede retomar como sigue:

“Un actor puede ser un individuo, una red de sociabilidad, un grupo, un colectivo (en el sentido de Merton) o una sociedad. Todos estos tipos se imbrican: un individuo puede actuar en función de su especificidad idiosincrática, pero también como representante de diversos grupos o de su sociedad. Estas pertenencias múltiples también definen, de modo fundamental, su especificidad, o de modo más preciso, su identidad social” [6].

Los niveles de gobierno relacionados a la faceta de disposición final de los residuos sólidos, sean locales, regionales, metropolitanos o nacionales, son los primeros actores que tiene la obligación de generar políticas públicas encaminadas a la realización de dichos proyectos en las ciudades. Asimismo puede realizar esfuerzos conjuntos con el sector privado y social para construirlos. De tal forma, si se pretende alcanzar un mayor grado de sustentabilidad en dichos territorios será importante dar paso cada vez más a la interrelación de los gobiernos de las ciudades con la sociedad civil para fomentar el desarrollo de proyectos conjuntos a la comunidad que ahí reside.

2.3 Los modelos de gestión de rellenos sanitarios y valorización de biogás en el mundo

El panorama mundial de los rellenos sanitarios en su contribución a la emisión de GEI es importante, ya que representa aproximadamente el 12 % del metano despedido a la atmósfera en todo el mundo [7]. Diversas ciudades del mundo han tratado de disminuir dicho impacto con mejoras en la gestión de sus sitios de disposición final. Una forma ha sido a partir de la lógica de manejo-control, en la cual se establecen acciones para remediar las problemáticas que se están presentando, lo que se puede lograr a partir de la quema y aprovechamiento energético del gas metano en tales lugares. Tales soluciones han sido aplicadas en ciudades de Estados Unidos.

Por otra parte, existen prácticas de prevención que tratan de evitar la generación residuos sólidos en grandes volúmenes y su posterior traslado a los rellenos sanitarios, con ello se busca cancelar la emisión de GEI. Esta forma de afrontar la gestión de residuos está regida por la lógica del Principio Precautorio, es decir, impedir cualquier hecho que signifique algún tipo de contaminación ambiental con el fin de proteger la salud humana. Los ejemplos que se encuentran para dicha forma de actuar los brindan algunas ciudades de Europa.

En ambas regiones del mundo los actores han jugado un papel importante para la gestión de rellenos sanitarios bajo su propia lógica imperante. En los Estados Unidos el esquema de participación ha incluido a industriales que producen maquinaria para transformar el gas en electricidad, los dueños de los rellenos sanitarios, universidades, asociaciones ambientalistas, entre otros. Todos ellos en el marco del denominado Landfill Methane Outreach Program, (Programa de aprovechamiento de metano en rellenos sanitarios) cuentan con 480 proyectos de aprovechamiento del gas metano, de los cuales dos terceras partes lo hacen para producir electricidad [8]. En Europa, los actores han sido similares a los de Estados Unidos, con la salvedad de que la ciudadanía ha participado con mayor relevancia y las empresas han tenido que ajustarse al principio de “quien contamina paga”, con lo cual la legislación europea ha conducido el proceso de sustentabilidad no sólo en los rellenos sanitarios de la región sino en todo el proceso de gestión de residuos sólidos.

2.4 La gestión de rellenos en 2 ciudades de México

El antecedente para el aprovechamiento de gas metano en rellenos sanitarios de México está ubicado en varios instrumentos legales y de planeación, que van desde niveles gubernamentales municipales hasta el ámbito nacional. En el marco de éste último se ubican el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2012 y el Programa Especial de Cambio Climático, aunque en los dos sólo se plantea de manera intencional la reducción de GEI, utilizando como opción los proyectos de captura de metano en rellenos sanitarios. Los demás ámbitos están incluidos en los casos que siguen.

El proyecto de aprovechamiento del biogás en el relleno sanitario de la ciudad de Monterrey y sus actores.

A finales de la década de los noventa la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) con apoyo del Banco Mundial, contrató los servicios de una empresa de ingeniería (ETEISA, S.A. de C.V.) para elaborar el llamado Modelo Mexicano de Biogás, con la finalidad de seleccionar entre distintas ciudades de México una en la cual se llevaría a cabo el proyecto piloto de recuperación de biogás en su relleno sanitario.

Enero del 2000 es la fecha de selección de la ciudad de Monterrey y su relleno sanitario para llevar a cabo el citado proyecto. En este caso la administración del relleno sanitario de Monterrey, el “Salinas Victoria” ya se encontraba bajo el mando de Sistemas de Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos (SIMEPRODE), un organismo público descentralizado del Gobierno de Nuevo León. En septiembre de ese mismo año el Banco Mundial autorizó el proyecto bajo el mando de SIMEPRODE y éste lanzó la publicación internacional para las empresas que se interesaran en construir dicho proyecto de energía renovable. Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V. (SEISA) ganó dicha licitación y se procedió entonces a realizar la asociación

estratégica entre estas dos y para marzo de 2002 se constituyó Bioenergía de Nuevo León S.A. de C.V., la cual tuvo a su cargo el obtener todos los permisos necesarios en materia ambiental, de uso de suelo, de cogeneración y abasta de energía eléctrica, así como la venta de ésta a los socios-usuarios. El proceso concluyó en 2003 y fue el primero en su tipo de América Latina [9].

El marco legal y de planeación del relleno sanitario Bordo Poniente en la Ciudad de México.

En el marco de la gestión de los residuos sólidos que llegan a Bordo Poniente ya se han planteado varios instrumentos de tipo legal y de planeación para aprovechar energéticamente el gas metano emitido desde dicho lugar. Desde el Plan Verde de la Ciudad de México (2007), se ha mencionado la importancia de tal proyecto para la reducción de GEI. El Programa de acción climática de la ciudad de México (PACCM) 2006-2012 también se ocupa del tema, pues advierte que el 89% de la reducción de GEI en el sector residuos depende de la captura de biogás en dicho relleno [10].

Otro instrumento jurídico que plantea el proyecto de aprovechamiento de biogás en Bordo Poniente es el Programa de Gestión Integral de residuos 2009 – 2014, sin embargo ahí mismo se aclara el por qué no ha sido posible realizarlo. La razón es que se requiere un acuerdo previo con el Gobierno Federal y con el Gobierno del Estado de México, así como el visto bueno de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT).

4. Conclusiones

Una vez que se analizó brevemente la gestión de los dos rellenos sanitarios, se pueden mencionar los posibles motivos por los cuales no se aprovecha energéticamente el gas metano en Bordo Poniente.

El primer elemento clave para la distinción entre la gestión de Bordo Poniente y el relleno Salinas Victoria se refiere a la demarcación territorial. Mientras el primero representa el sitio de disposición final de una entidad federativa, el segundo es el relleno sanitario de la capital del Estado (en este caso Nuevo León) y de su zona conurbada.

Otro aspecto se refiere a qué demarcaciones territoriales depositan sus residuos en tales lugares, en el caso de Bordo Poniente llegan los de toda la Ciudad de México y algunos municipios del Estado de México. En el caso del Salinas Victoria sólo se vierten los de la ciudad de Monterrey y su zona conurbada. Tal situación se puede dimensionar por el volumen de toneladas que ahí se depositan, pues en el primer caso es de 12 mil toneladas diarias contra 700 en el segundo.

El manejo de tales rellenos es diferenciado y su situación jurídica también. En el caso de Bordo Poniente lo hace la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal, (SOS) que depende de forma directa del Gobierno de tal entidad. En el segundo caso la gestión corre a cargo de un Organismo Público Descentralizado, el SIMEPRODE. Cabe resaltar que en cuanto a la capacidad para licitar proyectos de valorización de biogás la SOS debe hacerlo de forma conjunta con el Gobierno del Distrito Federal (GDF) y también con aval del Gobierno Federal –en el siguiente párrafo se explica el por qué de tal cuestión- contrario a la situación anterior, el SIMEPRODE está facultado para realizar dichos trámites por su propia personalidad jurídica.

La SOS se ve obligada a tener el aval del Gobierno Federal porque la propiedad de los terrenos donde se ubica Bordo Poniente (Netzahualcóyotl, Estado de México) le pertenece a éste último y por tanto, se le considera dueño del posible usufructo económico que devenga de tal sitio. En ese sentido, no se han puesto de acuerdo las administraciones del Gobierno Federal (cuya extracción proviene del Partido Acción Nacional) con las del GDF, cuyo origen desde 1997 es del Partido de la Revolución Democrática. En contraste a tales hechos, en el año que se consolidó el proyecto de Monterrey, el SIMEPRODE pudo llevar a cabo la licitación, dada la posesión de los terrenos y la no confrontación con el Gobierno Federal.

Una particularidad final es que mientras la valorización de gas metano en Bordo Poniente la ha intentado realizar la SOS, no conseguida hasta el momento; en el caso del relleno Salinas Victoria no fue una iniciativa propia, sino que fue la SEDESOL quien promovió tal proyecto, razón fundamental para que la Ciudad de Monterrey fuera pionera en toda América Latina en la producción de electricidad a partir de la descomposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios.

Aún con la historicidad descrita, resulta indispensable que el GDF le de más promoción pública a la potencialidad ambiental y económica que resultaría de valorizar el gas metano en Bordo Poniente, a saber: la captura en gran cuantía de un gas de efecto invernadero y la generación de electricidad para usos públicos en beneficio de la Ciudad de México.

Referencias Bibliográficas

- [1] Aquí se considera la Ciudad de México como el territorio que abarca el Distrito Federal.
- [2] Cortinas de Nava, C. *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. Versión electrónica. 2001. (SEMARNAT). Ciudad de México. P. 14.
- [3] Cortinas de Nava C. *Guía para la gestión de los residuos sólidos*. Versión electrónica. 2001. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Ciudad de México. P. 26.
- [4] Gutiérrez Avedoy, V. *Diagnóstico para la gestión integral de residuos*. 1ra. Edición. 2006. SEMARNAT-Instituto Nacional de Ecología (INE). Ciudad de México. P. 48.
- [5] Gutiérrez Avedoy, V. *Op. Cit.* P. 52.
- [6] SIMMEL, G. Citado en Giménez, G. consultado 22 enero 2010. “Para una teoría del actor en las ciencias sociales. Problemática de la relación entre estructura y ‘agency’”, en <http://www.culturayrs.org.mx/revista/num1/gimenez1.htm>.
- [7] Environmental Protection Agency, (EPA). Recuperado 4 junio 2009. Landfill Methane Outreach Program <http://www.epa.gov/lmop/>.
- [8] Environmental Protection Agency, (EPA). *Ibíd.*
- [9] Sistemas de Energía Internacional S.A. Recuperado 21 diciembre de 2009. www.seisa.com.mx.
- [10] Programa de acción climática de la ciudad de México, 2008-2012 (PACCM). Recuperado 29 diciembre 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. www.sma.df.gob.mx

Estrategia para el manejo de residuos sólidos en una comunidad rural de México

Paul Taboada-González, Quetzalli Aguilar-Virgen, Sara Ojeda-Benítez , Carolina Armijo-de Vega
taboadapa@gmail.com

Resumen

Leyes en México establecen que se debe limitar la disposición final en celdas de confinamiento, sólo a residuos que no sean reutilizables o reciclables. Para lograr este objetivo, es necesario contar con estrategias y planes para el manejo sustentable de los residuos sólidos (RS). Este estudio propone una estrategia para un manejo más sustentable de los RS con base en las características de la comunidad Vicente Guerrero. El estudio se realizó en dos etapas: en la primera se estudió el sistema de recolección de residuos y en la segunda se realizó un estudio de caracterización de residuos sólidos domésticos (RSD). Los materiales con potencial de aprovechamiento constituyen el 70.74% de los residuos generados. Una estrategia para contrarrestar los efectos nocivos producidos por la acumulación de RSD es la instalación de contenedores tipo roll-off en zonas estratégicas como etapa previa a la recolección. El uso de un gasificador de flujo descendente permitirá aprovechar los residuos celulósicos de los RSD y generar energía eléctrica. Las limitaciones económicas en el sistema de sanidad impiden aprovechar algunos componentes de los RSD con potencial de reciclaje.

Palabras clave: *basura, caracterización, gestión de residuos, reciclaje*

1. Introducción

El manejo inadecuado de los RS provoca efectos nocivos como contaminación de suelo, aire y agua, deterioro del paisaje natural, menor biodiversidad y riesgos a la salud, entre otros [1]. Por otra parte, si se considera que en los RS que están siendo depositados en rellenos y vertederos se encuentran materiales que pueden ser reintegrados a procesos de producción o reutilizados, el daño es aún mayor.

En México, leyes a nivel federal [2] y estatal [3] establecen que se debe limitar la disposición final en celdas de confinamiento, sólo a residuos que no sean reutilizables o reciclables o para aquellos cuyo aprovechamiento no sea económica o tecnológicamente factible. Para lograr este objetivo, es necesario contar con estrategias y planes para el manejo sustentable de los RS.

Las estrategias para el manejo de RS deben estar soportadas en el conocimiento de las características y volúmenes generados de los residuos, así como las necesidades, cultura y recursos de las comunidades. Sin embargo, Buenrostro y Bocco [4] exponen que la mayoría de los municipios en México no cuenta con registros sobre generación de RS y no tienen claro su origen y tipo producido en cada área, por lo que sus decisiones son hechas en base a suposiciones e inferencias.

La carencia de estudios en zonas rurales no permite dimensionar la problemática ambiental en estas zonas y conduce, en el mejor de los casos, al desarrollo de sistemas de sanidad rudimentarios o inadecuados. Se ha señalado [5] que la contaminación por mala disposición de los residuos se acentúa en las regiones rurales del municipio ya que en estas regiones el servicio de recolección de basura es ineficiente o incluso inexistente.

A través de notas periodísticas y denuncia ciudadana se ha informado que en la comunidad rural de Vicente Guerrero, localizada en el municipio de Ensenada, Baja California, se realiza un manejo inadecuado de los residuos. La periodicidad en el servicio de recolección de los RSD y la quema de los mismos, tanto en los hogares como en el vertedero de la comunidad, son las principales quejas de los habitantes.

Considerando los riesgos potenciales a la salud de los habitantes y que esta zona es predominantemente agrícola, se determinó realizar un estudio con el objetivo de proponer una estrategia para un manejo más sustentable de los RSD con base en las características de la comunidad Vicente Guerrero.

2. Metodología

El estudio se realizó en dos etapas: en la primera se hicieron recorridos y observaciones en el sitio de disposición de residuos y se estudió el sistema de recolección de residuos; en la segunda, se realizó un estudio de caracterización de RSD. El procedimiento de cada etapa se expone a continuación.

2.1 Reconocimiento del sistema de gestión

Se entrevistó a personal del Departamento de Ecología del municipio de Ensenada para conocer el sistema de recolección (rutas, número de camiones, capacidad en m³, edad de los camiones, entre otros). También se efectuaron pláticas con los operadores de los camiones recolectores para conocer cómo realizaban su actividad y su percepción sobre la problemática de los residuos.

Se hizo un recorrido en el sitio bajo estudio acompañados por personal del Departamento de Aseo y Limpia (DAL). Las observaciones fueron documentadas con video y fotografías. Se ubicó el sitio de disposición y se realizaron entrevistas con los trabajadores del sitio.

2.2 Caracterización y generación de residuos

Se realizaron dos estudios: uno en verano y otro en invierno. Debido a que los residuos analizados se tomaron de las cargas de los camiones recolectores, la duración del muestreo se ajustó a los días en que se presta el servicio de recolección en la comunidad, que fue de cinco días (lunes a viernes).

Cada cuarteo de residuos se realizó empleando 500 kg. de la carga de un solo camión. La muestra final tuvo un peso superior a los 50 kg, como se indica en la norma NMX-AA-022-1985. Para lograr una mejor precisión en el pesaje se emplearon dos balanzas electrónicas: una con capacidad para 500 kg y sensibilidad de 100 g y otra con capacidad para 50 kg y sensibilidad de 10 g. Los componentes fueron agrupados en ocho categorías; todos los plásticos fueron considerados en una sola categoría.

La estimación de la generación de RSD per-cápita (G_{pc}) se hizo dividiendo la generación total por semana (W_T) entre el número de habitantes (H) y el número de días (ver ecuación 1). El número de habitantes indicado por INEGI [6] para esta comunidad es de 10,632.

$$G_{pc} = \frac{W_T}{H \times 7} \quad (1)$$

A falta de báscula para pesaje de camiones, se empleó la ecuación (2), la cual es una modificación del método propuesto por Tchobanoglous et al. [7]. Los datos empleados fueron: número de viajes depositados (N), volumen en m³ de los camiones recolectores (v), peso específico de los residuos sin compactar (p) y factor de compactación de los camiones recolectores (F_c). Para este último se consideró un valor de 1.77.

$$W_T = \left[\sum_{i=1}^d (N_i \times v_i \times \rho_i) \right] (F_c) \quad (2)$$

3. Resultados

3.1 Descripción del manejo actual

El DAL cuenta dos unidades recolectoras de compactación trasera con capacidad de seis toneladas y seis personas para realizar el servicio de limpia, que solo se hace en un turno. Debido a la cantidad de RS generados en esta comunidad, camiones que operan en la comunidad rural de San Quintín, localizada a 25 km, dan soporte en Vicente Guerrero cuatro veces por semana en rutas críticas.

La recolección de RS es realizada por el municipio de forma gratuita una vez por semana en cada ruta o por recolectores independientes que, aunque no tienen una tarifa establecida, solicitan una "propina" por el servicio.

Los RS recolectados por el municipio y particulares se disponen en un vertedero (concesionado a un particular para su operación y mantenimiento) que cumple algunos requisitos de un relleno sanitario (cerca perimetral, personal de vigilancia y mantenimiento), establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003. La recuperación de materiales en el sitio de disposición es realizada por dos personas únicamente (vigilantes pagados por el concesionario) y solo se hace en los residuos depositados por particulares (ver Figura 1).



Figura 1. Separación de residuos en el vertedero

En el sitio de disposición se observó que: a) algunas empresas particulares separan sus residuos (cartón y papel) antes de desecharlos; b) se realizan quemas a cielo abierto cada dos o tres días para controlar los volúmenes de RS dispuestos; c) entre los residuos que son incinerados se observaron latas con aceites usados, filtros de aire, aceite y gasolina, y residuos electrónicos.

En Vicente Guerrero se observó que algunos habitantes incineran sus residuos para deshacerse de ellos (en especial en la noche, cuando no se distingue el humo). Personal del DAL informó que si los residuos domiciliarios no son recolectados por cualquier motivo, estos son incinerados al aire libre en los patios de las casas o en la calle (no se esperan a la próxima recolección). Las apreciaciones de la operación del sistema en Vicente Guerrero se presentan de forma esquemática en la Figura 2.

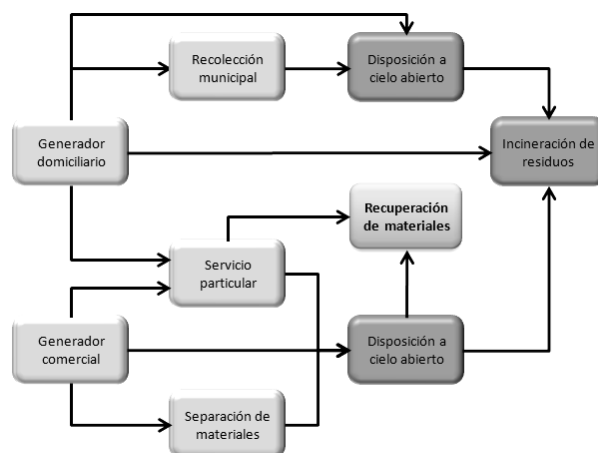


Figura 2. Gestión de residuos actual

3.2 Caracterización y generación de residuos

En la Tabla 1 se muestran la composición porcentual anual de los RSD analizados. Componentes como pañales y envases escépticos tuvieron una importante presencia pero no fueron considerados como aprovechables porque a nivel regional no existe mercado ni infraestructura para su aprovechamiento. Por tanto, estos componentes junto con el resto fueron agrupados en la categoría Otros. La generación de residuos promedio de las dos temporadas se estimó en 1.10 kg/hab/día.

Tabla 1. Promedio anual de los componentes de los RS

Componente	%	Componente	%
Residuos alimenticios	26.54	Textiles	5.78
Plásticos	14.60	Vidrio	4.80
Papel y cartón	8.59	Metales	1.95
Residuos de jardinería	8.48	Otros	29.26

4. Discusión

Considerando la información *in situ*, se propone la siguiente estrategia (ver Figura 3) para el manejo y valorización de los RS en Vicente Guerrero.

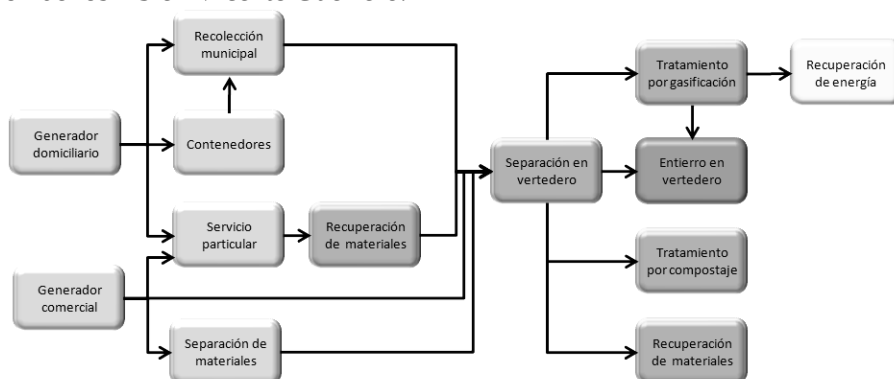


Figura 3. Estrategia de gestión de residuos

La frecuencia en la recolección de RS influye en el manejo inadecuado por parte de los residentes. Gálvez [9] señala que por razones sanitarias, no es conveniente reducir la frecuencia a menos de dos veces por semana y, como límite, una vez por semana. Acosta [8] indica que la frecuencia de

recolección dependerá del tiempo requerido para producir residuos que puedan almacenarse en depósitos de un tamaño determinado, del tiempo que tarda la basura en producir malos olores y del ciclo de desarrollo de la mosca (en verano 7 días).

Una estrategia para contrarrestar los efectos nocivos producidos por la acumulación de los RS es la instalación de contenedores de 6m³ tipo roll-off en zonas estratégicas como etapa previa a la recolección. De esta forma: a) se minimizan los residuos en los hogares y la necesidad de incinerarlos o disponer inadecuadamente de ellos; b) los equipos de recolección tienen una mayor utilización y se puede ampliar la cobertura en el sistema de recolección de residuos; c) se recolectarían más residuos que pudieran ser tratados, incrementando el retorno a la inversión de los equipos de tratamiento; y d) en el sitio de disposición, los pepenadores pudieran recuperar una mayor cantidad de materiales secundarios.

Los residuos de madera y orgánicos con bajo contenido de humedad pueden ser separados en el vertedero o en la fuente de generación y emplearse para la generación de energía eléctrica a través de un gasificador de flujo descendente. Considerando que sólo el 17.07% de los RSD generados en Vicente Guerrero tienen potencial para ser gasificados y que, de acuerdo al ISR [12] la exportación neta de energía en una planta de gasificación llega hasta valores del 22% del poder calorífico inferior (PCI) de los residuos alimentados, se puede esperar que el tamaño del generador eléctrico no sea superior a 40 kW. Sin embargo, las cantidades de residuos generadas por el sector comercial, empresarial y agrícola, que no están consideradas en este estudio, pudieran invertir la situación, por lo que faltaría hacer un estudio sobre la generación de residuos en estos sectores.

Las fracciones orgánicas (cartón, papel y residuos orgánicos) que no puedan ser procesadas por gasificación, podrán ser tratadas por compostaje. Ludwig et al. [13] expresan que el papel mezclado, cuando es separado, tiene un valor como fibra reciclable para fabricantes. El papel de alimentos incluye envolturas de alimentos, vasos de papel, cajas enceradas y cajas de pizza pueden ser compostados solos o con otros nutrientes orgánicos en un mejorador de suelos. Shah [14] expone que el compostaje se está convirtiendo en una opción popular para el manejo de residuos por la falta de terrenos para la instalación de rellenos sanitarios.

En una primer fase, se pueden instalar básculas para pesar las cantidades de residuos tratadas. Estos datos, junto con los registros del número de vehículos que depositan y su procedencia, permitirán formar una base de datos para mejorar la toma de decisiones y evaluar los logros alcanzados por la estrategia.

5. Conclusiones

El desarrollo de estrategias para mejorar el manejo de los RSD en la comunidad rural de Vicente Guerrero requiere de información confiable y actual. Se requieren más estudios de la zona para conocer la cantidad y tipo de residuo generado por los sectores empresariales, comerciales y agrícolas y mejorar los mecanismos de pretratamiento y tratamiento de residuos. Dado que la problemática de los residuos es compleja, se deben hacer estudios sociales, de salud y de impacto ambiental, entre otros. Ello formará las bases para dimensionar el problema e iniciar con los trabajos para la prevención en la generación de RS y la gestión de recursos para programas y tratamientos.

Referencias Bibliográficas

- [1] G. M. Ayininuola and M. A. Muibi, "An engineering approach to solid waste collection system: Ibadan North as case study," *Waste Management*, vol. 28, no. 9, pp. 1681-1687, 2008.
- [2] GM Gobierno de México, *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*. 2003, p. 42.

- [3] GEBC Gobierno del Estado de Baja California, *Ley de prevención y gestión integral de residuos para el estado de Baja California*. 2007, p. 18.
- [4] O. Buenrostro and G. Bocco, "Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives," *Resources, conservation and recycling*, vol. 39, no. 3, pp. 251-263, 2003.
- [5] GME Gobierno Municipal de Ensenada, *Plan Municipal de Desarrollo 2008-2010*. Ensenada, B.C.: , 2008.
- [6] INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, "Composición de los estratos-AGEB." 2005.
- [7] G. Tchobanoglous, H. Theisen, and S. Vigil, *Gestión integral de residuos sólidos*, 1st ed., vol. 1, 2 vols. España: McGraw-Hill, 1994.
- [8] R. S. Acosta, *Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos/ Environmental sanitation and food hygiene*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas, 2008.
- [9] F. Gálvez, *Recolección de residuos sólidos. Manual de instrucción*. Lima, Peru: CEPIS, s.d.
- [10] R. Williams, *Technology assessment for biomass power generation*. UC Davis, 2004.
- [11] E. D. Larson, "Small-Scale Gasification-Based Biomass Power Generation." Princeton University, 1998.
- [12] ISR Instituto para la sostenibilidad de los Recursos, "Análisis y estado del arte de las tecnologías emergentes de valorización de residuos urbanos." Fundación CajaSur, 2006.
- [13] C. Ludwig, S. Hellweg, and S. Stucki, *Municipal Solid Waste Management: Strategies and Technologies for Sustainable Solutions*, 1st ed. Springer, 2003.
- [14] K. L. Shah, *Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology*. Prentice Hall, 2000.

Estrategia regional de gestión de residuos. Caso: Área Metropolitana de Barranquilla (Colombia)

Nury Logreira Diazgranados, Augusto Sisa Camargo, Nelsis Astrid Villalobos Brochel
logreira@uninorte.edu.co

Resumen

Barranquilla es la ciudad núcleo del Área Metropolitana de Barranquilla, y los municipios periféricos son Soledad, Galapa, Puerto Colombia, Malambo, es la primera conurbación de la región Caribe, la más densamente poblada. Debido a que una característica de las áreas metropolitanas en Latinoamérica es que sus habitantes se desplazan diariamente para trabajar en el núcleo urbano central, desde el año 2004 se concertó que sea el Área Metropolitana la entidad que formule el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, debido a que la dinámica del manejo de desechos, el transporte y la disposición de los residuos se constituye en una afectación esencial y simultánea a todos de los municipios que la integran. Esta estrategia regional de residuos tiene como objetivo establecer acciones sociales, técnicas y económicas que generen capacidad institucional y municipal para reducción de los residuos y la calidad en la prestación de todos los componentes del servicio (generación, separación, almacenamiento, prestación, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final). La metodología PGIRS-M como instrumento de planificación, busca a través del diagnóstico, el proceso de análisis y el procedimiento de concertación con la autoridad ambiental, la empresa de servicios y la entidad territorial, obtener en forma ordenada objetivos, metas, programas, proyectos y actividades que permitan en el corto, mediano y largo plazo direccionar la prestación del servicio, con base en proyecciones realistas de la producción de residuos sólidos. Este proceso de planificación, permite identificar las actividades tendientes a eliminar riesgos del servicio, con el cual se garantizará la eliminación gradual de emergencias sanitarias.

Palabras Clave: *área metropolitana, manejo de residuos, regionalización. PGIRS-M*

1. Introducción

Las áreas metropolitanas se caracterizan por ser una gran aglomeración urbana institucionalizada y regulada jurídicamente en su definición y límites. Las áreas metropolitanas son un fenómeno territorial y humano, el cual supera la ciudad misma; están integradas por entidades locales, entre cuyos núcleos se generan estrechos vínculos de carácter económicos y sociales, especializaciones e interdependencias, que superan la frontera municipal y hacen necesaria una planificación conjunta y coordinada de determinados servicios y obras.

El Área Metropolitana de Barranquilla con base a la ley orgánica 128 de 1994 tiene entre sus funciones, 1) Programar y coordinar el desarrollo armónico e integrado del territorio colocado bajo su jurisdicción, 2) Racionalizar la prestación de los servicios públicos a cargo de los municipios (no solo los domiciliarios sino los esenciales como educación, seguridad, salud, recreación, transporte público, etc.), y si es el caso, prestar en común alguno de ellos; 3) Ejecutar obras de interés metropolitano. De acuerdo con lo anterior y consciente que el problema ambiental de manejo de residuos se torno crítico para la Región, en el año 2005 se adoptó mediante el acuerdo metropolitano 002 el PGIRS metropolitano. Decisión tomada por los alcaldes de acuerdo con el análisis de alternativas técnicas, operativas, ambientales, económicas e institucionales; teniendo en cuenta que un PGIRS regional no solo reduce costos de consultoría sino que armoniza la actuación

regional de los municipios, reduce impactos sobre los recursos naturales de la región y adicionalmente, reduciría costos de control y seguimiento por parte de Autoridades Ambientales y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

El PGIRS-M es un elemento de planificación del servicio público de aseo, compuesto por un conjunto ordenado de objetivos, metas, estrategias, programas, proyectos y actividades, de corto (3 años), mediano (6 años) y largo plazo (15 años), fundamentado en Política de Gestión Integral de Residuos y Régimen de Servicios Públicos a través de un proceso participativo, articulado con los Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de Desarrollo Municipal.

2. Localización y distribución espacial

El Área Metropolitana de Barranquilla está localizada al norte de Colombia, a 10°55' de latitud Norte con respecto al meridiano de Bogotá y 76°46' de longitud al Oeste de Greenwich². Delimita al norte con el Mar Caribe, al oriente con el Río Magdalena, al sur con el Municipio de Baranoa y al este con el Municipio de Tubará y está conformada por 5 zonas urbanas donde se desarrollan gran cantidad de proyectos de desarrollo urbano y social.



Figura 1. Localización Área Metropolitana de Barranquilla

Respecto a su extensión el Área Metropolitana de Barranquilla, ocupa aproximadamente 507 Km², equivalentes al 15,3% del área total del departamento del Atlántico, de los cuales el mayor porcentaje de ocupación corresponde al municipio de Barranquilla.

3. Antecedentes

En Colombia el Gobierno Nacional, mediante el Decreto 1713 de 2002, estableció las normas orientadas a reglamentar el servicio de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad, y al régimen de las personas prestadoras del servicio y de los usuarios.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT-, expidió el Decreto 1505 de 2003, que establece que los municipios y distritos, deberán elaborar y mantener actualizado un Plan Municipal o Regional para la gestión integral de residuos sólidos o desechos sólidos en el ámbito local y/o regional, en el marco de la Política para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

De acuerdo con la Resolución 477 de 2004 (Art. 1) emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Vivienda y Desarrollo territorial establece que además de los planes de gestión integral de residuos

sólidos locales, los municipios que conforman Áreas Metropolitanas “podrán presentar un PGIRS para toda el Área Metropolitana”.

En el caso de los municipios del Área Metropolitana de Barranquilla (AMB) desde el año 2004 se concertó, en función al Acuerdo 008 del 02 de septiembre, que sea el Área Metropolitana la entidad que identifique las acciones metropolitanas dentro del marco de la adopción de los PGIRS de Barranquilla, Soledad, Malambo, Puerto Colombia y Galapa, ya que la dinámica del manejo de desechos, como el transporte y los servicios públicos tiene un carácter metropolitano.

De igual forma la Ley establece que es importante llevar a cabo un proceso de evaluación del PGIRS, que permita definir avances, dificultades y productos que den paso a la formulación de ajustes a la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos; en cumplimiento de lo cual se inició en el año 2010 el proceso de revisión y ajuste del PGIRS del AMB, el cual mantiene su esencia a través de la líneas estratégicas iniciales y se operativiza a través de la fusión de los programas y subprogramas propuestos inicialmente con objetivos y metas actualizadas.

El redireccionamiento hacia la gestión integral de los residuos sólidos en el AMB, permite definir y poner en práctica alternativas de aprovechamiento, tratamiento y disposición final, que apunten a la solución de la problemática; incorporando el desarrollo de nuevas formas de empleo, la aplicación de nuevas tecnologías y dinámicas de participación activa y coordinada de los diferentes actores que hacen parte de la cadena del reciclaje, del sector industrial, del sector académico y la sociedad en general, entorno al desarrollo de una cultura de separación en la fuente y el reciclaje.

4. Metodología

La metodología para la realización de los PGIRS, fue estipulado por el Gobierno Nacional mediante la Resolución 1045 de 2003.



Figura 2. Metodología para la realización de los PGIRS

4.1 Diagnóstico y análisis brecha

Análisis de la gestión de los residuos sólidos realizado hasta la fecha, en el que se identifiquen los problemas de orden socioeconómico, ambiental e institucional, así como las fortalezas de la gestión realizada. Se realizaron las proyecciones de crecimiento poblacional, industria, comercio, zonas de

expansión de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial, producción en cantidad y calidad de residuos, así como demanda y oferta de los recursos.

4.2 Formulación de Objetivos y Metas

Consiste en el establecimiento de objetivos y metas decantadas con base en el diagnóstico en los aspectos técnicos, ambientales e institucionales para el servicio, acordes con las políticas sectoriales y ambientales, necesidades de expansión, lineamientos establecidos en los Planes de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial, en cuanto a continuidad, expansión, racionalización de uso y consumo de recursos naturales, eficiencia de la prestación del servicio y la capacidad institucional, que sean coherentes y consistentes para un periodo de 30 años.

4.3 Conciliación

Conciliación de objetivos y metas generales formuladas según resultados del diagnóstico con los objetivos y metas de orden sectorial y ambiental formulados por el gobierno nacional y la autoridad ambiental regional respectivamente.

4.4 Formulación de alternativas

Identificación de alternativas de orden técnico, operativo e institucional, que permiten mantener o mejorar niveles de cobertura y calidad de prestación del servicio, atendiendo la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, en cuanto a la minimización, reuso y aprovechamiento de residuos sólidos, así como de las oportunidades socioeconómicas del Área Metropolitana. Las alternativas deberán ser comparables y permitan determinar su conveniencia económica, con base en la comparación de costos y beneficios generados teniendo en cuenta:

4.5 Estructuración del PGIRS y Plan Financiero

Estructuración del plan en donde se identifiquen los programas, proyectos y actividades, junto con el presupuesto y los planes de inversión y financiero viables. El horizonte de análisis y proyecciones del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos será de 15 años y su ejecución se estableció que se programara para ejecutarse por fases acordes con los Planes de Desarrollo de cada municipio que conforma el Área Metropolitana.

4.6 Revisión del PGIRS

Los procesos de sistematización y evaluación del PGIRS se convierten en una actividad periódica y con adquisición de información regularmente y ajustes de acuerdo con las condiciones actuales de tipo ambiental y legal.

5. Resultados

Conforme la metodología para la Elaboración del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS, se realizó la revisión y evaluación del PGIRS 2005 y se procedió a la actualización del diagnóstico, donde se logró la identificación de los conflictos generados en el proceso de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos que prevalecen en el Área Metropolitana. A continuación, se presentan cada uno de los problemas identificados en los componentes del servicio y las posibles medidas que se puedan adoptar para mejorar la gestión integral de los residuos sólidos en el Área Metropolitana de Barranquilla.

Tabla 1. Identificación de problemática y medidas a implementar

Problema Identificado	Medidas a implementar
Aparición y reactivación de los botaderos a cielo abierto	• Erradicación los basureros a cielo abierto, encerrando aquellos lotes donde se hacía la disposición. En menos de dos (2) años se reactivaron varios de ellos y aparición nuevos basureros a cielo abierto. • Se presenta descontento con las empresas operadoras del servicio, es necesario implementar acciones con la aplicación de medidas de gradación normativa y rigor subsidiario. • Plantear un esquema de fortalecimiento institucional que conlleve a una mejor y eficiente comunicación, concertación e intercambio interinstitucional para la toma de decisiones.
Generación Creciente de Residuos Sólidos	• La generación creciente de manera exponencial de los residuos sólidos en el Área Metropolitana requiere del establecimiento de programas especiales que incentiven la conciencia ciudadana sobre los impactos generados por la mala disposición de residuos sólidos en cuerpos de agua, canales pluviales y rondas hídricas de arroyos. Programas concertados entre la institucionalidad y la comunidad relacionados con separación en la fuente. • Programas PYMES para su desarrollo empresarial para los recicladores del AMB. Incentivar a este sector de la economía, mediante la capacitación y la inyección de capital semilla para la organización de pequeñas y medianas empresas dedicadas al reciclaje, aprovechamiento, transformación y mercadeo de los residuos sólidos. • Realizar la caracterización de los residuos sólidos y el registro de indicadores como el incremento de la población y de los volúmenes de residuos producidos. • Se debe procurar por revivir e incentivar los convenios de producción más limpia entre la institucionalidad y los sectores productivos.
Descuido del potencial de reutilización de los residuos sólidos	• Implementar y poner en marcha un centro tecnológico de reciclaje y aprovechamiento de residuos sólidos, que permita el acceso a todos los recicladores y personas interesadas en mejorar este sistema de producción con innovación tecnológica.
Gestión incompleta sin considerar el impacto ambiental causado Post - Recolección – Transporte – Disposición Final.	• Integración de los municipios de Soledad y Malambo en los programas de manejo de residuos sólidos en el AMB. • Se recomienda que una vez integrados los cinco (5) entes territoriales para disponer en un solo relleno sanitario, se construyan celdas especiales para la disposición final de escombros a nivel de toda la territorialidad.
Desconocimiento sobre la magnitud del problema generado por la disposición de residuos peligrosos	• Capacitación y concientización a las comunidades o generadores de estos residuos. De igual manera en el relleno sanitario se deben manejar o disponer celdas especializadas para la disposición final de este tipo de residuos.
Desarrollo Institucional del sector	• Falta de coordinación de las administraciones municipales con los prestadores del servicio de aseo en los municipios de Soledad y Malambo. Es necesario suscribir actas de compromiso en el corto, mediano y largo plazo, por parte de todos los actores.
Falta de educación y participación ciudadana, en el manejo ambiental de residuos	• Generar cultura ambiental a través de programas agresivos de educación y concientización ambiental en las aulas y a nivel de la educación no formal.

4. Conclusiones

La afectación al medio ambiente debido a las diversas actividades relacionadas con el manejo de residuos sólidos produce disminución de la calidad de vida de las personas y graves problemas a los recursos naturales. El concepto de regionalización presenta grandes ventajas no solo por optimización de gastos sino por mayor articulación entre los municipios que conforman la región.

Se requiere para llevar a cabo el desarrollo de los programas y proyectos planteados en la actualización del PGIRS Metropolitano de Barranquilla la integración formal de los municipios de Malambo y Soledad, teniendo en cuenta que actualmente se cuenta con la infraestructura y los equipamientos que optimicen las operaciones de disposición de residuos.

En cuanto a aprovechamiento, se presenta un problema de insostenibilidad debido a la baja calidad del material recuperado, no existe continuidad en la oferta, bajos precios, consumo limitado por el sector productivo. A esto se suma las condiciones sociales inadecuadas y la debilidad institucional, técnica, financiera y bajo desarrollo empresarial en las organizaciones de recicladores. Por tal motivo se constituye como prioridad creación de un centro tecnológico de reciclaje y aprovechamiento de residuos sólidos, que disminuya los altos esquemas de intermediación e imprima ciencia y tecnología al manejo de los residuos.

Los esfuerzos que han adelantado en los municipios del AMB sobre Educación Ambiental, han sido dispersos y carentes de políticas claras que motiven a la población sobre el manejo adecuado de los residuos sólidos, motivo por el cual, es necesario la implementación de programas bien estructurados de capacitación y entrenamiento que incorporen tecnologías apropiadas e innovadoras para el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos.

Agradecimientos

Los autores agraden por la información a Área Metropolitana de Barranquilla, AMB.

Referencias Bibliográficas

- [1] Área Metropolitana de Barranquilla. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del área metropolitana de Barranquilla. (Revisión y Actualización) 2005 – 2020, Documento Técnico. 2010
- [2] Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Decreto. Bogotá.
- [3] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución N° 1045 (Septiembre 26 de 2003).
- [4] Salcedo J. A. Visión empresarial de la formulación de los planes de gestión integral de residuos Sólidos, PGIR. V Congreso disposición final de residuos sólidos y perspectivas ambientales en Colombia. 2005.
- [5] Patiño Marin J. M. La Gestión del territorio Metropolitano. 2007
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Lineamientos de Política de Residuos Sólidos. 2008.
- [6] Muñoz Ramos D. V. Propuesta metodológica para el seguimiento y control de los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) de los municipio se de Cali, Yumbo, Jamundí y Vijes. Universidad Autónoma de Occidente. Cali. 2009.
- [7] Área Metropolitana de Barranquilla. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Metropolitano, PGIRS METROPOLITANO. 2005.

Evaluación de alternativas para el manejo de residuos sólidos ordinarios en la ciudad de Cartagena de Indias mediante la metodología del análisis del ciclo de vida

Edgar Quiñones Bolaños, Javier Mouthon Bello, Monica Eljaiek Urzola
equinonesb@unicartagena.edu.co

Resumen

El manejo actual de los residuos sólidos en la ciudad Cartagena muestra un gran avance, en comparación con años anteriores, al disponer los residuos sólidos en un relleno sanitario implementado y operado acorde a las normas nacionales e internacionales. Sin embargo se hace necesario continuar mejorando buscando reducir costos y una mejor gestión en la preservación del medio ambiente. El objeto fue comparar a nivel ambiental la gestión de los residuos sólidos actual denominado E1, en la cual las basuras son llevadas al relleno sanitario sin ninguna clase de aprovechamiento; con los escenarios de aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos (E2) y aprovechamiento de inorgánicos únicamente (E3). Para la evaluación y la planificación ambiental, se utilizó el método del análisis de ciclo de vida utilizando los modelos de potencial de calentamiento global, disminución en la capa de ozono, acidificación y formación de foto oxidantes aplicado a cada uno de los límites del sistema estudiado: a) Transporte, b) Compostaje, c) Reciclaje y d) Disposición. Los resultados muestran que los impactos generados por la Gestión actual en Residuos Sólidos durante todos los procesos de manejo (desde la generación hasta el vertido) son de gran magnitud y se demostró que existen al menos dos mejores opciones de manejo. Esta investigación permitió demostrar que el orden de afectación ambiental de los tres escenarios (Mejor a peor) es el siguiente: $E2 < E1 < E3$.

Palabras Clave: *impacto ambiental, aprovechamiento de residuos, compostaje, reciclaje*

1. Introducción

Cartagena de Indias, se localiza al noroccidente de Colombia en el departamento de Bolívar, sus coordenadas son $10^{\circ} 26'$ latitud Norte y $75^{\circ} 33'$ longitud Oeste, y tiene una extensión de 60 920 ha, divididas en 53 207 ha de área rural y 7 713 ha de área urbana. Es una ciudad puerto sobre el Mar Caribe colombiano con 193 km de costa [1]. Cartagena de Indias, cuenta con 912 674 hab (proyecciones DANE, 2005), los cuales están generando aproximadamente 285 182 ton/año de residuos sólidos entre ordinarios, hospitalarios y especiales. La producción per cápita de los residuos residenciales es de 0.75 kg/hab/día, dicha producción, es alta respecto a ciudades como Bogotá, Medellín y Cali con 0.70; 0.43 y 0.59 kg/hab/día respectivamente. En la actualidad en Cartagena aproximadamente el 100% de los residuos ordinarios recolectados son dispuestos directamente en el relleno sanitario Los Cocos, sin ningún tipo de aprovechamientos, a pesar de la alta producción de residuos orgánicos (77.6 %) y las características físicas que éstos presentan [2]. Es cierto que disponer los residuos en sitios sanitariamente controlados representa un logro ambiental importante, pero en Cartagena aún falta un paso por dar, la gestión integral de los residuos sólidos, que combine la disposición final con el tratamiento, aprovechamiento y valorización. Las preguntas que resultan de este análisis son: ¿el manejo actual de los residuos sólidos es el más adecuado?, y si no lo es, ¿cuál es el escenario más conveniente para una gestión integral de la disposición final, el tratamiento y aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos en la ciudad de Cartagena de Indias?. En busca de respuestas, el análisis del ciclo de vida surge entonces como una herramienta

primordial para evaluar y estudiar diferentes escenarios/alternativas que permitan mejorar el manejo y una gestión integral de los residuos sólidos en Cartagena de Indias.

El análisis del Ciclo de Vida (ACV) es uno de los métodos más reconocidos internacionalmente para la evaluación y planificación ambiental y se define como "un proceso objetivo para evaluar las cargas medioambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, mediante la identificación y cuantificación del uso de recursos (entradas como energía, materias primas, agua) y emisiones medioambientales (salidas al aire, agua y suelo), asociados con el sistema que se está evaluando" [3]. El ACV ha sido aplicado con éxito en otras ciudades como Caracas (Venezuela), Pamplona (España), Gloucestershire (Reino Unido) para evaluar y valorar el manejo de residuos [4].

El presente documento refleja los resultados de una investigación, en que se estudiaron varios escenarios para la evaluación del manejo de los residuo sólidos producidos en este caso en la ciudad de Cartagena de Indias, mediante la metodología del análisis del ciclo de vida, teniendo en cuenta las etapas y procesos por los que éstos pasan desde su generación hasta la disposición final, con el propósito de seleccionar el mejor escenario desde el punto de vista ambiental y que al mismo tiempo aporte formas sostenibles de inversión y recuperación de costos.

Tabla 1. Características de los residuos sólidos producidos en la Ciudad de Cartagena [2]

Inorgánicos (22.4 %)		Orgánicos (77.6 %)		
Vidrio	18.8	Cadmio	mg/kg-Cd Bs	<0.32
Metal	4.5	Cromo total	mg/kg-Cr Bs	0.14 – 1.98
Papel	13.8	Mercurio	mg/kg-Hg Bs	<0.36
Cartón	11.6	Níquel	mg/kg-Ni Bs	0.11 – 1.96
Plástico	34.4	Plomo	mg/kg-Pb Bs	0.085 -30.4
Madera	4.5	Carbono orgánico	(%)	46.3 – 49.7
Caucho y cuero	4.0	Cenizas	(%)	0.64 – 7.3
Textiles	7.1	Humedad	(%)	37.7 – 56.8
Icopor	1.3	Nitrógeno total	(%)	0.34 – 1.30
Total	100	Solidos totales	(%)	45.2 – 62.3
Aprovechable	83.0 %	Solidos volátiles	(%)	92.7 – 97.5

2. Gestión actual de los residuos sólidos en Cartagena

En Cartagena de Indias todavía no hay separación en la fuente, todos los residuos tanto orgánicos como inorgánicos se reciben mezclados en bolsas y son recolectados por dos diferentes empresas que transportan en camiones compactadores más de 23 765 ton por mes hacia el relleno sanitario Loma de los Cocos, en el cual el 100% de los residuos ordinarios son depositados sin ningún tipo de tratamiento o aprovechamiento. En un segundo relleno denominado *La Paz* se disponen los residuos especiales (hospitalarios y los peligrosos provenientes de la industria). El relleno Loma de los Cocos fue diseñado para una vida útil de 20 años (desde 2006) y se encuentra ubicado a 14 km del casco urbano de Cartagena.

La Tabla 1 muestra los rangos de distribución física y química de los residuos inorgánicos y orgánicos característicos de la ciudad de Cartagena. Los residuos sólidos orgánicos (RSO) generados en la ciudad de Cartagena representan en promedio el 77.6% mientras los inorgánicos el 22.4%. Entre los inorgánicos el plástico, es el predominante representando un 34.4 %, mientras el vidrio, el papel y el cartón corresponden a un 18.8 %, 13.8 % y 11.6 % respectivamente. En resumen encontramos que el porcentaje de residuos potencialmente aprovechable, es alrededor del 83.0 % de los inorgánicos. La Tabla 1 muestra que la relación Carbono / Nitrógeno supera los límites máximos para la óptima obtención de compost, 25 – 50 lo que puede afectar la viabilidad técnica de dicha aplicación.

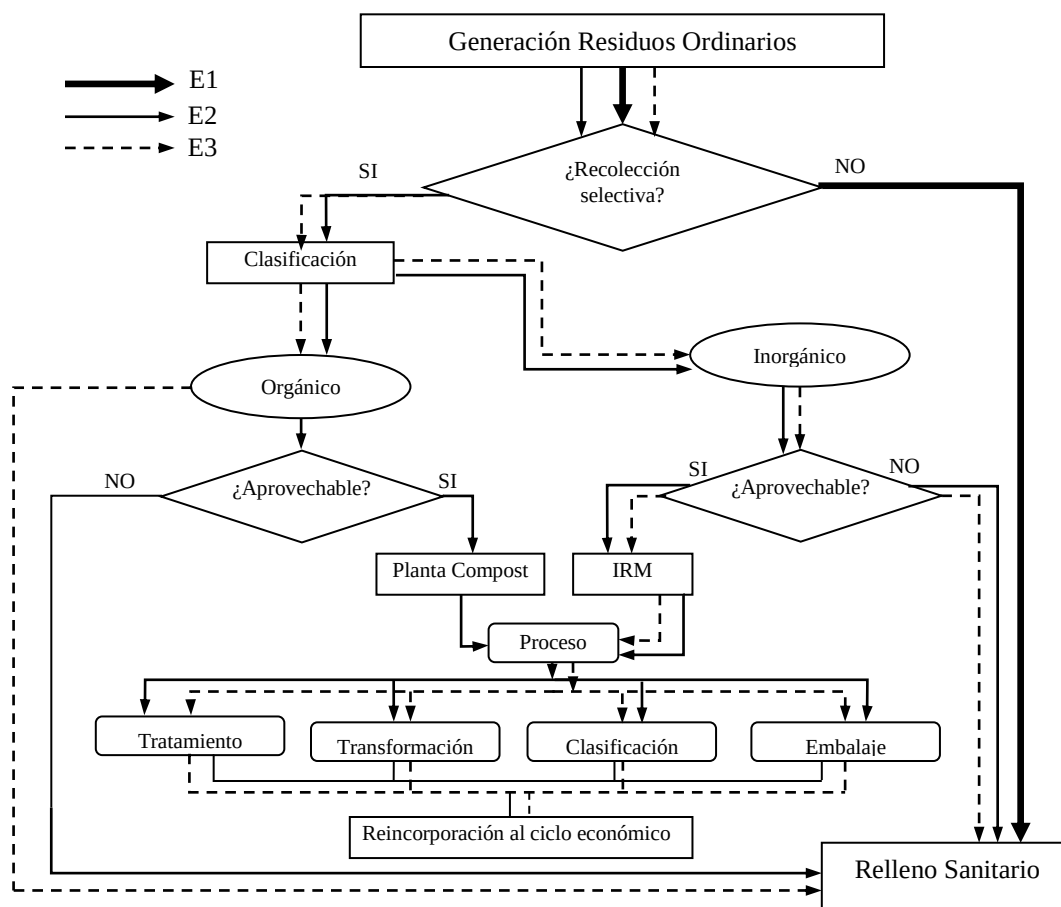


Figura 1. Esquema general de los escenarios E1, E2 y E3

2.1 Selección y descripción de los escenarios de estudio

El diagrama de flujo mostrado en la Figura 1 describe los tres escenarios seleccionados, el E1 indica el estado actual donde no hay ningún tipo de aprovechamiento de residuos mientras que en el E2 se aprovecha tanto los residuos orgánicos como inorgánicos a través de los procesos de compostaje y reciclaje. En el E3 solo se planteó el aprovechamiento de los residuos tales como el vidrio, plástico, metales, papel y cartón a través de instalaciones de recuperación de materiales (IRM). El plan de gestión integral de residuos sólidos para la ciudad de Cartagena fundamenta estos tres escenarios.

2.2 Metodología del análisis del ciclo de vida

El objetivo principal del análisis de ciclo de vida fue el de evaluar los impactos ambientales causados en los diferentes procesos involucrados los escenarios E1, E2, E3 descritos en inciso anterior. El año base para el análisis fue el 2007 por ser el año con mayor información disponible. La cantidad de 285 182 toneladas de residuos sólidos generados en la ciudad de Cartagena de Indias durante el año 2007 fue tomada como la unidad funcional para el ACV. Los datos de inventario se estimaron a partir de información entregada por la interventoría de los operadores de aseo de Cartagena [5] y de [2].

La evaluación de cada uno de los impactos, consistió en aplicar los modelos de potencial de calentamiento global (GWP), disminución en la capa de ozono (OPD), acidificación (AA) y formación de foto oxidantes (POCP) propuestos por el panel intergubernamental sobre cambio climático y por la sociedad de química y toxicología ambiental [3], [6].. El método de estimación

para la elaboración del inventario ambiental fue el método de los factores de emisión [6]. Las emisiones se evaluaron a partir de la combustión del diesel (en el proceso de recolección y transporte), por la digestión de la materia orgánica (compostaje) y por la combustión de la gasolina requerida por la maquinaria que intervienen en cada proceso del ACV. Para el reciclaje, no se consideró necesario cuantificar impactos, pues los residuos solo son sometidos a procesos de selección, separación y recuperación, en su mayoría manual, y no pasan por ningún tipo de tratamiento o transformaciones biológicas o mecánicas.

La evaluación de impacto se completa con la normalización de los resultados obtenidos a una misma unidad como un porcentaje del mayor impacto causada por cada categoría en los tres escenarios. Luego de la normalización de los impactos, se realizó las ponderaciones entre las categorías de impacto estudiadas (GWP100, AA, OPD y POCP), valoradas en una escala de 1 a 4. Para el calentamiento global (GWP100) se determinó el mayor valor en la escala, es decir 4 puntos y secuencialmente, 3 puntos para la acidificación al aire (AA), 2 puntos para la deflexión de la capa de ozono (OPD) y 1 punto para la formación de oxidantes fotoquímicos (POCP).

Finalmente, se multiplicó cada categoría normalizada por su factor de ponderación, se hizo una sumatoria por cada escenario y se dividió entre la sumatoria de los pesos (10), para obtener los resultados totales de cada escenario y luego permitir compararlos entre sí, con el fin de obtener cual sería el más nocivo al ambiente. Los detalles de los procedimientos utilizados en la metodología se encuentran en [6].

3. Resultados y discusión

Todos los procesos estudiados en cada escenario fueron inventariados para obtener los resultados de las entradas y las salidas en cuanto a recolección (selectiva y tradicional), compostaje, reciclaje y disposición final.

La Figura 2 muestra el inventario de emisiones como resultado de la etapa de disposición final de los residuos para los escenarios E1, E2 y E3. En la Figura 2, se puede observar que los contaminantes que tiene mayor incidencia en detrimento del ambiente son el dióxido y el monóxido de carbono. La alternativa de manejo de residuos sólidos que incluye aprovechamiento de orgánicos y de inorgánicos separados en la fuente (E2); al disminuir en un 70% las cantidades de residuos dispuestos (en comparación con la alternativa en la que no se aprovechan, E1), permiten reducir en un 86% las emisiones de gases de efecto invernadero producidas en el relleno sanitario. Con la ventaja adicional de una menor producción de lixiviados (86%). A demás aumenta la vida útil del relleno sanitario, por cuanto se disminuye la carga diaria de residuos.

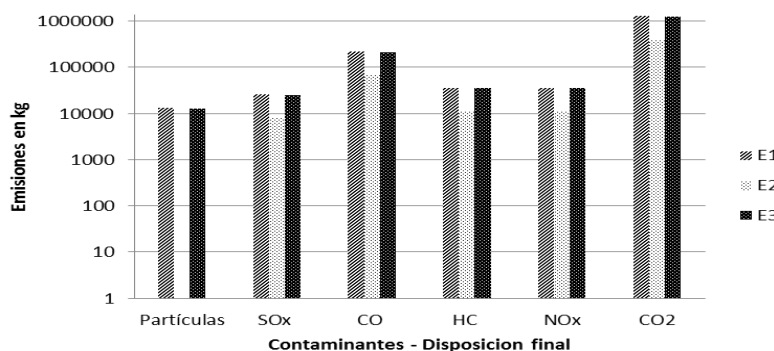


Figura 2. Emisiones de contaminantes en la etapa de disposición final para los tres escenarios

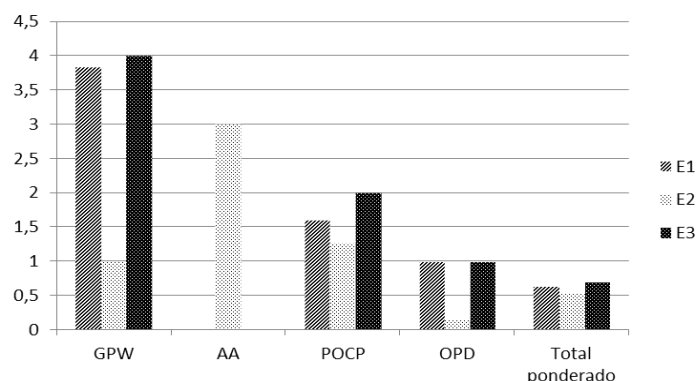


Figura 3. Resultado final de la evaluación ambiental, adaptada de [7]

La disposición final de los residuos, en el relleno sanitario, genera contribuciones para todas las categorías de impacto, las más relevantes se obtuvieron para el efecto invernadero, seguido por la acidificación, la formación de oxidantes fotoquímicos y por último la disminución de la capa de ozono; este orden se mantiene fijo en las tres alternativas de gestión estudiadas. Pero en este proceso la alternativa más afectada es E1 (sistema actual).

La Figura 3 muestra los resultados finales de la evaluación ambiental, la cual indica que el escenario de menor impacto es causado cuando se aplica el aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos simultáneamente y el mayor es causado en el cual se aprovechan inorgánicos únicamente. Lo último se explica, por la baja fracción inorgánica que hace parte de los residuos generados en Cartagena (22,4%), de los cuales se aprovecha solo aproximadamente un 17% (al promediar los aprovechamientos mostrados en la Tabla 1); sumado a esto las emisiones al aire causadas por la mayor cantidad de vehículos necesarios para realizar la recolección.

4. Conclusiones

Esta investigación demostró que la alternativa para un manejo adecuado de los residuos sólidos ordinarios generados en Cartagena, es el escenario E2 para lo cual es necesario implementar el compostaje y el reciclaje como estrategias de aprovechamiento de los residuos ordinarios. Los resultados mostraron que el escenario E2 representa una disminución de 16 % en el impacto ambiental en comparación con el escenario actual, lo que representa un aporte significativo para la protección del medio ambiente en la ciudad de Cartagena. Es importante señalar que estudios preliminares a nivel económico señalan que se requeriría un tiempo mayor a 10 años para recuperar la inversión inicial necesaria para la implementación del escenario E2. Es recomendable adelantar un análisis más completo a nivel económico.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad de Cartagena, al Distrito de Cartagena de Indias por la información suministrada y a las egresadas, Liliana Mercedes Arzuzar Centeno y Olga Luz Atencia Herrera, del programa de ingeniería civil por el trabajo investigativo realizado.

Referencias Bibliográficas

[1] Alcaldía mayor de Cartagena de Indias. Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias (POT). Edición 2001. Cartagena de Indias. Páginas 120.

- [2] Alcaldía mayor de Cartagena de Indias, Universidad de Cartagena. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Cartagena de Indias (PGIRS). Informe Técnico 2007. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena. Páginas 220.
- [3] International organization for standardization. Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. Consulta febrero 20 de 2008. Dirección electrónica: <http://www.iso.org/>
- [4] Güereca, L. P. Desarrollo de una metodología para la valoración en el Análisis del Ciclo de Vida aplicada a la Gestión Integral de Residuos Municipales. Tesis doctoral 2006. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Projectes d'Enginyeria. Barcelona. pp 18-20.
- [5] AFA CONSULTORES Informes operativos de aseo; Enero-Diciembre de 2007 y enero de 2008. Interventoría Integral a la Prestación del Servicio Público de Aseo en la Ciudad de Cartagena.
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1. General Guidance and Reporting. Consulta Mayo 20 de 2008. Dirección electrónica: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>.
- [7] Arzuzar Centeno, L y Atencia Herrera, O. Aplicación del análisis del ciclo de vida (ACV) en la evaluación de alternativas para el manejo de residuos sólidos ordinarios en la ciudad de Cartagena de Indias. Tesis de Pregrado 2008. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cartagena.

Guía de identificación e incompatibilidad de residuos químicos peligrosos generados en escuelas

Maribí Miranda Alcaya, *Marcos Morales Contreras, Edith Gabriela Leal Leal

*marcosmoralesc@yahoo.com.mx

Resumen

En la actualidad, existen dos normas las cuales son de gran importancia en el manejo de los residuos peligrosos y que son básicas para la gestión integral de este tipo de residuo, nos referimos a la NOM-052-SEMARNAT-2005 y NOM-054-SEMARNAT 1993, en donde la primera establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente; en el caso de la segunda, establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos residuos considerados como peligrosos. Toda persona que ha manejado residuos peligrosos en la industria, tuvo que haber utilizado ambas normas en la operatividad para el buen manejo integral para este tipo de residuos, Las dos normas pretenden ser complementarias, en donde primero identificamos los residuos que tienen alguna característica de peligrosidad (CRETIB) y luego establecemos si estos dos son compatibles entre sí, pero tal ejercicio se puede volver complicado en la parte operativa, debido a que existen diferencias muy significativas entre ambas normas, que no permiten en la mayoría de los casos, facilitar la determinación de compatibilidad o viceversa. Por tal razón este trabajo pretende en lo posible subsanar esta problemática y además establecer las bases estructurales de cómo las dos normas puedan fusionarse en una guía simplificada, de fácil uso, disminuyendo el tiempo en la elucidación de la peligrosidad o incompatibilidad sobre residuos que se generan en escuelas o también su uso en el sector industrial.

Palabras Clave: *residuo químico peligroso, residuos peligrosos en escuelas, incompatibilidad, código de reactividad*

1. Introducción

En las diferentes actividades de docencia que desarrollan las escuelas, se utilizan sustancias químicas siendo muchas de ellas peligrosas y generalmente pueden por ende generar residuos químicos peligrosos.

La normatividad existente en el país, que es usada para regular los residuos peligrosos está enfocada hacia el sector industrial, y por lo tanto no aplican de forma directa al sector de servicios, que es en el sector donde se encuentran las escuelas. A pesar de esta limitante es posible extraer elementos de dicha normatividad, lo cual nos puedan ayudar en la identificación e incompatibilidad de los residuos que generamos en las escuelas.

El presente trabajo pretende obtener una guía de fácil uso, basada en dos normas, las cuales son: NOM-052-SEMARNAT-2005[1] y NOM-054-SEMARNAT-1993[2]. Para lo cual será necesario el análisis de éstas y posteriormente obtener una guía fusionada de ambas.

La NOM-052-SEMARNAT-2005, establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Esta norma cuenta con dos tablas y cinco listados en los cuales se encuentran clasificados los Residuos Peligrosos:

Listado 1.- por fuente específica; Listado 2.- por fuente no específica; Listado 3.- fuera de especificaciones o caducos, tóxicos agudos, Listado 4.-residuos fuera de especificaciones o caducos, tóxicos crónicos y Listado 5 los sujetos a condiciones particulares de manejo.

En cuanto a la NOM-054-SEMARNAT 1993, establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. Esta norma contempla dos vías para poder establecer incompatibilidad entre los residuos, por lo cual se analizará cual de las dos procedimientos es el que más se enfoca a los residuos que nos compete hacia nuestra actividad de docencia e investigación.

Las dos normas pretenden ser complementarias, en donde primero identificamos los residuos peligrosos y luego establecemos si estos son compatibilidad entre sí, con la intención de establecer las siguientes etapas en el manejo de los residuos, pero tal ejercicio se puede volver complicado en la parte operativa, debido a que existen diferencias de complementación muy significativas entre estas, que no permiten en la mayoría de los casos, facilitar la determinación de compatibilidad o viceversa. Por tal razón este trabajo pretende en lo posible subsanar esta problemática y además establecer las bases estructurales de cómo las dos normas puedan fusionarse en una guía simplificada, de fácil uso y disminuyendo el tiempo aplicación.

2. Desarrollo

1. Analizar la NOM-052-SEMARNAT-2005 para determinar las tablas y listados que servirán para poder hacer la Guía.
2. Identificar cual de las dos formas de la NOM-054-SEMARNAT 1993 se adapta mejor a nuestros residuos.
3. Establecer la relación entre los Residuos Peligrosos de la norma 052 y su incompatibilidad de acuerdo a la NOM-054-SEMARNAT 1993.
4. Estructurar y completar la guía añadiendo datos que faciliten la aplicación y operación.

2.1 Metodología

1. Se llevó a cabo un análisis de la NOM-052-SEMARNAT-2005, la cual comprende una tabla y cinco listados, que fueron analizados. En cada uno de ellos se buscó que el contenido en estas listas se asemejen con los residuos que son generados en forma particular en los laboratorios de las escuelas.

2. Se realizó un análisis de la NOM-054-SEMARNAT-1993 en el cual se detectaron dos vías para la identificación de incompatibilidad de residuos peligrosos, una de ellas a través del Anexo 1 y 2 que permite identificar la incompatibilidad entre residuos a través de grupos químicos y la otra a partir del Anexo 4 y 5, con el cual se llevará a cabo la identificación de acuerdo a la actividad que origina el residuo. La vía elegida tendría que ser compatible con los listados que se hayan seleccionado en el primer objetivo.

3. Habiendo identificado los listados de las sustancia incluidas en los residuos de la NOM-052-SEMARNAT-2005, se procedió a establecer cuales se encontraban en los listados de los anexos de la vía que se eligió de la norma de incompatibilidad. Para realizar tal actividad se procedió a utilizar ambas normas, estableciendo la relación de todas las sustancias químicas que se

extrajeran de la NOM-052-SEMARNAT-2005 y posteriormente buscar que existieran dentro de los anexos de la NOM-054-SEMARNAT 1993.

4. Se analizó información que permitiera establecer en la guía puntos extra, los cuales contribuirán a identificar más rápidamente el residuo y de igual forma acertar en el tipo de interacción química que se puede presentar entre los componentes de los residuos para aplicar la NOM-054-SEMARNAT 1993.

3. Resultados y análisis de resultados

1. Para el presente trabajo se llevó a cabo un análisis de la NOM-052-SEMARNAT-2005, en los componentes de esta, que ayudan en la identificación de residuos, y que consta de una tabla y cinco listados, de las cuales se escogieron las listas 3 y 4 que corresponden a la clasificación de los residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos de acuerdo a su efecto tóxico crónico o tóxico agudo según corresponda. Éstos fueron elegidos debido a la semejanza que estos presenta con los residuos generados en la escuela.

2. Respecto a la NOM-054-SEMARNAT 1993, después de haber realizado su análisis se tomó la decisión de emplear los Anexos 1, 2 y 3 para identificar la incompatibilidad de los residuos peligrosos de la NOM-052-SEMARNAT-2005, debido a que el listado comprende el nombre de sustancias químicas, tendríamos que relacionar y encontrar a estas en la NOM-054-SEMARNAT 1993, de donde resultó aceptable para ello el Anexo 1, que permite reclasificar a estas sustancias por grupo químico y relacionarlas en el Anexo 2 para ver su compatibilidad, o inversamente su incompatibilidad con los códigos de reactividad del anexo 3 de la norma mencionada.

3. La NOM 052-SEMARNAT-2005, consta de 381 compuestos diferentes y en esta primer propuesta, se clasificaron en tres colores distintos. Se observa de color azul, como lo muestra la figura 1, el 39.1% de los compuestos listados de la NOM-052-SEMARNAT-2005 no se encuentran en forma directa en los nombres de la lista de grupos del anexo 1 de la NOM-054-SEMARNAT 1993 (solo 149 compuestos de los 381), mientras que de color verde y rosa se visualizan 232 compuestos (60.89%) no se encuentran en dicha norma, por tal motivo se tiene problemas de complementación entre estas.

Los compuestos no encontrados, fueron clasificados en los grupos del anexo 1, NOM-054-SEMARNAT 1993, en base a investigación bibliográfica [3], se logró clasificar al 50.91% (color rosa, fig.1), sin embargo, pese a lo anterior, 38 restante (9.97%) en color verde en la guía, presentaron problemas debido a lo complejo y a la dualidad de los grupos químicos que se encuentran en esta sustancias que no permiten fácilmente ubicarlas en el anexo 1, de la NOM-054-SEMARNAT 1993. Tal situación expone la necesidad de asesoramiento de un experto en nomenclatura química que permita solventar los puntos anteriormente señalados.

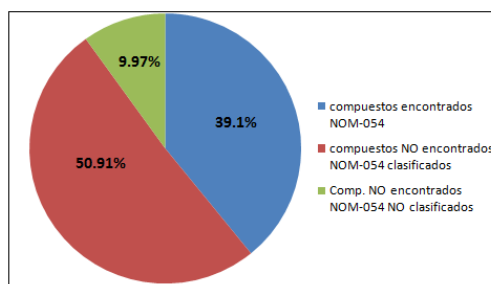


Figura 1. Porcentaje de compuestos presentes en los listados 3 y 4 de la NOM-052 encontrados en el anexo 1 de la NOM-054

4. Se estableció la relación entre los residuos peligrosos de la NOM-052-SEMARNAT-2005 y su incompatibilidad de acuerdo a la NOM-054-SEMARNAT 1993, estructurando una tabla que contiene las sustancias que hacen peligrosos a los residuos de los listados 3 y 4 de la NOM-052-SEMARNAT-2005, además del # de CAS y el Código de Peligrosidad de los Residuos (CPR). Con ayuda del Anexo 2 de la NOM-054-SEMARNAT 1993 se le añadió a cada una de las sustancias los grupos químicos a los cuales corresponde, así como los grupos entre los que son compatibles e incompatibles, y en el caso de haber incompatibilidad se les colocó los códigos de reactividad correspondientes.

La tabla 1, está conformada por 381 compuestos de la norma de identificación, 130 de listado 3 y 251 del listado 4, para cada uno de ellos se estableció lo siguiente:

- # CAS: Número del Servicio de Resúmenes Químicos
- CPR: Código de Peligrosidad del Residuo
- Fórmula química: Representación de los elementos que forman un compuesto y la proporción en que se encuentran.
- Nombre IUPAC: Sistema de nomenclatura de compuestos químicos
- Sinónimos: Nombre común
- Grupo reactivo: Grupo en el que se reclasifican los compuestos químicos de acuerdo al anexo 1 de la NOM-054-SEMARNAT 1993.
- Código de reactividad: Clasificación que representa los efectos negativos que produce la mezcla de los residuos.
- Grupos con los que es compatible: Son los grupos con los que se pueden mezclar sin efecto negativo
- Grupos con los que no es compatible: Son los grupos con los que se no se pueden mezclar debido a que causan efectos negativos.

A continuación se muestra una pequeña parte (Ver tabla 1) de la propuesta del proyecto en donde se pueden observar los componentes que se están elaborando para el instrumento guía:

A	B	C	D	E	F	G	H	I
# CAS	CPR	Fórmula química	Nombre en la NOM 052	Nombre IUPAC y/o nombre comercial	Grupo reactivo	Código de Reactividad	Grupos con los que es compatible	Grupos con los que no es compatible
87-86-5	(Th)	C_6HCl_5O	Pentaclorofenol	Chlorophen// Pentachlorophenate// 2,3,4,5,6- Pentachlorophenol	17	H, gt, F, G, E, gf,	3, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 24, 26, 31, 32, 33, 34, 101, 102, 103	1, 2, 7, 8, 10, 11, 20, 21, 22, 23, 25, 30, 104, 105, 106, 107
79-00-5	(Ti)	$C_2H_3Cl_3$	1,1,2-Tricloroetano	1,1,2-Tricloroetano / Tricloruro de vinilo / beta-Tricloroetano	17	H, gt, F, G, E, gf,	3, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 24, 26, 31, 32, 33, 34, 101, 102, 103	1, 2, 7, 8, 10, 11, 20, 21, 22, 23, 25, 30, 104, 105, 106, 107
94-58-6	(Ti)	$C_{10}H_{12}O_2$	Dihidrosafrole	Dihidrosafrole / 3,3'-Dimetoxibencidina				

Tabla 1. Primera propuesta del instrumento guía de la fusión de normas

A la tabla se le añadió sinónimos de los nombres químicos de los compuestos (columna E) que no están en la norma de identificación, con la finalidad de facilitar la búsqueda a personas que no son

expertos en el tema; aunado a lo anterior se colocó una columna para el nombre IUPAC (columna D) y favorecer de otra manera la identificación, con el objeto de homogeneizar la nomenclatura.

Se agregó también la fórmula condensada (columna C), el número de CAS (columna A) para ubicar de forma rápida y fácil el compuesto; el CPR, código de reactividad, el grupo reactivo, los grupos con los que es compatible y con los que no lo es (columnas B, G, F, H e I respectivamente). Estas cinco columnas tienen por objeto agilizar y facilitar la identificación de incompatibilidad entre residuos peligrosos.

4. Conclusiones

Esta Guía pretende ser un instrumento que permita agilizar y facilitar la identificación de residuos peligrosos en escuelas o centros de investigación, además de establecer si existe incompatibilidad entre estos, aún cuando los alumnos, docentes e investigadores cuenten con conocimientos muy básicos sobre química. Sin embargo ésta puede ser de gran utilidad para la identificación de la incompatibilidad de residuos generados también en el sector industrial, por tal motivo se pretende extender contenido de la guía mas allá de las normas, por lo que se está trabajando sobre este punto.

El tratar de fusionar las normas en un instrumento único nos ha permitido establecer que no son totalmente correlacionables entre sí, existiendo huecos o fallas durante la operación sucesiva de estas dos normas; estas imperfecciones técnicas se están filtrando y descartando con el afán de que la guía no repita los mismos problemas antes mencionados.

El proyecto pretende que la guía aporte varias ventajas sobre las normas originales, que coadyuven en la parte operativa de su aplicación, tales como el permitir la identificación de compuestos de los residuos de diversas formas: por nombre IUPAC, sinónimos del nombre, # CAS y fórmula condensada. También simplifica el trabajo, ahorrando tiempo para el operador que realiza la identificación de incompatibilidad, porque en forma automática al encontrar el compuesto en la lista del instrumento se conocerá en forma directa con que residuos es incompatible con este, evitando realizar todo el procedimiento de incompatibilidad requerido por las normas como actualmente se lleva a cabo.

Referencias Bibliográficas

- [1]NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y listados de los residuos peligrosos. Publicado en el diario oficial de la federación el 23 de junio de 2006.
- [2] NOM-054-SEMARNAT 1993, Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM- 052- SEMARNAT-1993
- [3]William H. Brown. Introducción a la Química Orgánica. 2da Edición. Editorial CECSA. Páginas 37, 51, 189, 222, 259, 281, 31

Indicadores para construir un modelo de evaluación de programas de manejo de residuos sólidos municipales

Adriana Puma-Chávez, Carolina Armijo-De Vega, Nelly Calderón- De La Barca, Juana Claudia Leyva-Aguilera, Sara Ojeda-Benítez
adrypuch@hotmail.com

Resumen

Los proponentes de iniciativas de manejo de residuos sólidos, requieren de herramientas que les permitan determinar su eficiencia tanto desde la perspectiva ambiental como desde la económica y social, y así tomar las decisiones más apropiadas para el mejoramiento del servicio. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un instrumento de evaluación, a través de un conjunto de indicadores integrados en un modelo, para medir la efectividad con la que operan los programas de manejo de residuos sólidos urbanos. La metodología consistió en ajustar indicadores de desempeño de programas de manejo de residuos al modelo de Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR). Se identificaron y eligieron los indicadores de mayor relevancia, mediante un proceso de selección hecho a través del análisis de opiniones de un grupo de expertos en residuos, revisión bibliográfica de indicadores, así como análisis de los indicadores propuestos por el Programa de Manejo de Residuos (PROMARE). Se trabajó con 18 indicadores con los que se diseñó una lista de control para su aplicación en el modelo FPEIR. Este modelo ayudará a los tomadores de decisiones optimizar el desempeño de Programas de Manejo de Residuos.

Palabras Clave: *indicadores, monitoreo, seguimiento, sistemas de residuos*

198

1. Introducción

A medida que las economías del mundo se han integrado y la economía mundial prospera, se ha generado una creciente preocupación acerca de cómo estas tendencias afectan al medio ambiente. La relación entre globalización y medio ambiente es un tema bastante polémico en los círculos políticos que ha provocado una constante atención académica a los retos que los estudiosos y los políticos enfrentan [1]. Esto ha llevado a que los problemas ambientales sean temas prioritarios de las reuniones internacionales convocadas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), de las cuales han surgido tratados internacionales que establecen objetivos y metas hacia el desarrollo sostenible [2]. Entre estos temas figura el aumento en el volumen de residuos sólidos generados, que constituyen uno de los problemas más preocupantes a nivel mundial, siendo la variación porcentual en la generación de residuos mayor al incremento poblacional [3], lo que provoca diversas problemáticas en la gestión de los residuos sólidos municipales (RSM), que representan sólo una parte de los residuos generados, pero consumen alrededor de la tercera parte de los recursos invertidos por el sector público para abatir y controlar la contaminación [4].

México ha aprovechado las experiencias de otros países en su organización de políticas internacionales y locales, relacionadas con temas medioambientales que den respuestas a problemas comunes de forma práctica y coordinada [5]. Para atender la problemática derivada de los residuos sólidos, el gobierno de México publicó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) la cual se integró al Plan de Desarrollo del 2007-2012. La Ley contempla un enfoque preventivo y, para lograr sus objetivos, se basa en la aplicación del principio de responsabilidad compartida pero diferenciada, de todos los sectores sociales que generan y manejan residuos. Así mismo designa a las entidades federativas y a los municipios como responsables de elaborar e instrumentar los programas locales para la prevención y gestión integral de los residuos

sólidos urbanos y de manejo especial [6]. El uso de indicadores facilita el seguimiento al cumplimiento de metas y objetivos de los programas ambientales, éstos también han sido usados para evaluar el desempeño de programas de manejo de residuos, basado en el análisis de los procesos desde la generación de los residuos hasta su disposición final [7].

En el municipio de Ensenada, aún con la corresponsabilidad entre Gobierno y ciudadanos establecida en la Ley, se han enfrentado varios retos del manejo responsable de residuos sólidos. Las últimas dos administraciones han puesto en marcha programas de manejo y reducción de residuos en diferentes sectores, como en el escolar [8]. Dicho esfuerzo se ha visto respaldado por otras iniciativas se han puesto en marcha a través de programas impulsados por organizaciones no gubernamentales. En busca de disminuir la cantidad de residuos que tienen como destino final el relleno sanitario, así como reducir los costos de disposición final de residuos, prolongar la vida útil del relleno sanitario, y ayudar a mitigar el impacto ambiental derivado del manejo de los residuos sólidos urbanos. A pesar de estos esfuerzos las cantidades de residuos que llegan al relleno sanitario siguen siendo cada vez mayores, lo que lleva a cuestionarse ¿Qué tan exitosos son los programas de manejo de residuos puestos en marcha? ¿Cómo miden su éxito esos programas? ¿Qué indicadores se requieren para realmente medir el desempeño de un programa de manejo de residuos? ¿Se pueden integrar los indicadores de desempeño de programas de residuos en un modelo para la toma de decisiones? Tratando de responder estos cuestionamientos se planteó el objetivo de este trabajo, que fue el desarrollar un instrumento de evaluación, a través de un conjunto de indicadores integrados en un modelo, para medir la efectividad con la que operan los programas de manejo de residuos domiciliarios.

2. Metodología

Para la construcción del modelo de evaluación de programas de manejo de residuos, el trabajo se dividió en dos fases principales: 1) Construcción y definición de indicadores e, 2) Integración de los indicadores al modelo Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR) ampliamente descritas por Puma [9], a continuación una breve descripción.

2.1 Construcción y definición de indicadores

En la Figura 1 se resumen los pasos seguidos para la construcción de indicadores.

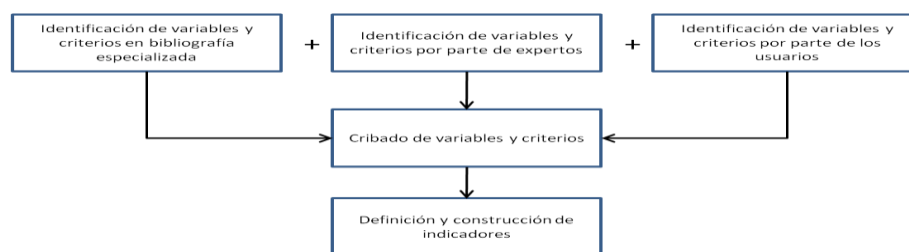


Figura 1. Pasos seguidos para la construcción de indicadores

A continuación se describen brevemente estos pasos.

a). *Identificación de criterios y variables en literatura especializada:* Se revisaron más de 180 publicaciones de literatura especializada sobre residuos sólidos en la que se reportaran métricos desarrollados en el tema de manejo de residuos sólidos, de estas se seleccionaron 21 publicaciones en donde se identificaban claramente factores, criterios y variables relacionados con el manejo de residuos.

b). *Variables o elementos identificados por expertos:* Para la definición del sistema de manejo de residuos y sus elementos se aplicó la metodología de *Grupo de Expertos* sugerida por Briones [10]

que permite conocer los factores que facilitan o dificultan el progreso de un sistema como lo es el manejo de residuos sólidos domiciliarios. Para consultar a los expertos se diseñó una entrevista semiestructurada [11], de la cual se identificó el conocimiento, expectativas, sugerencias, variables y elementos que entran en juego en los programas de manejo de residuos.

$n = \frac{N * Z^2 * q * p}{E^2(N-1) + Z^2 * q * p}$ c). *Identificación de elementos importantes en programas de residuos por parte de usuarios:* Para conocer cuáles son los elementos importantes para los usuarios de los programas de manejo de residuos se construyó un cuestionario el cual se aplicó a una muestra representativa de la comunidad de El Sauzal de Rodríguez (comunidad ubicada al Norte de la ciudad de Ensenada), elegida por ser la comunidad objetivo del Programa de Manejo de Residuos (PROMARE). El cuestionario se validó mediante tres pruebas piloto de 25 encuestas cada uno y se aplicó. El tamaño de muestra se calculó mediante la fórmula (1) de muestreo aleatorio simple y estimación de proporciones para una población finita, al 95% de confianza sugerida por Ferreras [12] y Pita [13]. La aplicación de la fórmula a la población de El Sauzal da como resultado un tamaño de muestra de 75.

(1)

Donde:

N= 9450 habitantes

Z= 1.96

E= 0.05

p= 1/máximo no. de opciones de respuestas

p= 1/7 = 0.11

q= 1-p = 0.89

El análisis de los datos obtenidos de la aplicación del cuestionario, se realizó con el programa SPSS 10. Del cual se eligió a aquellos elementos que en opinión de la comunidad eran relevantes y se creó un cuadro de análisis en el que se anotaron los factores mencionados por la comunidad y los mencionados por la literatura, eligiendo los factores externos más relevantes, en base a la frecuencia de mención. Los elementos seleccionados se usaron después en el modelo FPEIR que se menciona más adelante.

d). *Cribado de variables y criterio:* A partir de los criterios obtenidos de las publicaciones se creó una matriz de criterios de literatura en cuyas celdas se anotó la frecuencia con la que cada criterio era mencionado. Para la selección de los criterios más importantes se consideró que serían aquellos que fueran mencionados por más de 6 autores.

De igual manera se construyó una tabla de comparación para los criterios obtenidos en la consulta a expertos, en la que se contrastaron los criterios mencionados por expertos contra expertos entrevistados, seleccionando sólo aquellos criterios mencionados por lo menos por cuatro expertos.

Las listas de los criterios obtenidos de las consultas bibliográficas y de expertos, se compararon con la lista de criterios propuestos por el PROMARE, generando un nuevo cuadro de comparación donde los criterios mencionados en dos de las listas, se quedaban para formar parte de los criterios definitivos de evaluación.

Para asignar criterios, se consideraron primero aquellos que fueran relevantes para la literatura y expertos, posteriormente se integraron aquellos criterios que se mencionaron simultáneamente en los tres cuadro comparativos (PROMARE, literatura y expertos).

e). *Construcción de indicadores:* A partir de la lista de criterios obtenidos de la comparación de criterios de la literatura, expertos y PROMARE, se seleccionaron indicadores para cubrir cada uno de los criterios definitivos. Para la construcción de cada indicador fue necesaria la búsqueda de datos relevantes para el criterio, que permitiera generar rangos de evaluación del indicador, donde 3 es el ideal o valor máximo y 1 el mínimo, para cada variable evaluada, basada en lo reportado por AMMAC [14] y Lorax [17]. En cuanto a las variables de tipo cualitativo se obtuvieron de la

encuesta y lo sugerido por Armijo [18] y Cota [19]. Se crearon fichas para cada indicador, según lo propuesto en el manual de Sistema de Indicadores de Desempeño realizado por AMMAC [14].

2.2 Integración de los indicadores al modelo FPEIR

Basados en el modelo FPEIR, se construyó un esquema del Sistema de Manejo de Residuos, en el que se integró la lista de factores externos en el sistema de manejo de residuos así como los indicadores. El modelo cuenta con indicadores de Causa, Presión, Estado, Impacto y Respuesta en el que se evalúa el estado de cada criterio mediante la siguiente fórmula (2):

$$\begin{aligned} \text{Estado} = F(x) &= [(-\text{causa}) + (-\text{presión})] = (\text{respuesta}) \\ \downarrow \text{Eimpacto} \rightarrow \uparrow \text{Eideal} &= f(\text{presión}, \text{respuesta}) \end{aligned} \quad (2)$$

3. Resultados y discusión

Como resultado del análisis se obtuvieron 18 indicadores, 16 fijos aplicables al sistema de manejo de residuos en general y dos móviles según sea el tipo de programa particular o municipal. Para cada indicador se construyó una ficha descriptiva.

Con los indicadores se crearon siete esquemas del sistema de manejo de residuos, uno para cada uno de los siguientes sub índices: Cobertura, Generación, Costo, Difusión, Recursos, Eficiencia y Composición. Cada esquema integró al modelo FPEIR los indicadores generados en este trabajo. Para esto se identificaron los criterios que evalúan cada uno de los elementos del modelo, en algunos casos, como es el de difusión, participación y percepción social se aplican los mismos indicadores para la evaluación de los criterios.

Los indicadores seleccionados surgieron de diversas fuentes, sin embargo de la literatura revisada, solamente la OCDE [21] y Rodríguez [22] integran metodologías de tipo cualitativo y cuantitativo para dar seguimiento a la gestión de residuos, lo que sugiere la necesidad de integrar los aspectos sociales a la evaluación de los sistemas de manejo de residuos, para tener una visión global del problema y los factores que lo alteran. Pese a ello la propuesta de la OCDE [21] se enfoca en condiciones de tipo nacional/regional y global, lo cual no permite representar las condiciones reales de un sistema de residuos que se maneja a nivel local; mientras que Rodríguez [22] analiza la aplicación de los instrumentos legales en el tema de manejo de residuos con el propósito de tener el manejo de residuos como indicador de “buenas prácticas”.

La OCDE [21] desarrolló tres indicadores clave bajo la metodología del modelo FPEIR, generación, tratamiento y disposición, para uso nacional/regional y global, por lo que se dificultaría su uso si se quieren aplicar éstos en contextos más locales. Por su parte la Guía de Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos [23], sugiere una lista de más de 100 indicadores. Tal cantidad de indicadores es muy elevada para el manejo práctico del monitoreo. Las diferencias entre dichas propuestas, denotan la necesidad de contar una herramienta eficaz y sencilla, que logre constituir una visión general del problema que enfrenta el manejo de los residuos a nivel local.

Los indicadores para monitoreo de los programas de manejo de residuos domiciliarios domésticos formulados en el presente estudio, que competen a los gobiernos municipales según la LGPGIRS [20], representa una forma sencilla de medir el avance de un programa de manejo de residuos por el menor número de indicadores que maneja en comparación a los otros modelos descritos. Ya que su construcción se basó tanto en aspectos sociales como técnicos del manejo de residuos, los hace indicadores más apegados a la realidad del contexto en el que se haya implantado el programa de manejo que se desee evaluar.

4. Conclusión

En la construcción de indicadores para la gestión de residuos es importante la combinación de información cualitativa y cuantitativa de modo que se visualice tanto sea posible el sistema completo de Manejo de Residuos Domiciliarios, para lo cual es necesaria una herramienta integradora como el Modelo FPEIR. Así mismo, el uso de indicadores en el manejo de residuos debe ser de aplicación local pues más del 60% de los trabajos de residuos, está enfocado en la gestión de residuos a gran escala, principalmente orientados a programas a nivel municipal.

Los estudios de manejo de residuos a nivel nacional son escasos y los existentes están predominantemente enfocados a la descripción del problema de manejo de residuos. Existe necesidad de contar con herramientas que permitan controlar las fallas que presenta el sistema y que se enfoquen en la evaluación del mismo en su totalidad pues solo el 7% de toda la literatura revisada evalúa al sistema completo, lo que evidencia la necesidad de contar con herramientas que estén enfocados a la evaluación del sistema completo de manejo de residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Gallagher, K.P. "Economic Globalization and the Environment". *Annual Review of Environment & Resources*. 34(1). 2009. Pp.279-304.
- [2] Ibarra, A.L. "Observatorios urbanos locales en la evaluación ambiental de las ciudades". *Simposio de Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas*. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C. 2009.
- [3] Organización de las Naciones Unidas. 2001 (Octubre, 2010) <http://www.latautonomy.org/Indicadores.PDF>
- [4] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2005 (13 de Mayo de 2009). http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores04/04_solidos/intro_solidos.shtml
- [5] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 2008.
- [6] Cortinas, C. "Guía para facilitar la interpretación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos". *Diario oficial de la H. Cámara de Diputados, México*. 2003.
- [7] Sartor, A. "Los residuos, un componente a considerar en la sustentabilidad del sistema urbano. La complejidad de su gestión: caso Bahía Blanca". *IV Seminario latinoamericano de calidad urbana*. 2008. Pp.14.
- [8] Arenas-Lio, V. Octubre 2008. *Comunicación personal*.
- [9] Puma Chávez, A. Armijo de Vega, C. Leyva Aguilera, J.C. Calderón de la Barca Guerrero, N. Ojeda Benítez, S. "Instrumento de evaluación para los programas de manejo de residuos domiciliarios". *Revista de investigación ambiental, ciencia y política pública*. 2011. (en prensa).
- [10] Briones, G. *Metodos y tecnicas de investigación para las ciencias sociales*. 1ra Edición. 2003. Ed. Trillas. México. Pp. 45-64.
- [11] Hernández Sampieri, R. Fernández Collado, C. Baptista Lucio, P. *Metodología de la Investigación*. 4ta. Edición. 2008. Ed. McGrawHill. México. Pp.273-407.
- [12] Ferreras M.L, Rodríguez-Osuna J. y Nuñez A. Inferencia estadística, Niveles de precisión y diseño muestral. *Revista española de investigaciones sociológicas*. No.54. 1991. Pp. 139-166.
- [13] Pita-Fernández, S. *Determinación del tamaño muestral*. 1996 (24 de enero de 2011). <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras2.asp>
- [14] AMMAC. *Manual de Implementación del Sistema de Indicadores de Desempeño (SINDES)*. 2008. México. Pp 89.
- [15] SEMARNAT. *SEMARNAT PUBLICACIONES*. Diciembre de 2009. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/08_residuos/cap8.ht
- [16] Departamento de Ecología Ensenada. *Plan de manejo integral de residuos sólidos*. 2006. Municipio de Ensenada.

- [17] Lorax Consultores. *Programa de manejo de residuos domiciliarios en El Sauzal de Rodríguez (Anteproyecto Ejecutivo)*. 2008. Ensenada, B.C.
- [18] Armijo, C. "Waste Management in Mexico: key variables in play The case of the Autonomous University of Baja California". *Lambert Academic Publishing. Saarbrücken Germany*. 2010. Pp 294.
- [19] Cota, E. *Percepción Social de la Basura en Ensenada. Tesis de maestría en Estudios y Proyectos Sociales*. Mexicali, B.C., México: Universidad Autónoma de Baja California. 2005.
- [20] Cortinas, C. *Diez Recomendaciones Clave del Grupo de tareas sobre sustentabilidad ambiental*. (2005) www.cristinacortinas.com.
- [21] OCDE. *Indicadores Ambientales. Desarrollo, medida y uso*. División de rendimiento de información ambiental. 2003. París Francia.
- [22] Rodríguez, L. "Gestión local e intergubernamental de los residuos sólidos urbanos. Una evaluación de buenas prácticas en los municipios mexicanos". *Memorias del segundo encuentro de expertos sobre residuos sólidos*. 2009. Morelia, Michoacán. México. Pp. 12
- [23] SEMARNAT. *Guía para la elaboración de programas municipales para la gestión integral de residuos sólidos urbanos*. 2006. México.

Identificación de la problemática de operación (operatividad) de la NOM-054-SEMARNAT-1993 y sus posibles soluciones

Edith Gabriela Leal Leal, Marcos Morales Contreras, Maribí Miranda Alcaya
marcosmoralesc@yahoo.com.mx

Resumen

La NOM-054-SEMARNAT-1993, que establece la Incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, fue analizada detalladamente, encontrando errores e incongruencias que dificultan su aplicación y pueden generar serios problemas durante las etapas de almacenamiento, transporte y confinamiento por incompatibilidad entre residuos peligrosos. Entre los errores encontrados, se puede mencionar que existen casos en donde el mismo residuo se encuentra en dos grupo reactivos diferentes (anexo 1 de la NOM-054-SEMARNAT) y al aplicar el anexo 2 son incompatibles, esto no debe ocurrir porque hablamos del mismo residuo. En otro caso analizado, ocurre que residuos que se encuentran tipificados en un grupo reactivo, pueden ser tipificados en otro grupo reactivo diferente de la misma norma de incompatibilidad, a lo cual no se hace referencia en el documento oficial. La NOM-054-SEMARNAT-1993 debe de establecer la incompatibilidad de los residuos considerados como peligrosos de la NOM-052-SEMARNAT-2005, sin embargo, después de una comparación entre normas, se encontró que existe incongruencia entre éstas ya que no todos los residuos enlistados en la NOM-052 se encuentran en la NOM-054, lo cual presenta una falta de relación generando un problema para identificación directa de incompatibilidad. Por esto y otros motivos se considera que la norma requiere una actualización en la que se corrijan los errores encontrados, para evitar posibles problemas al operar el manejo de los residuos peligrosos.

204

Palabras Clave: *incompatibilidad, mezcla, residuo, peligroso*

1. Introducción

Un residuo es considerado como peligroso, al cumplir con las características CRETIB, es decir Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad ser Biológico-infeccioso. La generación de dichos residuos se da principalmente por establecimientos industriales, comerciales y de servicios. La industria de la transformación constituida básicamente por micro y pequeñas empresas es una generadora potencial de residuos peligrosos.

De acuerdo al Compendio de Estadísticas Ambientales 2010 del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), -en el periodo del 2004 al 2009-, se ha identificado 22,978.39 toneladas de residuos peligrosos generados en México. De las principales fuentes generadoras de residuos peligrosos en México se tiene la industria metal mecánica, maquiladora, textiles, curtiduría, impresión, fabricación de muebles, entre otras. Estas industrias deben llevar a cabo un manejo integral de los residuos peligrosos, por lo que se deben:

Identificar los residuos peligrosos, realizar la recolección de estos, determinar la compatibilidad e incompatibilidad entre ellos para posteriormente poder envasarlos y etiquetarlos y después almacenarlos ya sea para que sean valorizados y si es posible enviarlos a -un coprocesamiento a través de la reutilización y reciclaje, o que sean transportados a un centro de acopio para su exportación o, en el último de los casos, darles algún tratamiento para su disposición final.

Durante el manejo de residuos peligrosos probablemente sea necesaria la mezcla, el almacenamiento o transporte conjunto de dichos residuos, lo cual si no se hace correctamente puede ocasionar diversas reacciones, como generación de calor, fuego, gases tóxicos o inflamables, solubilidad de metales, entre otras. -Es por esto que, para evitar algún tipo de daño a la salud o al ambiente, es necesario aplicar la NOM-054-SEMARNAT-1993 [1], la cual establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 [2] al envasar, almacenar, transportar y confinar los residuos mencionados anteriormente.

Dicha norma consta de 5 anexos, los cuales facilitan la identificación de la incompatibilidad entre residuos peligrosos de dos maneras: utilizando los anexos 1 y 2 ó los anexos 4 y 5. Dos de estos, el 1 y el 4, clasifican a los compuestos por grupos reactivos, uno por grupo químico y el otro por tipo de fuente que los genera, respectivamente. También se encuentran los anexos 2 y 5 que son tablas que al interceptar los grupos reactivos permiten conocer si son compatibles o no, ya que si en dicha intersección aparece un código llamado “Código de reactividad”, esto significará que son incompatibles, pero si esta se encuentra en blanco significará que son compatibles. En el Anexo 3 se encuentra el significado de cada Código de reactividad es decir las consecuencias de la reacción que provoca la mezcla de cada grupo reactivo.

La NOM-054-SEMARNAT-1993, -menciona en su título que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, es decir que esta norma es una herramienta para el manejo adecuado de las sustancias que se encuentran en la norma 052, ya que después de haber identificado los materiales peligrosos, se hace la posterior determinación de incompatibilidad entre estos.

De acuerdo a las necesidades que se presentan en la industria con respecto al manejo adecuado de sus residuos peligrosos la NOM-054-SEMARNAT-1993 es de gran relevancia desde su identificación, etiquetado, almacenaje, para que posteriormente sean transportados ya sea con fines de darles otro uso o bien un tratamiento para su disposición final. Esta norma presenta varios errores que deben ser corregidos como son de escritura, incongruencia de incompatibilidad entre grupos reactivos, e incluso se requiere complementarla para que una herramienta más integral y completa, esto es precisamente para llevar a cabo un manejo correcto de los residuos generados. Por tal motivo es recomendable llevar a cabo las revisiones correspondientes para determinar si se deben realizar actualizaciones que permitan facilitar la operatividad de dicha normas o bien eliminar detalles que impidan su adecuada utilización.

2. Metodología

2.1 Verificar la concordancia de las sustancias del anexo 1 respecto a su incompatibilidad obtenida de acuerdo al diagrama del anexo 2

Se realizó la identificación de grupos reactivos de acuerdo al Anexo 1 de la NOM-054-SEMARNAT -1993 y al encontrarse que varias de éstas pertenecen a más de un grupo reactivo, se verificó según el Anexo 2 de esta misma norma que no existieran contradicciones en cuanto a la compatibilidad o incompatibilidad entre los grupos que pertenecen dichas sustancias.

2.2 Comprobar la operatividad de la NOM-052-SEMARNAT-2005 en la NOM-054-SEMARNAT

Se realizaron tablas con las sustancias que se encuentran en los listados y anexos de la NOM-052-SEMARNAT- 2005 para posteriormente rectificar si la NOM-054-SEMARNAT-1993 cumple con la función de determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005.

2.3 Buscar errores de escritura de los nombres de las sustancias del anexo 1

Se revisó detalladamente los nombres de las sustancias del Anexo 1 con el fin de determinar que no haya ningún detalle en cuanto a la redacción u ortografía, esto con el fin de asegurar su adecuada identificación.

2.4 Analizar la operatividad de los códigos de reactividad del anexo 3 para el manejo de los residuos peligrosos.

Se revisó el significado de cada uno de los “Códigos de Reactividad” para determinar que las consecuencias de reacción sean claras y concretas.

2.5 Fortalecer la identificación de las sustancias del anexo 1 mediante los nombres o sinónimos comerciales de estas.

Se buscaron otros nombres de cada una de las sustancias que se encuentran en el anexo 1 al establecer la necesidad de tener más de una forma de identificarlo en dicho anexo.

3. Resultados y Discusión

3.1 Verificar la concordancia de las sustancias del anexo 1 respecto a su incompatibilidad obtenida de acuerdo al diagrama del anexo 2

Resultados: Al realizar la identificación se encontró que algunas sustancias se encuentran en más de un grupo reactivo, así que se llevó a cabo la revisión (basándose en el diagrama del anexo 2) en cuanto a la compatibilidad o incompatibilidad entre los grupos a los que pertenecen dichas sustancias. En la tabla 1 se presenta un ejemplo.

Tabla 1. Compuesto presente en más de un grupo reactivo

Nombre	# CAS	Grupo reactivo ANEXO 1 054	Problema de incompatibilidad ANEXO 2	Código de reactividad ANEXO 3
Ácido Fluorhídrico	7664-39-3	1	Sí	gt
Ácido Fluorhídrico	7664-39-3	15		

Discusión: El hecho de que una sustancia aparezca en más de un grupo reactivo pueda parecer no ser un problema, ya que por su composición química tal vez sea posible acomodarlo en más de un grupo reactivo. Pero la incongruencia ocurre cuando al encontrar la misma sustancia en más de un grupo reactivo (ANEXO 1) y al hacer la intersección para determinar incompatibilidad de estos grupos (ANEXO 2), se encontró que si la hay y esto no debe existir debido a que es el mismo residuo y al mezclar residuos iguales deben de ser compatibles entre sí. Como esté caso, existen varios aproximadamente más del 10% de los compuestos del Anexo 1 de la norma tienen un problema de incompatibilidad entre los grupos en los que se encuentran.

Debido a que varios compuestos en los que se repiten grupos, también se encuentran en el 107 (grupo el cual no es compatible con ninguno), una recomendación podría ser, que estos compuestos sean eliminados de los otros grupos en los que se encuentran para evitar complicaciones en el manejo de estos residuos. Otra recomendación podría ser un análisis para determinar si realmente es necesario que un compuesto aparezca en más de un grupo o bien para poder ubicarlo solo en un grupo.

3.2 Comprobar la operatividad de la NOM-052-SEMARNAT-2005 en la NOM-054-SEMARNAT.

Resultados: La NOM-052-SEMARNAT-2005 cuenta con 584 sustancias (incluidas en los listados), de las cuales solo 233 se encuentran en la NOM-054-SEMARNAT-1993, es decir que esta norma contiene solo un 39.89% de la de la norma 052.

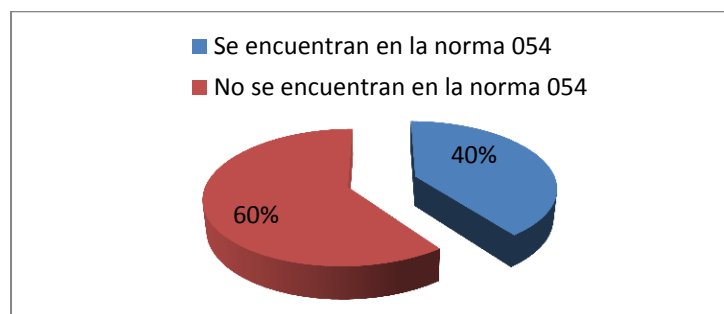


Figura 1. Relación entre la norma 052 y 054

Discusión: A pesar de que la NOM-054-SEMARNAT-1993 supone una ayuda para la NOM-052-SEMARNAT-2005, ésta apenas incluye un poco más de la tercera parte de las sustancias presentes en la norma mencionada anteriormente, por lo que esto es una deficiencia de la norma analizada que es necesario corregir.

3.3 Buscar errores de escritura de los nombres de las sustancias del anexo 1

Resultados: Después de la revisión del anexo 1, se encontraron errores como:

GRUPO 8 AZO COMPUESTOS DIAZO COMPUESTOS E HIDRACINAS (Y SUS ISOMEROS):

Tetrazodiborato de aluminio	Aminotiazol
Azodicarbonil guanidina	Azodi-s-triazol
a,á-Azodisobutironitrilo	Cloruro de diazonio benceno
Benzotriazol	t-Butil azodiformato
Cloroazodina	Clorobenzotriazol
Diazodinitrofenol	Diazodietano
Dimetilamino azobenceno	Dimetil hidracina
Dinitrofenilhidracina	Guanil nitrosoaminoguanilidina
Hidracina	hidracina
Metil hidracina	Mercaptobenzotiazol
Clorhidrato de fenilhidracina	Tetracina
Azohidracina	

Dimetil hidracina

Figura 2. Errores de escritura en el anexo 1

Discusión: Este es uno de los errores que aparecen en el anexo 1, el cual si una persona hace uso de esta norma y tiene un conocimiento muy básico en química, puede confundirse y pensar que “Dimetil Hidracina” (así es como aparece en el anexo 1) es un compuesto diferente al de “Dimetil Hidracina”.

Otro inconveniente es que muchos utilizan la herramienta del buscador de palabras debido a que la presente norma junto con sus anexos se encuentran disponibles en formato pdf, entonces si al buscar un compuesto éste se encuentra escrito de manera incorrecta, no lo podrá encontrar.

Otro error que puede aparecer en forma frecuente son los errores de escritura, como los ejemplos que mencionaremos a continuación:, en el grupo 24 se encuentra el “Estifnato plata y en el 27 el Estifnato De plata” y otro ejemplo podría ser:

Hidro $\square$ xido de berilio

Figura 3. Errores de escritura en el anexo 1

Hasta la fecha se sigue analizando el anexo 1 en busca de nuevos errores. Analizar la operatividad de los códigos de reactividad del anexo 3 para el manejo de los residuos peligrosos.

Resultados: Al revisar cada uno de los significados de los “Códigos de Reactividad” y observar que las consecuencias de reacción sean claras y concretas, se encontró una que puede ser confusa.

CODIGO DE REACTIVIDAD

CÓDIGO DE REACTIVIDAD	CONSECUENCIAS DE LA REACCIÓN
D	Produce reacción desconocida. Sin embargo, debe considerarse como incompatible la mezcla de los residuos correspondientes a este código; hasta que se determine la reacción específica.

Figura 4. Fragmento del anexo 3

Discusión: ¿A qué se refiere con reacción desconocida? Es una descripción muy ambigua ya que las demás reacciones son bastantes claras un ejemplo de esto es el código “H” genera calor por una reacción química.

Según el anexo 3 el grupo 12 “Ditiocarbamatos” con el grupo 7 “Aminas Alifáticas y Aromáticas” producen una reacción desconocida, lo cual no queda claro para poder darle un manejo adecuado en caso de que estos grupos se mezclaran.

Fortalecer la identificación de las sustancias del anexo 1 mediante los nombres o sinónimos comerciales de estas.

Justificación: Básicamente está es una sugerencia, ya que para que esta norma se aplique sin incertidumbres, es necesario complementarla y reforzarla.

4. Conclusión

Al hacer un análisis de la NOM-054-SEMARNAT-1993 se identificaron varios errores los cuales no se exponen todos debido a razones de espacio pero en definitiva dificultan la operatividad de dicha norma, lo cual hace que su uso no sea totalmente eficiente ni con certidumbre; es importante mencionar que se sigue analizando la norma en busca de oportunidades de mejora, con el objetivo de que estas sugerencias lleguen al personal y departamento adecuado y se tomen en cuenta en la actualización de esta norma.

Referencias Bibliográficas

- [1] NOM-054-SEMARNAT-1993
- [2] NOM-052-SEMARNAT-2005

La distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la frecuencia de separación de residuos urbanos

Luz Dayanna Rojas Castillo, Antonio Gallardo Izquierdo, Alberto Piñero Guilamany

luzrocas@postal.uv.es

Resumen

Los sistemas de recogida selectiva de residuos urbanos en España se caracterizan por contar con contenedores de pre-recogida para el depósito de las diferentes fracciones recuperables. El funcionamiento de estos sistemas depende básicamente de la actuación de los ciudadanos, quienes son los que tras separar los residuos en sus hogares se acercan a depositarlos en los diferentes contenedores. El presente trabajo se ha desarrollado en la ciudad de Valencia, con una muestra de 797 individuos para estudiar el fenómeno de la influencia de la distancia entre el domicilio y los contenedores de recogida selectiva para los envases de vidrio, papel, cartón, plástico, briks, bandejas de corcho y latas y su frecuencia de separación medida en una escala de cuatro categorías: *nunca, algunas veces, casi siempre y siempre*. Los resultados muestran para todos los materiales una correlación linear con coeficientes de correlación muy altos ($R > 0,90$) en un aumento de la frecuencia de separación a medida que disminuye la distancia del contenedor al domicilio.

Palabras Clave: *distancia, recogida selectiva, residuos urbanos*

1. Introducción

Las características institucionales de los sistemas de recogida selectiva tales como la infraestructura física determinada por la proximidad de los puntos de recogida han sido consideradas por diversos estudios como un factor que inhibe o aumenta las tasas de participación de los ciudadanos. Diversos autores como [1], [2] y [3], han coincidido en que tal proximidad es una razón fundamental que justifica el éxito de programas de recolección por contenedor. En la ciudad de Urbana, Illinois en Estados Unidos, [4] estudiaron la influencia de factores convenientes como la distancia entre las casas a los contenedores contando con una muestra de 155 viviendas unifamiliares y 496 viviendas multifamiliares, (MFD-multifamiliar dwelling; en sus siglas en inglés definidas como un edificio que tiene siete o más unidades de casas; como apartamentos, pensiones, fraternidades, entre otras). Los resultados evidenciaron que las tasas de separación eran sensibles a la distancia del contenedor por cuanto tal distancia implicaba un exceso de tiempo y esfuerzo de los residentes. El estudio concluía que las tasas de separación podrían aumentar si se reducían las distancias a los contenedores. En España en el Principado de Asturias, se realizó un estudio con una muestra de 1066 individuos, para conocer si el número de diferentes componentes reciclables era independiente de la distancia a los contenedores [5]. Los resultados demostraron que cuando los ciudadanos vivían cerca de los contenedores se separaban más fracciones de materiales que cuando se tenía que caminar mayores distancias para tirar la basura. En otra investigación [6], desarrollaron un modelo logístico sobre los factores que influyen en la participación de la recogida selectiva en Portugal, los autores incluyeron en su modelo incentivos, donde uno de ellos era la mejor condición de los ecopuntos (ceranos, limpios y con buena ubicación), este incentivo mostró ser un factor explicativo de una alta propensión a cooperar. Así mismo en un modelo estructural sobre los factores que influyen en la conducta hacia la recogida selectiva en Zaragoza [7], se demostró que una característica del sistema como es la distancia, tiene un efecto negativo en la conducta, lo cual hace que la participación de los ciudadanos sea más difícil. Finalmente, en otra investigación [8] donde se comparó la recogida de vidrio y papel-cartón en áreas de aportación en varias ciudades de España, se pudo correlacionar la variable distancia al contenedor con cantidad de residuo recogida en el mismo, resultando que cuanto más corta es la distancia mayor es la cantidad depositada.

2. Descripción de la zona de estudio

La ciudad de Valencia está situada en el oriente de la península Ibérica, en la cuenca del mediterráneo español; es la tercera ciudad más grande de España y cuenta con una población de 815.440 habitantes. El sistema de recogida selectiva de Valencia se lleva a cabo mediante la pre-recogida selectiva de los residuos reciclables; la ciudad está dotada de contenedores de 3,2 m³ situados en áreas de aportación (drop off sites, en inglés) separadas unas de otras entre 100 y 200m. El sistema lleva por nombre “recogida selectiva de residuos urbanos” y su funcionamiento se basa en la colaboración de los ciudadanos, quienes separan los residuos generados en sus hogares principalmente en cuatro fracciones: envases de vidrio (*contenedor verde*), envases de papel-cartón (*contenedor azul*), envases de plástico, metal y brick y corcho (*contenedor amarillo*).

3. Desarrollo del estudio

El presente estudio hace parte de una investigación extensa sobre la conducta de reciclaje de los ciudadanos en la ciudad de Valencia. La muestra se constituye por un total de 797 individuos. Para la recogida de información se ha utilizado un cuestionario de 35 preguntas, de las cuales tan sólo se mostrarán los resultados de dos de ellas (ver tabla 1). Estas preguntas representan las principales variables de este estudio. En primer lugar se encuentra la frecuencia de separación de diferentes fracciones de residuos, medida por medio de una escala de respuesta nominal categórica (*nunca, algunas veces, casi siempre y siempre*) y en segundo lugar está la distancia entre el domicilio y los contenedores también medida por medio de una escala nominal categórica, diseñada para medir en función de la percepción del encuestado la distancia aproximada en metros entre el domicilio y los contenedores de recogida selectiva. En otras palabras, esta variable no se ha medido sistemáticamente sino que es una respuesta subjetiva. Las encuestas se realizaron entre el mes de junio y el mes de diciembre de 2009.

Tabla 1. Preguntas del cuestionario empleado en el estudio

1. ¿Cuáles son los materiales que más separa en su casa y con qué frecuencia lo hace? (Marcar con una X para cada tipo de material que se propone).					
Material/Frecuencia	Nunca	Algunas veces	Casi siempre	Siempre	
1. Papel periódico y revistas					
2. Papel ordinario					
3. Cartón (cajas, etc.)					
4. Envases de vidrio (botellas, envases de mermelada, conservas...)					
5. Latas (refrescos, cervezas, conservas...)					
6. Envases de plástico (agua, jabón, detergentes...)					
7. Tetrabriks (leche, zumos...)					
8. bandejas que contienen alimentos en supermercados					
2. ¿A qué distancia de su domicilio aproximadamente se encuentran los contenedores de recogida selectiva de basuras? (Marcar con una X para cada tipo de contenedor que se propone).					
Contenedor/ Distancia	A menos de 50 m	A entre 50 y 100 m	A entre 100 y 200 m	A más de 200 m	
1. Vidrio					
2. Papel, carton					
3. Envases					

3.1. Análisis estadístico de los datos

Los análisis se han realizado por medio del programa SPSS versión 15.0 para Windows y Microsoft Excel. Los estadísticos utilizados han sido las tablas de contingencia para la relación de las variables y los resultados de la tabla se han representado gráficamente con sus respectivas líneas de tendencia y coeficientes de correlación R^2 .

4. Resultados y discusión

Por razones de extensión sólo se presenta el primer resultado de la tabla de contingencia (tabla 2) con la relación entre la distancia del contenedor verde (para envases de vidrio) y la frecuencia de separación de este material. En la figura 1 se muestra gráficamente las frecuencias de respuesta obtenidas y las líneas de tendencia para las frecuencias de separación *nunca* y *siempre* y su correspondiente R^2 . Posteriormente en la tabla 3 se presenta el resumen de los estadísticos para el resto de materiales y contenedores.

Los resultados de este estudio muestran altas tasas de participación, como el caso del 63,5% de los encuestados han afirmado que cuando el contenedor está ubicado a una distancia menor de 50 metros, siempre separan y depositan en el contenedor verde los envases de vidrio (tabla 2, figura 1). Este porcentaje decrece a medida que se incrementa la distancia de ubicación del contenedor. Al mismo tiempo se puede observar que ocurre lo contrario con el porcentaje de encuestados que nunca separan los envases de vidrio, en este caso a medida que aumenta la distancia, aumenta también el número de personas.

Tabla 2. Tabla de contingencia: frecuencia de separación del vidrio y distancia del contenedor verde

			Frecuencia de separación para la fracción recuperable: envases de vidrio					Total	
			Nunca	Algunas veces	Casi siempre	Siempre	Ns/Nc	1	
Distancia En metros	< 50 m	N	37	46	59	250	2	394	
		%	9,4%	11,7%	15,0%	63,5%	0,5%	100,0%	
	Entre 50 y 100 m	N	22	29	37	91	0	179	
		%	12,3%	16,2%	20,7%	50,8%	0,0%	100,0%	
	Entre 100 y 200 m	N	23	25	22	37	0	107	
		%	21,5%	23,4%	20,6%	34,6%	0,0%	100,0%	
	> 200 m	N	26	12	16	26	2	82	
		%	31,7%	14,6%	19,5%	31,7%	2,4%	100,0%	
	Ns/Nc	N	8	7	5	6	1	27	
		%	29,6%	25,9%	18,5%	22,2%	3,7%	100,0%	
Total			N	116	119	139	410	5	789
			%	14,7%	15,1%	17,6%	52,0%	0,6%	100,0%

La figura 1 muestra gráficamente las frecuencias obtenidas en la tabla 2. Las líneas de tendencia corresponden a una correlación lineal para las frecuencias *nunca* y *siempre*. Los coeficientes de correlación obtenidos confirman la existencia de relación lineal de las variables frecuencia y distancia determinados por $R^2 = 0,9421$ y $R^2 = 0,9515$ respectivamente. Comprobando que la frecuencia de separación de residuos aumenta a medida que la distancia disminuye. Este resultado coincide con las investigaciones citadas [6] y [7], en la medida que las tasas de participación correlacionan con el factor de proximidad tanto positivamente como negativamente. Sin embargo

esta afirmación no se ha observado para las dos frecuencias intermedias *algunas veces* y *casi siempre*. El comportamiento estadístico para el vidrio se repite para todos los materiales reciclables y contenedores que se han analizado en este estudio, (los cuales constituyen todas las fracciones de envases recuperables que se pueden reciclar en Valencia), este resultado coincide con los del Principado de Asturias [5] quienes confirman que a menor distancia, mayor es el número de fracciones recicladas. En la tabla 3 se presentan los resultados de los coeficientes de lineabilidad para el resto de los casos.

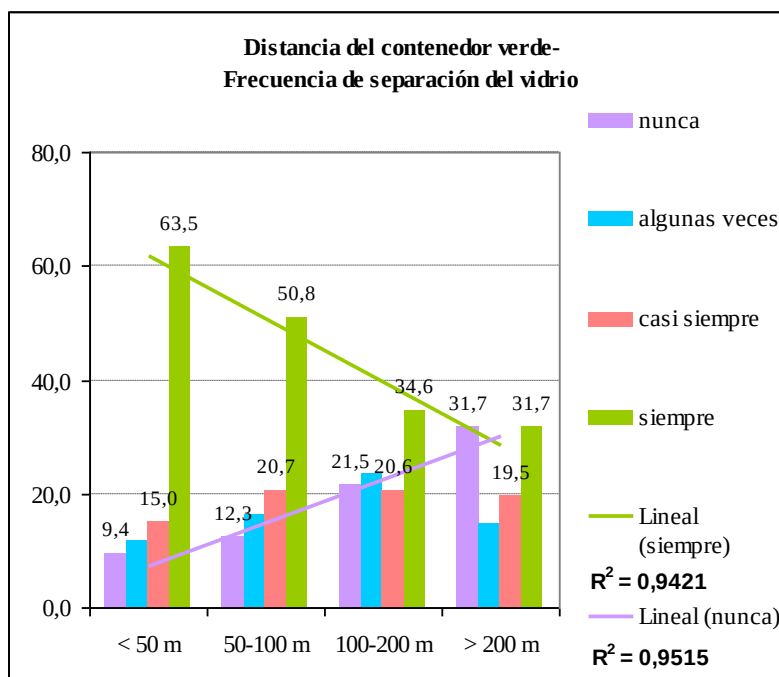


Figura. 1. Relación entre la distancia del contenedor verde (para envases de vidrio) y la frecuencia de separación de los envases de vidrio.

Tabla 3. Resumen de estadísticos: coeficientes de correlación R^2 lineales para cada componente-contenedor

Contenedor	Componentes	R^2 para la función lineal "nunca"	R^2 para la función lineal "siempre"
Contenedor de vidrio (verde)	Envases de vidrio	0,9421	0,9515
Contenedor de envases de papel-cartón (azul)	Papel periódico y revistas	0,859	0,9969
	Cartón	0,9165	0,9895
	Papel ordinario	0,9086	0,9548
Contenedor de envases plásticos, metales, tetrabriks y corcho (amarillo)	Latas	0,9545	0,9828
	Envases de plástico	0,9343	0,992
	Tetrabriks	0,9519	0,995
	Bandejas de corcho	0,9313	0,9748

5. Conclusiones

Los sistemas de recogida selectiva voluntarios por contenedor, suelen enfrentarse a la propia elección de las personas de si colaboran o no depositando sus residuos; tal elección es derivada de la percepción de los ciudadanos acerca de las características institucionales. La proximidad de los contenedores ha sido estudiada en diversas investigaciones, resultando ser un factor de

conveniencia que influye seriamente en las tasas de participación. En nuestro estudio en la ciudad de Valencia se ha estudiado de igual manera este fenómeno, obteniendo resultados realmente positivos de tasas de participación altas en referencia a todos los materiales reciclables (envases de vidrio, papel, cartón, plásticos, entre otros), lo cual hace inferir en que la ubicación de los contenedores en Valencia parece estar dando resultados positivos. También con nuestro estudio hemos confirmado que, estas tasas son menos positivas cuando las personas perciben que los contenedores están ubicados lejos de sus domicilios.

Referencias Bibliográficas

- [1] Margai F, “Analysing changes in waste reduction behaviour in a low-income urban community following a public outreach program”. *Environment and Behavior*. Volumen 29. 2005. pp. 769-792.
- [2] Ludwig T, Gray T, y Rowell A, “Increasing recycling in academic buildings: A systematic replication”. *Journal of Applied Behavior Analysis*. Volumen 31. 1998. pp. 683-686.
- [3] Valle P, Reis E, Menezes J, y Rebelo E, “ P, Díaz A, “Behavioural determinants of household recycling participation: the Portuguese case”. *Environment and Behavior*. Volumen 36. 2004. pp.505-540.
- [4] Ando A, Gosselin A, “Recycling in multifamily dwellings: does conveniente matter?”. *Economic Inquiry*. Volumen 43(2). 2005. pp. 426-438.
- [5] González P, Díaz A, “Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling”. *Waste Management*. Volumen 25. 2005. pp. 15-23.
- [6] Vicente P, Reis E, “Factors influencing households’ participation in recycling”. *Waste Management & Research*. Volumen 26. 2008. pp. 140-146.
- [7] Garcés C, LaFuente A, Pedraja M, y Rivera P, “Urban waste recycling behavior: Antecedents of participation in a selective collection program”. *Environmental Management*. Volumen 30 (3). 2002. pp. 378-390.
- [8] Gallardo, A., Bovea, M., Colomer, F., Prades, M., Carlos, M. “Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain”. *Waste Management*. Vol. 30(12). 2010. pp. 379–406.

Manejo de residuos sólidos domiciliarios en un sector vulnerable del Distrito de Santa Marta, Magdalena (Colombia)

Leydis Galeana Palacio González, Jose Luis Chacin Gómez, Adriana Consuelo Mera Benavides,
Alvaro Castillo Miranda

leypalacio_1983@hotmail.com

Resumen

Uno de los grandes problemas en nuestro país es el desplazamiento forzoso, debido a diversos factores; la violencia, ha elevado a un número importante las personas desplazadas, llegando estas a habitar zonas de alto riesgo; y con ello se ha generado problemas ambientales y de saneamiento básico. El presente trabajo se desarrolló en el sector “Cerro de las Tres Cruces”, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Santa Marta, Magdalena, Colombia; donde existe un asentamiento de aproximadamente 400 viviendas. Para el desarrollo de este trabajo se realizó en primera instancia el diagnóstico de la problemática en la zona escogida, para ello se eligieron de manera aleatoria algunas viviendas; además de tener como base la información suministrada por parte de la entidad encargada de la recolección de residuo en este sector. El diagnóstico evidenció la falta de compromiso en el manejo adecuado de los residuos; además se determinó la cantidad de residuos que se disponían diariamente en la cima del cerro, específicamente en una alberca que se utilizaba como botadero y se realizaba de forma constante quema de residuos a cielo abierto, se sumó a la problemática del sector la falta de aprovechamiento y subvalorización de los residuos. Considerando lo anterior, se realizó una caracterización de los residuos sólidos generados por la comunidad a través de un muestreo; luego se analizó estadísticamente la información obtenida con el fin de definir las acciones a tomar con la comunidad para lograr un mejor manejo de los residuos sólidos generados. Los resultados obtenidos muestran que un porcentaje muy alto de los residuos sólidos, no debe ir directamente al relleno sanitario porque pueden ser reciclados o reusados. Por esta razón se involucró a una asociación de recicladores, con el ánimo de educar a los habitantes de este sector a través de un programa de educación ambiental, para tratar todo lo relacionando con la reducción, reutilización y beneficio que permite la práctica del reciclaje, además de no continuar vertiendo los desechos en la cima del cerro.

Palabras Clave: *educación ambiental, inmigrantes, reciclar, residuos sólido, saneamiento básico*

1. Introducción

A nivel mundial, los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales y de salud pública negativos por su disposición incorrecta y porque cada día estos aumentan, y se encuentran asociados al incremento de la población humana, los procesos de transformación industrial, agroalimentarios y a los hábitos de consumo de las personas [1].

Lo anterior, se presenta por las exigencias de la sociedad ya que requiere una gran satisfacción proporcionada a través de procesos de industrialización y comercialización [2]; además en la actualidad, el consumo es una de las mayores distracciones de la sociedad, y esto se ve representado en que cada familia que trata de satisfacer sus necesidades en su mayoría de la forma más práctica posible [3]; conjuntamente se le agrega que a la medida en que a la sociedad se le brinde los productos, desde ese mismo momento el individuo y la propia sociedad necesitan consumir para poder vivir; entonces las exigencias en los procesos se representan en la explotación de los recursos naturales y la generación de grandes cantidades de residuos con diferentes composiciones [4].

Los principales factores que han dado lugar a esta situación en cuanto a la generación masiva de residuo, es el crecimiento demográfico, la concentración de la población en centros urbanos, la utilización de bienes materiales de rápido envejecimiento y el uso, cada vez más frecuente, de envases sin retorno fabricados con materiales poco o nada degradables [5;6].

La generación de los RSU (*Residuos sólidos urbanos*) forman parte de la realidad diaria; el residuo se puede clasificar de varias formas, por estado, origen o característica. Lo dicho, define a los Residuos Sólidos, como los generados por cualquier actividad en los centros urbanos o en sus zonas de influencia, pero a nivel municipal excluye los residuos industriales y hospitalarios. Esto implica que son algo más que los residuos producidos a nivel domésticos, ya que se contempla el conjunto de otras actividades generadoras de residuos en la ciudad, como la construcción, podas, etcétera. Es así, que estos residuos se clasifican según su origen como: Domiciliarios, Comerciales y de Servicios, de aseo de calles y sitios de recreación y abandono de animales en estado de descomposición, muebles, enseres y vehículos [7].

Los problemas que provoca la basura generada se pueden agrupar de la siguiente forma: sanitarios (proliferación de vectores), estéticos, de seguridad, de incidencia sobre la actividad humana y los causados por el deterioro del desplazamiento vial urbano [8; 9; 10].

La presente investigación se realizó con el apoyo de entidades como : ESPA (Empresa de Servicios Publico de Aseo del Distrito de Santa Marta) , Secretaria de Salud del Distrito de Santa Marta y La Fundación Santa Marta Sin Limites; quienes en conjunto y de la mano de los habitantes del sector permitieron determinar la importancia que tiene la clasificación de los residuos y la adecuada disposición de los mismos; además de acondicionar un sitio de acopio y buenas practica de reciclaje con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector en estudio.

2. Materiales y métodos

Para lograr el objetivo general en esta investigación se tuvo en cuenta las siguientes etapas: selección del área de estudio en un sector vulnerable donde se hacía muy necesario educar sobre el manejo de residuos sólidos; por tal motivo la selección del sector lo realizo la entidad encargada del manejo de los residuos sólidos de la ciudad de Santa Marta ESPA. La entidad decidió asignar la comuna 5 del distrito de Santa Marta, este sector está ubicado al nororiente de la ciudad, donde se manifiesta un bajo compromiso ciudadano con respecto a la disposición de los residuos.

2.1 Fase I. Diagnóstico Socio-ambiental

Se elaboró una encuesta en donde se incluyeron núcleos temáticos como: disposición de los residuos, reciclaje, generación de residuos, nivel de escolaridad, el manejo de los residuos sólidos por los habitantes del sector, y de esta manera se realizó un diagnóstico preliminar del sector. La encuesta se aplicó a 114 viviendas del sector.

2.2 Procesamiento de la información

A partir de los datos obtenidos en la encuesta realizada, se procedió al análisis estadístico para la estimación en porcentaje de los núcleos tratados en la encuesta. Con lo anterior se buscaba establecer la disposición final que la comunidad le proporcionaba a los residuos sólidos.

2.3 Educación ambiental

Se visito cada una de las viviendas encuestadas, donde se proporcionó orientación e información necesaria sobre la temática del reciclaje y las afectaciones causadas por la mala disposición de los residuos, todo con el fin de generar una cultura ambiental sostenible y minimizar los riesgos epidemiológicos causados por el inadecuado manejo de los RSU.

2.4 Clasificación y cuantificación

Se entregaron dos bolsas plásticas en cada vivienda, una de color azul (1,15x0,8m) para depositar el material reciclable y la otra de color negro (0,7x0,45m) para material orgánico. Las bolsas azules se recogieron 8 días después de la entrega; y las bolsas negras se reponían cada 2 días debido a que los residuos orgánicos se descomponen rápidamente. Al obtener las bolsas se procedió al pesaje de las mismas.

2.5 Campaña de limpieza y arborización

Dentro de las actividades de sensibilización propuestas, se realizó la jornada de limpieza del cerro y siembra de 20 árboles en la parte alta del cerro de las Tres Cruces, actividad apoyada por el director del proyecto JUNTOS POR UNA SANTA MARTA LIMPIA, habitantes de la comunidad afectada y dos recuperadores del medio ambiente perteneciente a la cooperativa RENACER. La jornada de limpieza y siembra de árboles se denominara “mi cerro, un jardín siempre verde”.

3. Resultados y Discusión

A partir del análisis estadístico de la encuesta y la visita al sitio se realizó el diagnóstico respectivo, tomando el perfil del cerro por zonas, considerando en cada una el manejo realizado a los residuos generados por parte de los pobladores del sector.

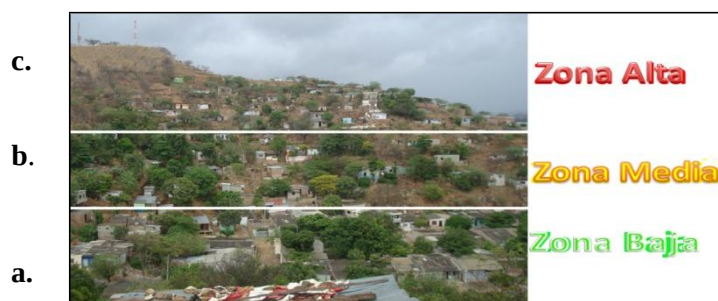


Figura 1. Perfil de área de estudio

La figura 1, muestra una división topográfica del cerro de las tres cruces con relación al manejo de los residuos sólidos domiciliarios donde: **a)** en la zona verde toda la población de esa zona baja dirige los desechos al punto de acopio convencional para que sean recolectados por la empresa ESPA. En **b)** la zona amarilla el 50% de la población dirige los residuos sólidos domiciliarios al centro de acopio para ser recolectados por la empresa de aseo, el restante de la población queman, o hacen proceso de enterramiento o en su defecto los residuos sólidos arrojados a las casa vecinas. En **c)** la zona roja la población arroja la basura en una alberca, o las arrojan desde la parte alta hacia la parte baja del cerro y no utilizan la zona de acopio dispuesta por la empresa prestadora del servicio de recolección, debido a la topografía del terreno y la distancia tan largas que deben recorrer desde las casas hasta la parte baja del cerro.

En general la problemática es grande y compleja, los habitantes del sector conocen el sitio de recolección y el horario, pero por diversas razones como: la falta de cultura ciudadana, educación ambiental, y sentido de pertenencia hacen que el lugar donde habitan no sea apto para unas condiciones normales de vida. En la parte alta del cerro (Ver figura 5), es donde se presenta la mayor problemática ya que los mismos habitantes del sector han asignado una alberca como sitio de disposición de los residuos, siendo esta alberca un eminente problema para la salud humana por la emisión de malos olores, generación constante de insectos, roedores entre otras plagas, así como se realiza afectación a la calidad del aire porque cada ocho días los residuos depositados son quemados para disminuir el volumen de la alberca e iniciar otra vez con la disposición de desechos

en la misma. Debido a la problemática presentada con los residuos se realizó una campaña de limpieza, educación ambiental y arborización para recuperar la zonas más afectada en la parte alta del cerro y generar una conciencia ciudadana y ambiental para mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector Cerro de las Tres Cruces.

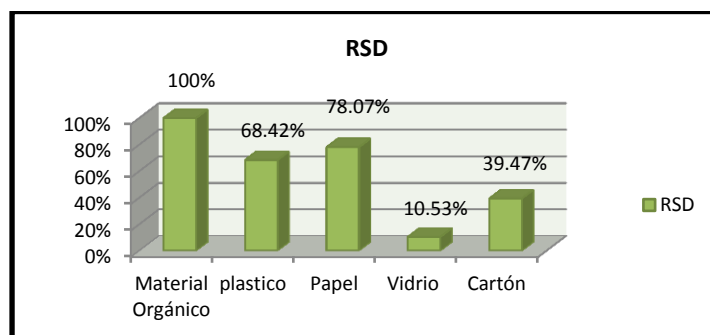


Figura 2. Desechos generados en la recolección de los Residuos Sólidos Domiciliarios

Considerando la información obtenida de la encuesta, en la *figura 2* se presenta el tipo y la cantidad aproximada en porcentaje de residuos sólidos que es generado por los habitantes del cerro de las tres cruces, en la cual nos muestra que el 100% de las viviendas generan material orgánico producto de la preparación de alimentos, el material reciclable que más se genera es el papel con un 78,07%, además también se genera plástico en un 68.24%, cartón 39.47% y vidrio 10.53%, esta clasificación es necesaria para evaluar la cantidad de residuos generados y si es posible generar ingresos a los recuperadores del ambiente que habitan en el sector.

Con la encuesta se logra definir que los residuos sólidos urbanos han generado diversas afectaciones de salud a los habitantes del sector y malas condiciones de vida, entre las cuales se destacan afectaciones a la calidad del aire con la emisión de malos olores, disminución de la calidad paisajística y estorbo, aumento de roedores y generación de insectos, en especial en las épocas de lluvias.

3.1 Caracterización y Cuantificación De Los Desechos Generados

Los resultados de la caracterización y cuantificación de los residuos en el sector, se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Residuos recolectado en una semana, expresado en Lb Kg y porcentaje de residuos sólidos domiciliarios obtenidos en el sector “cerro las tres cruces”

Material Reciclado	Libras (Lb)	Kilogramo (Kg)	Porcentaje (%)
Plásticos	67	33.5	25
Vidrio	58.5	33.5	25
RS descartados	64.5	32.16	24
Cartón	5.5	29.48	22
Tela	5.5	2.75	2
Latas	64.5	2.75	2
Total	268.28	134,14	100

Es importante resaltar la labor de los recuperadores ambientales (recicladores) ya que ellos ayudan al ambiente, promoviendo la reutilización de los materiales reciclables, alargando la vida útil del Relleno Sanitario del distrito de Santa Marta (Palangana).

Los resultados obtenidos en la actividad de cuantificación y clasificación de los residuos sólidos generados en una semana, proporciona resultados diferentes a los calculados con la encuesta porque

en la cuantificación real utilizando la bolsa azul muchos de los habitantes de las 114 viviendas no cumplieron con el compromiso de guardar la bolsa azul por espacio de ocho días y de esta manera solo fueron cuantificadas 47 Bolsas azules de las 114 proyectadas.

3.2 Jornada De Limpieza yArbirizacion



Figura 3. Residuos sólidos recolectados



Figura 4. Siembra de árboles maderables

La jornada de limpieza realizada en el Cerro de las Tres Cruces, estuvo apoyada por la empresa Interaseo S.A., La Fundación Santa Marta sin límites por medio de su proyecto “Juntos por una Santa Marta limpia”, con integrantes de la organización AIESEC Santa Marta, estudiantes de la Universidad del Magdalena y habitantes del sector, esta jornada de limpieza fue un éxito mostrando valores de apoyo mutuo, responsabilidad y sentido de pertenencia por el lugar de vivienda en los habitantes de este sector vulnerable. Esta jornada arrojó un total de 196.2Kg de residuos sólidos recolectados en la cima del cerro, los cuales se encontraban dispersos en este lugar, igualmente se realizó la plantación de 20 árboles maderables.

4. Conclusión

Por medio de un diagnóstico socio-ambiental se pudo comprobar cuán grande es la problemática del manejo de los residuos sólidos en una zona vulnerable de Santa Marta. El procesamiento de la información recolectada vivienda por vivienda permitió identificar los problemas sociales y ambientales que más afectan a la comunidad, por el inadecuado manejo de los Residuos Sólidos, con lo anterior se determinó necesario un programa de educación ambiental, el cual se desarrolló con los habitantes donde se aplicó la encuesta. La implementación de un proyecto sobre sensibilización y conciencia ciudadana fue un éxito, se logró que aproximadamente el 80% de la comunidad afectada acudiera a la campaña de recolección y separación de residuos sólidos, así como a la campaña de limpieza y siembra de árboles maderables en la zona más alta del Cerro de las tres cruces para mejorar la vista paisajística en el sector al igual de mitigar la temperatura de la zona a largo plazo. Con el manejo adecuado de los residuos sólidos domiciliarios se logró mejorar la calidad de vida, la calidad paisajística y visual de los habitantes del sector Cerro de las tres cruces.

Referencias Bibliográficas

- [1] Puerta Echeverri, S., Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos, Facultad de Industrias Pecuarias, Coordinadora del programa MIRS, Corporación Universitaria La Sallista.
- [2].Grodzin ska-Jurczak M, Hanna Z, Read A. Management of packaging waste in Polan Especialista en Mercadeo Agropecuario. Especialista en Educación Ambiental. Candidata a

Maestría en Biotecnología, UPB. Profesora development agenda and accession to the EU. Waste Management & Research 2004;22:212–23.

[3]. Ojeda BS. The consumption source for waste generation and contamination. In: Margarito QN, editor. Contaminación y Medio ambiente. Serie editorial Cincuentenario de la UABC; 2006, p. 227–49. Editorial Miguel Angel Porru´a, ISBN 970-z701-859-3.

[4]. Management Strategies Based on Waste Management Practices of Households in Santiago de Cuba, Habitat International, 30 (4): 849-862.

[5]. Salvato J., Nemerow N., Agardy F. (2003) Environmental Engineering, New York, Jon Wiley and Sons, pp. 755-885.

[6] Mosler H., Drescher S., Zurbrügg C., Caballero T., Guzmán O. (2006) Formulating Waste.

[7] Rivas, M. L., Arellano, J., Monreal, J. y Sancha, A. M. 1992. Proyección de la generación de residuos urbanos y su incidencia en el futuro manejo. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

[8]. <http://www.epa.gov/epawaste/conserve/rrr/reduce.htm> visitada 14 de mayo 2010.

[9] Foster W. (1979) Ingeniería Urbana y Servicios Técnicos Municipales, Madrid, Instituto de Estudios de la Administración Local, pp.10-145.

[10] López J. (1980) Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos, Barcelona, Editores Técnicos Asociados, pp.12-87.

Medidas de mitigación y gestión para la contaminación hídrica en el Gran Mendoza

Luis Magistocchi, Patricia Infante, Luis Guisasola, Mario Salomón
ingamb@uncu.edu.ar

Resumen

Los propósitos de este trabajo son resaltar la importancia de las obras de retención y captura de residuos sólidos urbanos (RSU) que son arrojados a la red hídrica del Gran Mendoza y la necesidad de contar con criterios técnicos para su diseño que mejoren la concentración, retiro y disposición de los mismos, evitando su dispersión en la red hídrica. Este estudio requirió el relevamiento de los distintos tipos de obras de retención, denominadas *trampas de basura*, instaladas en la red de conducción secundaria de zonas urbanas y rurales irrigadas por administradores de Asociaciones de Usuarios del río Mendoza. La identificación y caracterización de las obras se realizó en el terreno junto con los operadores del sistema, y se confeccionó una ficha técnica con detalle de la geometría de los cauces y otros datos de construcción, que posibilitaron clasificar distintas tipologías. Además se consideraron otros aspectos como cantidad, frecuencia, composición y volumen del residuo arrojado y régimen hídrico, como así también la forma de operación y su tratamiento en cada caso. Las iniciativas implementadas se constituyen en medidas estructurales y no estructurales para la mitigación y gestión de la contaminación hídrica, aunque surge la necesidad de profundizar los estudios hidráulicos para mejorar el funcionamiento de las obras como: redefinir ángulo de instalación de las rejas, reconsiderar pendientes de las soleras, recalcular longitudes de vertederos laterales, rediseñar sifones y alcantarillas. También es conveniente implementar protocolos operativos para optimizar el sistema de manejo actual y lograr mayor fortalecimiento institucional.

220

Palabras Clave: *acequias, red hídrica, residuos sólidos urbanos*

1. Introducción y objetivos

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM) ocupa una superficie urbana de 30.437 ha y posee una red de distribución de 7.500 kilómetros de acequias para la dotación y riego del arbolado y otros usos públicos.

El agua de riego que abastece el AMM proviene del río Mendoza ($50 \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal modular anual) y es captada en el Dique Cipolletti [1]. La canalización principal que allí nace es el Canal Cacique Guaymallén y abastece al AMM. El río tiene régimen nivo-glacial con un derrame anual de 1.540 hm^3 y se encuentra regulado parcialmente por el Dique Potrerillos (distante 45 km de la ciudad). El embalse posee una capacidad de 450 hm^3 que posibilita dar un cierto grado de garantía a las concesiones de riego inscritas y posibilita lograr una regulación estacional para la zona cultivada que cuenta con unas 81.000 ha, especialmente durante los meses de agosto a noviembre de cada ciclo hidrológico. El Departamento General de Irrigación administra el agua en la Provincia de Mendoza (Autoridad de Aplicación, AA) y distribuye las dotaciones junto a las organizaciones de usuarios para riego y arbolado público, agua cruda para las plantas potabilizadoras, y uso industrial, la que se realiza a través de un sistema derivado de cauces [1]. El sistema de riego incorpora al AMM dentro de su influencia, por lo que los canales que provienen de los sectores agrícolas atraviesan el casco urbano y aguas abajo, dotan a las parcelas que se encuentran al norte y este, habiendo traspasado hacia las afueras de la ciudad, aguas abajo.

El AMM, que cuenta con 1.029.129 habitantes, es considerada *un gran consumidor o gran cliente* para la AA y recibe las dotaciones en sus distintos departamentos, distritos y secciones en múltiples puntos para el mantenimiento del arbolado público (*ciudad bosque*) y también a otros usos tales como limpieza de plazas y calles.

Debido a que la red de distribución consiste en canalizaciones a cielo abierto, la misma se encuentra sometida a los efectos de los caudales torrenciales originados por tormentas convectivas de alta intensidad (octubre – abril de cada ciclo hidrológico) y a la presión antrópica. Ello implica que las aguas pluviales tengan como destino el sistema de distribución de las dotaciones produciendo eventuales desbordes. Ello ocurre debido a que los caudales superan a las capacidades de proyecto, cuando se superponen las dotaciones del turno de riego con el escurrimiento de los excesos hídricos provenientes de las tormentas convectivas. A esta situación se agrega la presencia de residuos sólidos urbanos (RSU) y todo tipo de elementos que la población, desaprensivamente, vierte a los cauces, sin distinguir la magnitud de los mismos además de la acumulación de residuos transportados por vientos cálidos y secos tipo fohën (conocido como Viento Zonda). Este panorama indica que el sistema se encuentra bajo la acción permanente de agentes externos que inciden negativamente en su capacidad, calidad y en la gestión del recurso. Estos impedimentos producen múltiples inconvenientes sobre los usuarios quienes reciben las dotaciones fuera de término, junto con todo tipo de RSU y restos de la monda (hojas y ramas de arbolado). Los inconvenientes causados por los RSU sobre la operación y mantenimiento de las canalizaciones sumado a las pérdidas en términos económicos a causa de los desbordes en los cauces, hacen que la problemática de la basura y los residuos tengan un peso cada vez mayor y que, por lo tanto, las autoridades estén cada vez más preocupadas por la temática. Asimismo, los desbordes perjudican a las calles paralelas y a toda la infraestructura circundante.

Esta situación ha obligado a los operadores de la red hídrica a construir sobre la infraestructura existente una serie de instalaciones y elementos de intercepción para la captura de los materiales y desperdicios que, de otra forma, son arrastrados a través del agua en la red de conducción y afectan los nodos de distribución y capacidades de la sección hidráulica. Estas construcciones, han sido ejecutadas bajo criterios empíricos y experiencia operativa de los administradores que, si bien han permitido mitigar parcialmente la acumulación de RSU, no han posibilitado lograr una solución integral sobre la red hídrica. Algunos de los objetivos planteados para este trabajo son resaltar la importancia de las obras de retención y captura y la necesidad de contar con criterios técnicos para su diseño y que mejoren la gestión de los residuos en el Gran Mendoza. Las obras mencionadas contribuyen a la concentración, retiro y disposición de los RSU en lugar de estos se repartan a lo largo de toda la red hídrica.

2. Metodología

2.1 Medidas estructurales – trampas para captura de RSU

Conceptualmente se trata de obras concebidas para retener el material que transporta el agua, tanto de manera flotante y en suspensión, como así también de arrastre de fondo, con una adecuada autonomía de manejo de manera tal de no comprometer el régimen de escurrimiento y produzca desbordes aguas arriba de la estructura. El diseño de las obras conocidas como trampas de basura consiste en la instalación de rejas inclinadas fijas o móviles, de dos o más etapas sobre la sección hidráulica, para captación de RSU. Sobre el cauce principal del canal se construye un ensanchamiento, duplicando la sección transversal y un tabique longitudinal de menor altura en el medio del ensanchamiento, tal como puede observarse en la Figura 1. Las obras son normalmente interpuestas en sectores previos a puntos críticos de la red tales como sifones, alcantarillas y sistemas de compuertas.

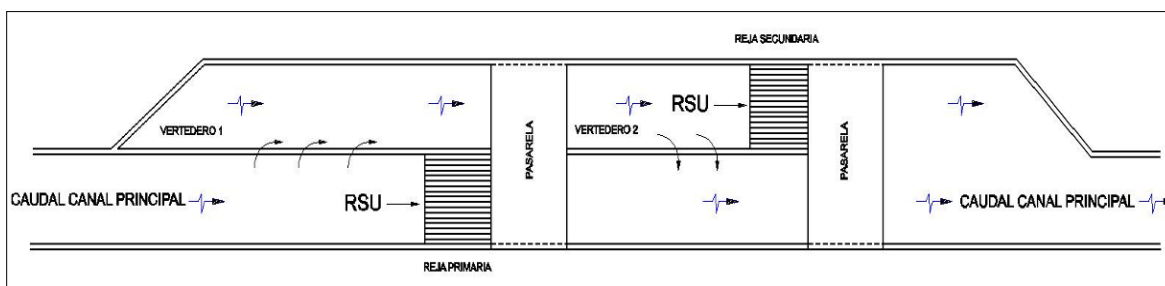


Figura 1. Croquis Típico de una Trampa de Basura construida sobre un canal de distribución

El principio de funcionamiento consiste en retener los RSU mediante la primera reja inclinada hacia aguas abajo, con un ángulo máximo de 45° respecto de la vertical. Debido a que el material que transporta la canalización obtura rápidamente a la rejilla, el tabique (ver vertedero 1 y vertedero 2 en Figura 1) que separa la segunda conducción comienza a funcionar como un aliviadero, a fin de permitir el paso de la porción de caudal que no deja pasar la reja inicial.

Es por ello que este tabique divisorio se construye con una menor altura. El agua comenzará su vertido a medida que la reja se va colmatando. Esta situación provoca que parte del material tienda a sobrepasar la obra de retención, por lo que, aguas abajo de la reja inicial se coloca la segunda etapa de la obra de captura (reja secundaria) en el cauce paralelo. Aguas abajo de esta segunda cámara, la canalización retoma la alineación de la traza original. A medida que la segunda reja va reteniendo los RSU, se va a ir obturando por lo que es necesario que el tabique intermedio también funcione como aliviadero. (ver vertedero 2 en Figura 1). Tradicionalmente se construye con una altura equivalente a la mitad de la altura física del cauce. Todo ello tiende a evitar que se produzca un desborde ante una falla en el mantenimiento del sistema de retención.

En ciertos sectores, tras la reja secundaria se hace necesario colocar una tercera etapa de captura, a fin de aumentar la capacidad de retención de RSU y evitar la obstrucción de las obras aguas abajo. Estas estructuras pueden repetirse en serie a lo largo de la canalización tantas veces como se considere necesario. Los costos de inversión y los espacios disponibles suelen ser uno de sus límites principales.

En la mayoría de los casos, la construcción de las obras de retención se ven restringidas a la geometría de las canalizaciones existentes, sus dimensiones, espacios disponibles para vertederos, puentes de maniobra y lugares para acopio o retiro del RSU. Entre las condiciones que intervienen en el diseño de estas estructuras, puede contarse el caudal de diseño de la canalización, la pendiente y el posicionamiento de la obra. Las características del lugar donde se encuentran las trampas tienen en cuenta las condiciones urbanas, rurales, o la combinación de ellas para poder estimar la cantidad y calidad de residuos que podrían llegar a incidir y transportar, tanto en suspensión como arrastre de fondo. Puede citarse como ejemplo aquellos tramos que se encuentran alejados de zonas urbanizadas, los cuales están sometidos a la depositación del follaje de especies arbóreas como álamos, plátanos, pimientos (aguaribay), sauces y eucaliptos (Figura 2). En este tipo de obras la limpieza de las rejillas se debe realizar dos veces al día como valor medio. Dado que, en general, se trata de materia orgánica, se realiza el retiro cada cuatro días de alrededor de 6 m³ de material. De acuerdo con su situación geográfica, existen convenios para que el municipio lo retire y disponga conjuntamente con sus RSU. Donde las poblaciones rodean a la red hídrica podrán encontrarse todo tipo de RSU, sin importar la época del año en el material transportado por los caudales de riego y la que es arrastrado por las descargas pluviales y aluvionales (agua con arrastre de sedimentos) (Figura 3).



Figura 2. Trampa para la captura de RSU de dos etapas en una zona rural



Figura 3. Trampas para captura de tres etapas en la zona urbana

La mayor cantidad de RSU se acumula al inicio de cada turno de riego (variable según la disponibilidad hídrica y época) ya que durante ese período las poblaciones cercanas arrojan con igual o mayor intensidad los cauces sin dotación (secos) al volcar desechos. Para los casos de canalizaciones que cuenten con obras de tres etapas, la cantidad de material acumulado alcanza a picos de más de 50 m³ cada cuatro días, los que deben ser convenientemente dispuestos, en los vaciaderos habilitados a tales fines. En estos casos, algunos municipios se niegan a retirar los RSU lo que obliga a las organizaciones a realizarlos a su cargo. Es conveniente que los aliviaderos laterales estén previstos para que su carga hidráulica sea la menor posible, a fin de evitar que los residuos flotantes sobrepasen las obras. Este criterio de diseño tiende a retener la mayor cantidad de elementos. Ello idealmente implicará obras más extensas en las progresivas del canal, con altas inversiones iniciales. La construcción de estas obras llevan muchas veces a adoptar soluciones de compromiso entre una inversión inicial de menores proporciones que las ideales y los costos de operación, ya que deberá incrementarse la frecuencia de operación de limpieza y remoción, debiéndose adicionar a estos trabajos, la carga, el acopio y el transporte de los residuos a sitios adecuados. Debe tenerse presente que la disminución de la pendiente implica la disminución de la velocidad y energía de transporte y provocará la sedimentación aguas arriba del sistema de captura de manera de disminuir la posibilidad de sobrepaso de los RSU, de manera que la basura tenga la menor velocidad de llegada posible.

2.2 Obras hidráulicas que acumulan RSU por su configuración y funcionamiento

Existen obras hidráulicas singulares que, por su configuración y funcionamiento energético, provocan la acumulación de todo elemento que sea transportado por el agua. Estas estructuras están relacionadas con la interferencia de otras obras lineales, a veces de gran tamaño como canales, y, vías de comunicación y transporte, de manera que debe efectuarse obras como sifones y alcantarillas, resultando algunas de estas obras de grandes dimensiones.

Los sifones se componen por la cámara de carga, la conducción principal y la cámara de salida. En la primera cámara, se produce un aumento en la carga hidráulica (energía) a fin de poder sobrepasar las singularidades que implican los cambios de sección y dirección (esquema de la Figura 4). Es en esta sección donde se produce una disminución de las velocidades medias con la consiguiente decantación de fondo y acumulación superficial en la boca de la cámara de todo material flotante.

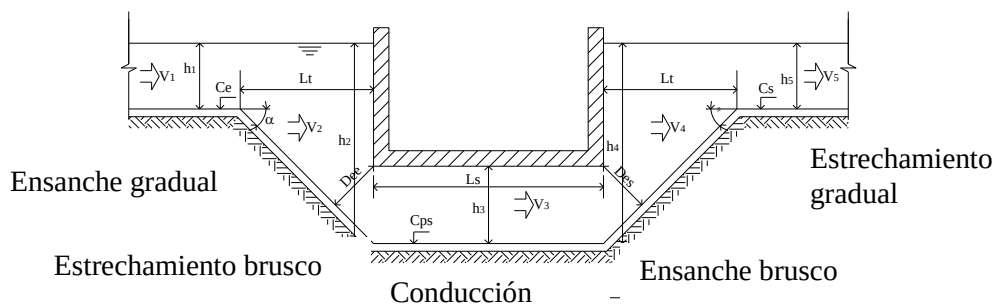


Figura 4. Corte típico de un sifón hidráulico

Para el caso intermedio, en que la obstrucción no sea total, el agua deberá levantar su nivel aguas arriba, de manera tal de incrementar su energía para sobrepasar el sifón que se encuentra aguas abajo. Dado que no siempre se cuenta con los muros laterales lo suficientemente elevados para lograr las cargas hidráulicas necesarias, es que se producen desbordes e inundaciones en los terrenos aledaños, donde se encuentran caminos y todo tipo de infraestructura urbana.

Otra dificultad que suele presentarse en el escurrimiento se relaciona con las alcantarillas. Estas estructuras no poseen cambios en la dirección, y la conducción necesita de una losa superior. En la generalidad de los casos, la losa se coloca sobre la canalización (en general rectangular), sin preocuparse que se mantengan, al menos, las condiciones hidráulicas de aguas arriba, sino que solamente se realiza una *simple compensación* geométrica, en lugar de hidráulica. Estos defectos de diseño provocan que la alcantarilla comience a funcionar como sifón y necesite mayor energía a la entrada y se produzca, por lo tanto, el desborde aguas arriba ya que la sección de la conducción resultará insuficiente.

Cada caso merece un estudio particular, en cuanto a la topografía del lugar (pendientes dominantes) y caudales de diseño, sin embargo, las municipalidades han adoptado unas pocas tipologías normalizadas que, en muchos casos, no son aplicadas adecuadamente, por lo que los desbordes y los atoraderos son habituales en las bocas de entrada de las alcantarillas.

En cuanto a las particiones o derivaciones utilizadas con el fin de entregar el agua a sus consumidores finales, algunas canalizaciones que se derivan perpendicularmente respecto de la corriente principal, poseen una compuerta asociada, destinada a regular el caudal. En el tramo entre la boca transversal y la compuerta, se produce una brusca disminución de las velocidades por áreas muertas con los consiguientes problemas de decantación en la solera y acumulación de residuos flotantes. Es por ello que se hace necesaria la ejecución de proyectos específicos en las conducciones para evitar que se conviertan en sitios de acumulación de material no deseado para la regulación del caudal a través de las hojas de los compartos.

A todos los casos anteriores, se le debe sumar la temática de la operación y mantenimiento, los cuales, muchas veces, se encuentran limitados por los presupuestos asignados (falta de personal y elementos) o ausencia de criterios, protocolos y conocimientos de las diversas problemáticas puntuales o bien, por la combinación de ambas situaciones.

3. Resultados y Discusión

Los tópicos que deben destacarse en relación a las obras mencionadas y el manejo de los RSU capturados, pueden dividirse en medidas estructurales (obras) y en medidas no estructurales.

3.1 Medidas Estructurales

Instalación de rejas anguladas, como máximo, a 45° respecto de la horizontal.

Inclusión de las etapas que sean necesarias en las obras de captura de RSU.

Estudio de las pendientes de soleras y longitudes de vertederos laterales para comparar operación versus sedimentación en las obras de captura.

Motorización de los elementos móviles para facilitar la operación de limpieza de las rejillas, con la regularidad requerida por las necesidades de cada canal.

Estudio de las pendientes de los sifones y alcantarillas de manera de lograr la autolimpieza a través del aumento de la velocidad media de la corriente, de manera que no se facilite el *atarquinamiento* de las secciones transversales con los residuos.

3.2 Medidas no Estructurales

Aumentar la frecuencia de limpieza de aquellas obras de captura más expuestas.

Concentrar las obras de captura con las secciones de aforo y derivación, de tal manera que el mismo equipo de trabajo efectúe la limpieza, recuente los RSU y afore los canales.

Tomar especiales recaudos en la limpieza de las obras de captura durante las primeras horas de los turnados de los cauces, y la asignación de una mayor cantidad de personal calificado para la operación y mantenimiento de las obras de captura de RSU.

Fortalecimiento Institucional para la acción de concientización sobre la necesidad de la limpieza de los canales de riego, y distribución de dotaciones como una tarea inherente a la actividad de la administración del recurso superficial.

Fortalecimiento institucional de las Autoridades de Aplicación con jurisdicción sobre las márgenes de las canalizaciones que se encuentran ocupadas por poblaciones que usurpan esos espacios.

Lograr que los municipios se involucren más a la problemática de los RSU en la red hídrica a fin de compartir las cargas y compartir los esfuerzos y los recursos.

Referencias Bibliográficas

[1] Magistocchi L, Salomón M, Infante P y Guisasola L, *Impacto Ambiental y Contaminación Hídrica Zona Metropolitana del Gran Mendoza – Provincia de Mendoza – República Argentina*, 3° Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Brasil, 2010, p. 67.

Optimización de la gestión integral de residuos en una empresa de productos químicos

Marcos Morales Contreras, Adriana Zárate Guzmán, Gemma Cervantes Torre-Marín
marcosmoralesc@yahoo.com.mx

Resumen

El presente proyecto tuvo lugar en una empresa química dedicada a la producción de insecticidas y diversos productos químicos de limpieza, con la finalidad de optimizar de la gestión integral de residuos peligrosos y de manejo especial. Primeramente se realizó un diagnóstico de la situación del manejo y gestión de los residuos dentro de la empresa, mediante el cual se detectaron los problemas y las oportunidades de mejora existentes, de acuerdo a lo establecido por la Ley General para la Prevención de la Gestión Integral de Residuos, su reglamento y demás normas aplicables. Con base en los resultados del diagnóstico y al análisis de los diferentes factores involucrados, se planteó una propuesta para la optimizar la gestión interna de la empresa. Dentro de las iniciativas implementadas para optimizar la gestión de residuos se encuentran: la reclasificación de residuos peligrosos, el rediseño de la bitácora del almacén de los mismos, la implementación de formatos para su manejo interno, la reestructuración del procedimiento de manejo de residuos, entre otras. En conjunto las acciones tomadas constituyeron un sistema mediante el cual se obtuvo una mejora significativa en la gestión integral de los residuos. Se logro dar cumplimiento a la legislación mexicana aplicable en la materia, se consiguió aumentar la valorización de los residuos y se disminuyeron los costos por su manejo.

Palabras Clave: *diagnóstico, gestión, iniciativas, legislación, manejo*

226

1. Introducción

En México, el proceso de industrialización ha venido avanzando y diversificándose aceleradamente y con ello una generación de residuos en la misma proporción, la tendencia de los costos por el manejo y eliminación de residuos va en aumento así como el número de iniciativas legales reguladoras y el nivel de exigencia social [1]. En nuestro país, el principal instrumento regulador en materia de residuos es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), tanto su publicación como la de su reglamento, es relativamente reciente y su aplicación dentro de la industria ha sido de manera paulatina, por lo que un problema común dentro de ellas, es la falta de mecanismos y recursos humanos lo suficientemente orientados a promover la gestión adecuada de residuos lo que acarrea graves dificultades económicas y de gestión a las empresas.

2. Desarrollo

Se realizó un análisis del manejo de residuos peligrosos y de manejo especial dentro de la empresa mediante recorridos, entrevistas y búsqueda de información documentada. Con la información obtenida y con base en lo establecido en la legislación mexicana en materia de residuos, se detectó la problemática presente en cuanto a la gestión integral de residuos en la empresa.

Una vez conocida la problemática se planteó una propuesta con alternativas de mejora para optimizar la gestión integral de residuos.

Las propuestas fueron implementadas en dos etapas, la primera etapa consistió en una prueba piloto, durante la cual se detectaron las deficiencias y se realizaron los ajustes pertinentes. En la segunda etapa, una vez realizados los ajustes necesarios, se implementó la propuesta en toda la empresa.

3. Resultados

Derivado del diagnóstico, se detectó que la clasificación interna de residuos no concordaba con la clasificación establecida en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR). Los residuos peligrosos no se encontraban clasificados según lo establecido en la LGPGIR [2] y existían residuos de este tipo con incertidumbre sobre su peligrosidad. Se desconocía a ciencia cierta el origen de los residuos generados ya que no se contaba con un control sobre los puntos, cantidades ni motivos de generación de residuos dentro de la empresa. La bitácora del almacén de residuos peligrosos no contenía la información mínima requerida por la LGPGIR [3]. Se contaba con un formato interno para la entrega de residuos en el almacén, el cual era llenado de manera incompleta e incorrectamente. El procedimiento interno de manejo de residuos no se cumplía en su totalidad y no existía trazabilidad en el manejo de residuos por falta de mecanismos de control.

3.1 Reclasificación de residuos

Se realizó una reclasificación de residuos de acuerdo a los lineamientos marcados en la LGPGIR.

Para fines de manejo interno se clasificaron los residuos en 3 categorías de manera que coincidieran con las establecidas en la LGPGIR y se les asignaron nombres genéricos dentro de la empresa tal como se muestra en la tabla 1. Los nombres asignados dentro de la empresa fueron elegidos ya que los operarios y responsables del manejo de residuos se encontraban familiarizados con los términos, lo cual facilitó la adopción de la propuesta.

Tabla 1. Reclasificación de los residuos para su manejo interno dentro de la empresa

NOMBRE LGPGIR	NOMBRE ASIGNADO DENTRO DE LA EMPRESA
Residuos peligrosos	Residuos peligrosos
Residuos de manejo especial	Residuos no peligrosos
Residuos sólidos urbanos	Basura

En cuanto a los residuos peligrosos de manera más específica, se realizó una reclasificación de acuerdo al Art. 31 de la LGPGIR y la NOM-052-SEMARNAT-2005[4] y al procedimiento marcado por la misma. Los residuos peligrosos quedaron clasificados como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de residuos peligrosos

CLAVE *	DESCRIPCIÓN	CPR**					
		C	R	E	T	I	B
RPM/09	Plaguicidas				x	x	
S1	Solventes orgánicos				x		
RPM/02	Disolventes Orgánicos Usados				x	x	
SO1	Telas o pieles impregnadas con residuos peligrosos.				x		
SO4	Envases con remanentes de tintas, solventes, pintura y aceite y otros materiales peligrosos (ceras y silicones).				x		
SO4	Filtros.				x		
O	Residuos de laboratorio				x		
O	Grasas de la Planta de tratamiento de aguas				x		
RP1/02	Pilas o baterías usadas				x		
RPM/01	Aceites Lubricantes Gastados				x		
C2	Líquido destapacaños	x			x		
RPM/06	Lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio				x		
C1	Residuos de TCCA	x			x		
O	Ceras y silicones				x		

*Clave asignada en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 y el instructivo de llenado de la Cedula de Operación Anual.

**Código de Peligrosidad; C: Corrosivo, R: Reactivo, E: Explosivo, T: Tóxico, B: Biológico Infeccioso

Una vez definidas las categorías y la totalidad de residuos dentro de la empresa, éstos se integraron en un formato al cual se le denominó menú de residuos. Por lo que dentro del menú de residuos se clasificaron a éstos en las tres categorías mencionadas en la tabla 1, y dentro de la categoría de residuos peligrosos se incluyó la nueva clasificación, adicionalmente se agregó un código de colores como apoyo visual para identificar cada tipo de residuo; los colores asignados fueron: rojo para residuos peligrosos; verde para residuos no peligrosos; y azul para la basura.

La reclasificación de los residuos permitió colocarlos en la categoría correcta con los que aumentó la valorización de algunos residuos de los que anteriormente no se contemplaba su aprovechamiento. Se logro dar cumplimiento a la normatividad mexicana en materia de residuos peligrosos y alinearse a lo marcado en la LGPGIR.

3.2 Bitácora electrónica

Además de la implementación de un menú de residuos, se implemento una herramienta electrónica para el registro de los residuos generados en todas las áreas de la empresa, a la cual se le denominó “Bitácora electrónica” y con la cual fue posible conocer información como el tipo de residuos generados, las cantidades, características, razón de generación, etc.

La bitácora electrónica era utilizada toda vez que se generaba un residuo por lo que fue puesta a disposición de toda la empresa por medio de una red interna de uso compartido.

Cada casilla cuenta con un menú de desplegable donde se muestran diferentes opciones que el usuario puede elegir, dependiendo cual sea la más adecuada al residuos que se encuentra registrando.

Para poder estandarizar las unidades en el flujo de información para el manejo de residuos se hizo necesario adquirir básculas para ponerlas a disposición de los generadores y que así pudieran realizar el pesaje de los residuos generados.

La implementación de esta bitácora permitió conocer información relevante sobre la generación de cada residuo. Los menús desplegables ubicados en cada casilla evitan la introducción de información errónea ya que los datos se encuentran estandarizados, lo que simplifica la cuantificación de los residuos generados por área, tipo de residuo ó motivos de generación.

3.3 Formatos de entrega de residuos

Se diseñaron dos formatos, uno para residuos peligrosos y otro para los residuos no peligrosos, la forma de diferenciarlos además del título del formato es el color de éste, el primero se imprimió en color rojo mientras que el segundo en color verde siguiendo el código de colores del menú de residuos.

La información solicitada en el formato es la misma que se solicita en la bitácora electrónica, así una vez llenada dicha bitácora los datos son vaciados en el formato, el cual adicionalmente cuenta con un número de folio con el que se puede seguir la trazabilidad de los residuos ya que es un dato requerido en las cada etapa de su manejo.

3.4 Bitácora del almacén de residuos peligrosos

Debido a que la bitácora del almacén de residuos peligrosos no contenía toda la información solicitada en el artículo 71 del reglamento de la LGPGIR, se implementó una nueva bitácora con los siguientes datos según lo requerido por el reglamento para los grandes generadores de residuos peligrosos:

- a) Nombre del residuo y cantidad generada

- b) Características de peligrosidad
- c) Área o proceso que lo generó
- d) Fecha de ingreso y salida del almacén de residuos peligrosos
- e) Nombre, denominación o razón social y número de autorización del prestador de servicios encargado del manejo de residuos.
- f) Nombre del responsable técnico de la bitácora

Con lo anterior, se logró dar cumplimiento a la LGPGIR, además de mantener un control estricto de la generación y manejo de residuos peligrosos dentro y fuera de la empresa.

3.5 Reestructuración del procedimiento interno

Una vez definida la forma de manejar los residuos y adquiridos los formatos, las bitácoras y las básculas que se utilizarían para llevar a cabo el nuevo manejo interno de residuos, se realizó una reestructuración total del procedimiento existente adicionando la información necesaria para el correcto uso de los nuevos formatos y bitácoras.

Se modificó el objetivo y el alcance del procedimiento y se incorporó una relación de los formatos disponibles para el manejo de los residuos.

La modificación del procedimiento fue de suma importancia ya que en él se asentaron y unificaron todas las modificaciones realizadas en el manejo interno de los residuos y al ser aprobado adquirió validez dentro de la empresa y se hizo público y obligatorio.

4. Conclusiones

Las iniciativas de mejora implementadas renovaron totalmente la forma de manejo de los residuos, todas ellas en conjunto constituyen un sistema mediante el cual es posible controlar el flujo de información con respecto a éstos dentro de la empresa. Como consecuencia, se logró una mejora significativa en la gestión integral de los residuos.

Una de los mayores logros del proyecto fue el dar cumplimiento a la legislación mexicana aplicable en la materia, tal como la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, su reglamento y la NOM-052-SEMARNAT-2005 lo que garantiza un manejo adecuado de los residuos dentro y fuera de la empresa. Se logró también aumentar la valorización de algunos residuos y se disminuyeron costos por su manejo.

Con la información obtenida durante el desarrollo del proyecto e implementación de las iniciativas de mejora, la gestión de los residuos llegó a un punto en el que es posible poner en práctica medidas de minimización de residuos, el cual es el paso siguiente para complementar la adecuada gestión integral de residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] SEMARNTA. *Diagnóstico Básico para la Gestión integral de Residuos*. Primera Edición. 2006. INE-SEMARNAT. Ciudad de México. 112 Páginas.
- [2] Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Publicado en el diario oficial de la federación el 28 de enero de 1988.
- [3] Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación 8 de octubre de 2003.

[4]NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y listados de los residuos peligrosos. Publicado en el diario oficial de la federación el 23 de junio de 2006.

Plan de manejo de residuos solidos en casas de estudiante espartaco de Michoacan

Sandra Velásquez García, Otoniel Buenrostro Delgado, González Razo Carlos Alberto

savega_one@hotmail.com.mx

Resumen

En la actualidad la producción de residuos sólidos urbanos se ha incrementado considerablemente. Preocupados por esta problemática, las casas de estudiante Espartaco (FNERRR), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo iniciaron un plan de manejo de residuos sólidos. El plan consiste en separar los materiales reciclables y destinar la fracción orgánica a una granja porcícola. El programa arrancó en la casa de estudiante Galeana con un estudio de generación. Los resultados dieron una producción promedio de 513 kg por semana, de los cuales el 48 % es fracción inorgánica y el 52% orgánica. Se habilitó un espacio para colocar contenedores y letreros de identificación para los distintos materiales para efectuar una adecuada separación. En la actualidad se separan al 100 % los materiales reciclables de aluminio, cartón, hojalata, papel, PET y vidrio y con su comercialización se obtienen ingresos que permiten cubrir necesidades de material cultural y deportivo. Como resultado, solo disponen al servicio de recolección el 11.6% que son residuos sanitarios y material no separable. Con el éxito obtenido en la casa Galeana, se comenzó el programa de separación en las otras cuatro casas pertenecientes al mismo movimiento. Como organización se comenzó a trabajar y se transmitirá a futuros moradores de las casas con la finalidad de transformar este trabajo en un hábito.

231

Palabras clave: *plan de manejo, residuo sólido, vermicomposteo*

1. Introducción

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) representan un problema ambiental por la cantidad y composición de éstos. La ciudad de Morelia, Michoacán, ha experimentado un aumento notable en la generación de RSU; de acuerdo con estadísticas de la Dirección de Aseo Publico de la ciudad, se ha registrado un incremento en la producción del 150% en tan solo una década. (Buenrostro, O. *et al*, 1998). En Morelia, en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo existen casas de estudiantes que brindan apoyo alimenticio y hospedaje. En estos sitios se generan grandes cantidades de RSU pero desafortunadamente se desconoce las cantidades que se producen. En estos sitios no se lleva a cabo una recolección de residuos de manera eficiente, ni programas previos de separación y reciclaje pues todos se disponen en el servicio de recolección municipal. En particular, la Casa del estudiante Galeana, que se fundó en el año de 1988 por el Movimiento Antorchista y que en la actualidad cuenta con 8 cuartos que en promedio tiene 13 habitantes en cada uno, con un total de 100.

2. Objetivo

El objetivo de esta investigación fue elaborar un Plan de Manejo de Residuos para las Casas del Estudiante Espartaco de Michoacán. Los objetivos específicos fueron caracterizar y cuantificar los residuos sólidos, fomentar hábitos de educación ambiental por medio de pláticas sobre separación de residuos sólidos, así como también, determinar patrones de consumo de los moradores de las Casas de Estudiante Espartaco.

3. Materiales y método

A continuación se describen las actividades:

3.1 Obtención de datos sobre conocimiento del tema de separación de residuos

Se aplicó una encuesta de nueve preguntas sobre aspectos relacionados con los residuos y de conocimiento ambiental, a todos los residentes de la Casa de Estudiante Galeana. Los resultados de la encuesta obtenidos se vaciaron en una base de datos en el programa de Excel.

Simultáneamente, se cuantificó la presencia de las residentes exclusivamente de Casa Galeana (las que habitan regularmente y aquellas que solamente van a consumir alimentos y que son dependientes de otras Casas) con el objetivo de determinar los patrones de consumo a lo largo de la semana correspondiente a la investigación.

3.2 Estudio de generación de los residuos sólidos

El estudio de generación se llevó a cabo durante una semana por las noches. El procedimiento consistió en pesar los residuos que se generan día con día a lo largo de una semana en las Casas de Estudiante. Como primera parte, se realizó una separación de aquellos residuos que se generaron día con día. Se utilizó el formato de la Norma de Clasificación NTRS-5, propuesta por la SEDUE e incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985 Residuos Sólidos Municipales - Selección y cuantificación de subproductos (INE/SEMARNAP, 1985). Los componentes separados, se pesaron en una báscula con capacidad de 150 kg. Los materiales reciclables se almacenaron en bolsas biodegradables y de polietileno de 60 x 90 cm. de 52 gramos para la venta al finalizar el muestreo.

Los datos de la caracterización se ordenaron por día de la semana y por Casa Estos se capturaron para formar una base de datos en el programa Excel (Microsoft Office XP, 1985-2001).

4. Resultados

A continuación se presentan los resultados de la investigación:

4.1 Obtención de datos sobre conocimiento del tema

En la Casa habitan 100 personas en ocho cuartos. De las encuestas aplicadas a las habitantes, solamente el 66 % contestó a cada una de las preguntas, ya sea por ausencia o porque simplemente no quisieron participar. De las personas encuestadas, el 76% tiene nociones sobre lo que es un residuo sólido, al contestar que se trata de objetos reciclables, o que es material que tarda en descomponerse. Al efectuar una pregunta sobre el conocimiento de una educación ambiental el 42.4% contestó que no sabía sobre el significado del término y el 50% opinó que es conveniente que se realicen pláticas sobre el tema.

En la respuesta sobre la pregunta del significado de reciclaje, el 86.4% lo relacionó con la palabra reutilizar y la consideraron importante en la disminución de los residuos. Por último el 96% opinó estar de acuerdo en mantener la Casa limpia y en separar los residuos. Estos datos fueron un buen parámetro para comenzar con el Plan de Manejo.

4.2 Cantidad y composición de los residuos sólidos generados

El trabajo de campo involucró la separación y cuantificación de los subproductos generados en las cuatro Casas de Estudiante Espartaco de Morelia. La tabla 1 muestra las cantidades generadas durante la semana de muestreo.

Tabla 1. Principales subproductos caracterizados durante la semana de muestreo de RSU en las Casas de Estudiante de Morelia (Kilogramos)

Subproductos	Galeana	Allende	J. Marti	Wenseslao
Algodón	0	0.03	0	0
Carton	40.31	2.35	1.83	35.648
Cuero	0	0.03	0	0
Residuo fino	20.8	6.98	11.54	6.09
Tetrapack	1.3	0.45	0	1.555
Hule	0.065	0.01	0	0
Fibra sintetica	0.36	0.06	0	4.02
Loza y ceramica	0	0.38	0	0
Madera	9.11	0.24	0	20.649
Aluminio	0.525	0.41	0.47	1.376
Material ferroso	0.24	0	0	0
hojalata	36.7	0.22	1.7	32.649
Papel	12.47	5.5	4.17	9.376
Residuo sanitario	20.77	8.63	8.63	20.2
Bolsas de botana	2.15	0.56	2	3.154
Bolsas de pelicula	6.93	1.8	1.57	3.079
Plastico rigido	2.3	1.12	0	4.766
Pet	6.95	0.9	7.26	10.601
Polietileno de alta densidad	3.14	1.74	0	0
Hielo seco	0.58	0.44	0	0
Residuos alimenticios	353.092	23.31	6.79	206
Residuos de jardineria	0	0.34	0	0
Trapo	2.6	0.14	0	0
Vidrio	3.99	1.26	1.9	6.721
Residuo peligroso	0.24	0.06	0	0
Total	524.622	56.96	47.86	365.884

Dentro de las cuatro Casas Espartaco de Morelia, existen un promedio de 270 estudiantes. En la tabla 2 se muestra la generación promedio por día de residuos generados en cada una de las cuatro casas muestreadas.

Tabla 2. Generación promedio de residuos sólidos en las casas del movimiento Espartaco (kg/día peso húmedo)

CASAS	PROMEDIO (kg)/DIA
Allende	8.14
Galeana	74.96
J. Martí	6.6
Wenceslao	72.05
TOTAL	161.75

Referente a la producción per cápita diaria promedio por habitante en nuestro país, la cual según datos de SEDESOL aumento de 0.852 en el 1998 a 0.921 para el 2006, lo que significó un aumento del 7.5 %. En el caso del sitio de estudio, es de 0.599 la generación per cápita por día (kg/hab/día), lo cual se encuentra por debajo de la referencia, esto es porque en las Casas de Estudiante se prepara la comida en conjunto y un promedio de 7 horas los habitantes se encuentran en su escuela.

En la tabla 3 se muestra el total de reciclables por semana, susceptibles de comercializar, así como una proyección mensual y anual.

Tabla 3. Producción de reciclables en las casas analizadas (Kg peso fresco)

SUBPRODUCTOS	ALLENDE/día	GALEANA/día	J. MARTI/día	WENCESLAO/día	TOTAL/CASAS/SEMANA	TOTAL/CASAS/MES	TOTAL/CASAS/AÑO
CARTON	2.35	40.31	1.83	61.64	106.13	424.52	5094.24
TETRAPACK	0.45	1.3	0	1.55	3.30	13.2	158.4
ALUMINIO	0.41	0.525	0.47	1.37	2.78	11.12	133.44
HOJALATA	0.22	36.7	1.7	72.64	111.26	444.48	5333.76
MATERIAL FERRO	0.00	0.24	0	0	0.24	0.96	11.52
PAPEL	5.50	12.47	4.17	9.376	31.52	126.08	1512.96
PLASTICO RIGIDO	1.12	2.3	0	27.76	31.18	124.72	1496.64
PET	0.90	6.95	7.26	20.6	35.71	142.84	1714.08
HDP	1.74	3.14	0	0	4.88	19.52	234.24
VIDRIO	1.26	3.99	1.9	8.72	15.87	63.48	761.76
TOTALES	13.94	107.925	17.33	203.656	342.85	1371.4	16456.8

La tabla anterior muestra un porcentaje significativo de subproductos que por su naturaleza son más difíciles de degradar en los sitios de disposición final de residuos; además, de que su venta genera ciertos ingresos que son útiles para adquirir productos para la mejora de las Casas. Al separar previamente y reciclar se reduce la disposición de estos materiales contribuyendo a la disminución de impacto al ambiente.

4.2 Programa informativo

Conociendo la inquietud y el conocimiento por parte de las personas que habitan la Casa Galeana, como primera parte, se llevó a cabo la colocación de letreros en todas las Casas Espartaco de Morelia, para la disposición de materia orgánica e inorgánica, vidrio, papel, hojalata, PET y residuo sanitario en zonas específicas dentro de las Casas. El 30% de las habitantes no respetaron las indicaciones, puesto que, depositaban los residuos en el bote que no correspondía. De alguna manera, este porcentaje concuerda con el número de personas que no les interesó colaborar con el proyecto.

Estos resultados habrá que considerarlos al momento de efectuar estrategias de manejo y recolección de residuos. En la tabla 4 se muestra el destino que se les da a los diferentes materiales separados.

MATERIAL	DESTINO
Hojalata, aluminio, fierro, papel, carton, PET, vidrio, tetra pack.	Centro de acopio
Textil	Ropa, zapatos que aun son útiles, se dona a colonias Antorchistas.
Madera	Centro de composteo por parte de la Direccion de Aseo Publico del H. Ayuntamiento.
Material útil	Casas de Estudiante, para su reutilización.
Material eléctrico/computo	Venta particular
Fracción orgánica	Venta como alimento para animales de granja
Resíduos sanitarios y material NO separable.	Relleno sanitario
Aceite domestico usado, pilas, Resíduos Peligrosos Biológico-infecciosos	Centro de acopio de materiales peligrosos "Ambiental Michoacana"

5. Discusión de resultados

El propósito del trabajo fue elaborar un Plan de manejo de los residuos sólidos reciclables en las Casas de Estudiante Espartaco de Morelia. Se realizó un estudio de caracterización dentro de cada

Casas y se constató que se generan una cantidad considerable de materiales reciclables. No obstante, el programa de información a los moradores, previo a la implementación de la separación, el grado de respuesta es aún bajo. Por lo que es importante el buscar otros mecanismos que incrementen el involucramiento de las personas en los programas de separación. Se constató asimismo, que una proporción considerable de los residuos orgánicos producidos, provienen del desperdicio de alimentos, por lo que también resulta importante el que se implemente programas para mejorar las condiciones de almacenaje de los alimentos, así como de la participación de nutriólogos que diseñen menús de alimentos acordes con los usos y costumbres de los moradores de las casas.

6. Conclusiones

Los resultados de la caracterización efectuados muestran una cantidad considerable de residuos reciclables.

La separación de los residuos generados en las Casas de Estudiante Espartaco, además de disminuir la cantidad a disponer en el relleno sanitario, permite obtener un beneficio económico.

Los resultados demuestran la viabilidad de la implementación de este programa en todas las Casas de Estudiante de Michoacán, ya que se generan cantidades considerables de residuos reciclables que pueden ayudar en beneficio de las mismas viviendas, en aspectos relacionados con la convivencia, fomento a la salud y educación.

Referencias Bibliográficas

- [1] Buenrostro O., Bernache G., Cram S., Bocco G.(1998) análisis de la generación de residuos sólidos en los mercados municipales de Morelia, México. 1 p.
- [2] DOF (Diario Oficial de la Federación) 2003. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. 39 pp.
- [3] Programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2009-2012 (SEMARNAT), 10 p.
- [4] SEDESOL-INE (1994). Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente. México, 220 p.
- [5] SEMARNAT (2004) NOM-083-SEMARNAT-2003 Diario oficial Primera sección, 2 p.
- [6] Tchobanoglous, G., Theisen H. and Vigil, S. 1993. Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues. Volume II Irwin McGraw-Hill, USA.

Recolección de residuos sólidos, servicio no prioritario en los municipios mexicanos

Fabiola Aviña Hernández

fabiola.avina@flacso.edu.mx.

Resumen

La generación de residuos sólidos implica una problemática ambiental debido a la contaminación del suelo, aire y agua que propician y la necesidad de su manejo. Un aspecto fundamental en el manejo de los residuos es el servicio de recolección mediante el cual los residuos son retirados y trasladados al sitio de confinamiento, la carencia de este servicio incide en posibles prácticas negativas de los hogares respecto la eliminación de la basura. El servicio de recolección se mide por su frecuencia y porcentaje de cobertura, siendo ambos indicadores de las acciones implementadas por los municipios en cuanto al manejo de los residuos. En el documento se analiza la frecuencia y cobertura de recolección en los municipios mexicanos mediante el uso de información de la Encuesta sobre el Perfil de los Municipios en México (CEDEMUN-INEGI 1995), la Encuesta Sobre Desarrollo municipal (ENDESMUN 2000) y la Encuesta Nacional a Presidentes Municipales (ENAPREM 2002). El uso de estadística para el análisis de la información de las tres encuestas, brinda un panorama acerca del servicio de recolección de basura mediante el porcentaje de cobertura y frecuencia. Los resultados muestran que el servicio de recolección no es prioridad para los presidentes municipales, y no se trata de un asunto resuelto ya que es un servicio brindado de manera parcial y fragmentada, con grandes diferencias entre Dentro y Fuera de la cabecera municipal.

236

Palabras Clave: *cobertura, frecuencia, manejo, otorgamiento*

1. Introducción

El manejo de los residuos sólidos es complejo debido a la variedad y cantidad de residuos, un sistema de recolección ineficiente, a la inadecuada disposición final, el desarrollo urbano, bajos presupuestos asignados a la administración de los residuos y la falta de participación ciudadana. Aunado a lo anterior, generalmente las autoridades locales no tienen datos, ni un registro adecuado de los montos y tipos de residuos municipales que se generan, recolectan y disponen, tampoco se presenta interés por parte de los presidentes municipales de atender la problemática.

El servicio de limpia en general y la recolección de los residuos sólidos en particular es responsabilidad del gobierno municipal, es decir, “los ciudadanos esperan obtener del gobierno un conjunto de bienes y servicios que no son proporcionados eficientemente por el mercado o bien son observados como responsabilidad gubernamental ante la colectividad social” [2], esto no se cumple en diversos casos, ya que en México se presenta un otorgamiento diferenciado del servicio de recolección de residuos sólidos domésticos, tanto en cobertura como en frecuencia, dependiendo de si el hogar se ubica dentro o fuera de la cabecera municipal.

Para analizar el lugar que ocupa el servicio de recolección de residuos – percibido por el presidente municipal – así como su frecuencia y cobertura diferenciando entre “fuera de la cabecera” y “dentro de la cabecera” se utilizan las Encuestas a Presidentes Municipales realizadas en 1995, 2000 y 2002, años para los que se cuenta con información.

2. Manejo de los residuos sólidos

2.1 Problemática de los residuos sólidos

La generación de residuos sólidos es cada vez mayor y tiene relación directa con los patrones de consumo de la población, los cuales en las últimas décadas han cambiado hacia un uso de más materiales para empaques, una vida útil más corta de los productos, la reducción de los tipos de envases y botellas retornables, así como un aumento en empaques y materiales que se definen comercialmente como desechables. La sociedad mexicana se encuentra enclavada en patrones de consumo que generan crecientes cantidades de basura, siendo entre el 55 y 80% de los residuos municipales generados por los hogares [1].

Para Terraza [5], en las ciudades con una población mayor a 500.000 habitantes se recolecta el 82% de lo generado, mientras que en ciudades con una población inferior se recolecta el 69% en promedio y el servicio sigue siendo deficiente o inexistente en áreas marginales con asentamientos informales y en centros rurales.

Cabe resaltar que si bien el servicio de limpia en general y la recolección de los residuos en particular son responsabilidad del gobierno municipal, en México, muchos municipios no cuentan con la capacidad financiera para otorgar éste y otros servicios. De acuerdo con la literatura [1], [3] y [4], en México se presentan los siguientes problemas en cuanto a la agenda de los residuos sólidos:

- 1) Poca infraestructura, principalmente en el almacenamiento, transferencia y disposición final.
- 2) Insuficientes e inadecuados equipos (especialmente camiones de recolección), en la mayoría de los casos obsoletos.
- 3) Bajos niveles de recuperación, reciclaje y aprovechamiento de los residuos con tecnologías alternativas.
- 4) Ausencia de mecanismos que permitan la recuperación de los costos de inversión y operación del servicio.
- 5) Baja conciencia por parte de la ciudadanía y autoridades en cuanto al manejo de los residuos sólidos.
- 6) Trabajo desvalorizado tanto de los chóferes, ayudantes y los pepenadores.
- 7) Cortos periodos de las administraciones municipales.
- 8) Vertederos saturados.
- 9) Servicio de recolección insuficiente y ausencia de control de los sitios de confinamiento, lo que ha provocado tiraderos clandestinos y contaminación superficial y subterránea.
- 10) Contabilidad compartida con otros servicios municipales. Carencia de una partida presupuestaria específica para el servicio.
- 11) Las rutas de recolección se determinan en general por la experiencia de los trabajadores y el equipo disponible, no mediante una planeación eficiente.

Una vez esbozada la problemática de los residuos sólidos se presenta en el siguiente apartado los materiales y métodos utilizados para el análisis.

2.2 Encuestas municipales

En México se han realizado tres encuestas que ofrecen un panorama de la situación de los municipios en diversos aspectos que van desde la planta laboral que los conforman hasta las percepciones de los presidentes municipales respecto a las obligaciones del ayuntamiento. El presente trabajo utiliza la Encuesta sobre el Perfil de los Municipios en México (CEDEMUN-INEGI 1995), la Encuesta Sobre Desarrollo Municipal (ENDESMUN 2000) y la Encuesta Nacional a Presidentes Municipales (ENAPREM 2002).

El análisis estadístico de las encuestas, busca detectar los patrones de frecuencia de recolección brindada en los municipios mexicanos ya que se considera que si bien el problema de la diferenciación en el servicio de recolección depende en gran medida de la discrecionalidad de los chóferes de los camiones (van donde dan mejores propinas o “hay mejor basura”), está estrechamente relacionado con las decisiones de los presidentes municipales.

2.3 El servicio de recolección de residuos sólidos, no prioritario en los municipios mexicanos

Además de las cuestiones de presupuesto para el otorgamiento de los servicios públicos en general y en particular para el servicio de recolección de residuos, cobra relevancia la visión o las prioridades establecidas por los presidentes municipales. En las Encuestas Nacionales a Presidentes Municipales 1995, 2000 y 2002, se observa que el servicio de recolección de basura no está dentro de los servicios prioritarios tanto dentro como fuera de la cabecera municipal, se encuentra en sexto lugar con un porcentaje inferior al 2%.

Tabla 1. Prioridad del servicio de recolección dentro y fuera de la cabecera municipal, 1995 – 2002

AÑO	Servicio prioritario DENTRO de cabecera	Servicio prioritario FUERA de cabecera
1995	Cuarto (7%)	Sexto (2.2%)
2000*	Sexto (1.8%)	
2002	Sexto (1.9%)	Sexto (1.3%)

* El servicio más importante

Fuente: ENDESMUN 1995, 2000 y 2002

En la cabecera municipal y las localidades aledañas donde se concentra la población, se percibe un servicio más eficiente que puede ser atribuido a cuestiones tanto geográficas como de orden político ya que existe un interés de los responsables por tener una buena imagen de los servicios que brinda el ayuntamiento, en este caso particular, mediante un otorgamiento de cobertura amplia y frecuencia regular del servicio de recolección. Las fallas en este servicio tienen un costo político inmediato y directo para las autoridades, sobre todo si se toma en consideración que las familias buscan deshacerse de la basura lo más pronto posible.

Las observaciones para una cobertura baja (0 -10) en las localidades fuera de la cabecera son del doble o más que dentro de la cabecera. Mientras que los porcentajes para una cobertura amplia (91-100) son tres veces superiores en la cabecera (29.8, 25.7 y 36) que fuera de la cabecera (4.6, 6.3 y 11.6).

Tabla 2. Cobertura del servicio de recolección dentro y fuera de la cabecera municipal

% COBERTURA RECOLECCIÓN	% DENTRO DE LA CABECERA			% FUERA DE LA CABECERA		
	1995	2000	2002	1995	2000	2002
0-10	20.8	4.6	7.8	51.7	11.1	14.6
11 - 20	3	2.7	1.8	5.4	4.8	4.5
21 -30	1.5	2	1.4	4.2	4.6	4.3
31 - 40	1.5	2.2	1.7	3.8	4.6	3.5
41 - 50	5	6.2	5	6.8	8.7	7.1
51 -60	4	5.3	3.1	4.4	6.4	5.3
61 -70	6	9	6.7	3.7	6.8	5.1
71 -80	14.5	17	13	6.9	8.2	8.4
81 - 90	13.9	15.3	16.3	3.4	5.1	6.9
91 - 100	29.8	25.7	36	4.6	6.3	11.6
PERDIDOS	0	10	7.2	5.1	33.4	28.7
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Fuente: ENDESMUN 1995, 2000 y 2002.

La frecuencia con que un hogar reciba el servicio de recolección de residuos y la cobertura del servicio influyen en lo que haga con la basura y a su vez generara un impacto en el ambiente ya que se hace necesario recurrir a otro medio para eliminar la basura.

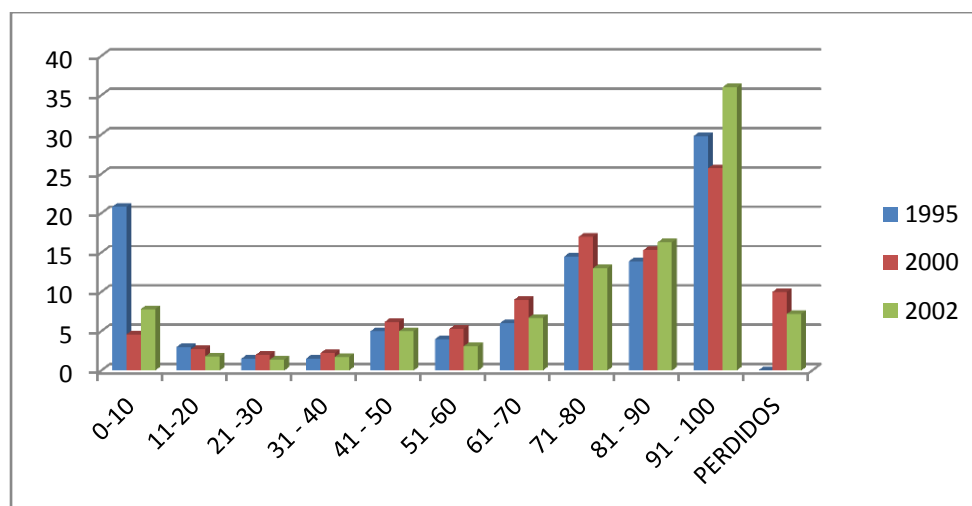


Figura 1. Cobertura del servicio de recolección de basura dentro y fuera de la cabecera municipal 1995, 2000 y 2002

3. Conclusiones

Se considera que existen temas relativos al manejo de los residuos sólidos poco tratado en la literatura, entre los que destacan: 1) Inexistencia de una partida específica para el manejo de los residuos, 2) Prioridades de los presidentes municipales 3) Segregación espacial en el otorgamiento y cobertura del servicio, dependiendo si se trata de la cabecera municipal o las localidades fuera de la cabecera (lo cual involucra en términos macros las características socioeconómicas y demográficas en las que se encuentran los hogares).

A pesar de las dificultades en la obtención de los datos sobre la generación, caracterización, la frecuencia y cobertura del servicio de recolección y disposición de los residuos sólidos tanto a nivel nacional como local, es pertinente trabajar en la construcción de indicadores que muestran la situación de los montos ya que es la única manera en que se sabrán las medidas necesarias para atenuar la problemática.

Es de vital importancia detectar las prioridades de los presidentes municipales, ya que mediante información y capacitación se les puede ofrecer no solo un panorama de la situación de los residuos sólidos en su municipio, sino también de las alternativas de las que pueden disponer el municipio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bernache, Gerardo. *Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. Guadalajara, México: Publicaciones de la Casa Chata, 2006.
- [2] García, R. «Análisis del municipio mexicano: diagnóstico y perspectivas, parte I y II.» *CIDE*, 1997.
- [3] Navarrete, Manuel. «El manejo de residuos sólidos municipales en México y la participación del Banco Mundial.» *Comercio Exterior*, 2005: 348-361.
- [4] SEMARNAT. *Guía par la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales*. México: SEMARNAT, 2001.
- [5] Terraza, Horacio. *Manejo de residuos sólidos. Lineamientos para un servicio Integral, Sustentable e Inclusivo*. New York: BID, 2009.

Situación actual de las pilas usadas en México

Virginia Montiel Corona, José Antonio Guevara-García, Jaime A. Reyes-López, Timothy D. Landry

* jaguevarag@gmail.com

Resumen

Las pilas usadas se acumulan en los basureros a un ritmo extraordinario en México y la aparición de nuevas tecnologías empeorará el problema. Diferentes autores estiman que la disposición de pilas usadas en un vertedero a cielo abierto puede aumentar el contenido de metales pesados en los lixiviados por arriba de los límites permitidos para constituyentes tóxicos. De publicarse el proyecto de Norma Oficial Mexicana NMX-AA-104-SCFI-2006 con la redacción actual, la mayoría de las pilas usadas podrían continuar siendo arrojadas a la basura doméstica, lo cual hace imprescindible considerar las consecuencias en los rellenos sanitarios. En este trabajo se revisaron estudios de lixiviados de rellenos sanitarios y del contenido de Hg, Cd y Pb en pilas usadas para estimar la contribución de estos residuos y el riesgo tóxico en humanos. Se concluye que existen posibilidades de contaminación por metales pesados provenientes de pilas usadas en el futuro y que es mucho más prudente gestionar programas de alto grado de recuperación y reutilización de estos residuos que permitir que continúen siendo confinados junto con la basura doméstica.

Palabras Clave: *basureros, gestión, lixiviados, metales, pilas*

1. Introducción

En México, el mercado de pilas (primarias y secundarias) comprende 650 millones de unidades vendidas por año aproximadamente. Esto corresponde a un valor de cerca de 500 y más de 200 millones de dólares por año para pilas formales e informales, respectivamente [1]. En 2006, el gobierno federal publicó el proyecto de Norma Oficial Mexicana NMX-AA-104-SCFI-2006 (NOM-2006). En el mismo año, la Unión Europea decretó la directiva 2006/66/EC (UE-2006). Existen importantes diferencias entre la directiva de la UE y esta primera versión de la NOM-2006, las principales son: los niveles máximos permitidos para Hg, Cd, y Pb en la NOM-2006 son 20, 7.5, y 5 veces más altos que en la UE-2006; y, las pilas legales aprobadas se pueden disponer junto con los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). El Instituto Nacional de Ecología (INE) estimó que desde 1960 a 2003, las siguientes cantidades de metales provenientes de pilas se han depositado en los rellenos sanitarios: 145,918 ton de MnO₂; 1,232 ton de Hg; 22,063 ton de Ni; 20,169 ton de Cd; y, 77 ton de compuestos de Li [2]. La Asociación Mexicana de Productores y Comercializadores de Pilas (AMEXPILAS) asegura que solo las pilas ilegales son contaminantes [3]. Guevara-García y Montiel-Corona reportaron un estudio estadístico y de contenido de metales en pilas recolectadas en México [4]. El análisis de Hg, Cd y Pb mostró que no hay diferencias significativas en el contenido entre las pilas legales e ilegales de tipo AA, y que todas las marcas analizadas estaban dentro de los límites permisibles de la NOM-2006, por lo tanto serían clasificadas como residuos no peligrosos y desechadas junto con los RSU.

La disposición directa de pilas usadas en rellenos sanitarios puede incrementar el contenido de metales pesados en los lixiviados [5] – [9]. Por ejemplo, basados en estudios realizados en 1992 y 1998, las pilas usadas aportaron aproximadamente el 90% del Hg y el 52% de Cd en RSU en los Estados Unidos [10], [11]; aunque se proyecta que el nivel de Hg se reduzca.

El objetivo de este trabajo es el de explorar la situación de las pilas usadas con respecto a su potencial de riesgo tóxico en humanos y en el ambiente, debido a su disposición en rellenos sanitarios, en la actualidad y en el futuro si estos residuos siguen siendo desechados junto con los RSU.

2. Desarrollo

2.1 El contenido de Hg, Cd y Pb en las pilas en México

El INE hizo públicos dos estudios sobre la composición de pilas usadas en 2007 [12], y 2008 [13]. Los resultados para pilas carbón/cinc y alcalinas provenientes del mercado legal fueron concentraciones debajo de los límites de la UE-2006 para Hg y Cd, mientras que algunas marcas ilegales de estas tecnologías y marcas legales e ilegales de otras tecnologías emergentes (cinc-aire, ion litio, Ni/Cd, Ni/MH) excedieron estos límites. Cabe mencionar que la nueva versión del proyecto de NOM-2006 se ha modificado y propone adoptar los límites máximos permitidos de la UE-2006 (0.0005%, 0.002%, y 0.004%, para Hg, Cd, y Pb, respectivamente) [14].

2.2 Estudios de lixiviados de rellenos sanitarios en México

La Tabla 1 presenta un resumen de los estudios en rellenos sanitarios revisados. Los reportes hechos en dos años diferentes en los casos de Mérida y Tuxtla Gutiérrez, permiten evaluar el cambio en el contenido de metales en los lixiviados en corto tiempo. Se observa aumentos muy rápidos y grandes, lo cual es alarmante. El relleno sanitario de Mérida yace sobre un tipo de suelo llamado “sahcab”: una caliza frágil que se comprimió durante la construcción del relleno [15]. Esto redujo la densidad de poro e incrementó la retención de partículas grandes, pero también la disolución de carbonatos, los cuales pueden ayudar a mantener en solución iones de metales pesados. En Tuxtla Gutiérrez, Najera y col. [16] determinaron que las rocas son ricas en óxidos de hierro hidratados amorfas, lo que explica la concentración elevada de hierro en los lixiviados, pero además el importante aumento en la concentración de Zn y Cd podría ser originado por la saturación de estos estratos. En Linares, Nuevo León, la falta de membrana aislante permite la infiltración de los lixiviados, a través de fracturas en la masa rocosa, hacia el acuífero que se encuentra a unos 17 m de profundidad [17].

El relleno Chiltepec de Puebla, está sustentado por basaltos intercalados con calizas. La modelización geoquímica demostró que los metales no son móviles en este ambiente; pero la presión, debida a la carga que recibe, es de las más altas [18]. El vertedero de Oaxaca yace sobre un suelo de arcilla y limo arenoso [19], mientras que el de Metepec, Estado de México, es en su mayoría franco arcilloso [20]. Los factores geológicos en ambos casos sugieren que existe una considerable vulnerabilidad que permite el escape de metales pesados hacia los lixiviados, lo cual explica la concentración de Zn encontrada en el lixiviado de Metepec y en los niveles de Pb en Oaxaca.

Los estudios sobre la dispersión de la pluma de lixiviados de los rellenos son todavía muy escasos. Reyes-López y col. [21], usaron métodos tradicionales, sondeo eléctrico vertical (VES) y radar de penetración de suelos (GPR) para la delineación de la pluma de contaminantes en el vertedero Guadalupe Victoria de Mexicali, Baja California. El suelo de limo arenoso y un acuífero superficial (aproximadamente a 1 m de profundidad) favorecen el transporte de los lixiviados, produciendo una pluma de lixiviados que se extiende por 20 y 40 metros a partir de los bordes SE y NO del relleno sanitario, respectivamente. Morales y col. [22] determinaron la trayectoria y profundidad del lixiviado del vertedero de Metepec, Estado de México, utilizando una red de 18 pozos de biogás y dos orificios de muestreo. Estos autores observaron que la pluma se adentra a profundidades de más de 25 metros a una distancia de 30 metros desde el borde del vertedero, debido a la presencia de material de tipo arenoso.

Tabla 1. Contenido de metales en lixiviados y algunas características de diferentes rellenos sanitarios documentados en México

Relleno sanitario (año)	Concentración (mg/L)				Características geológicas y comentarios	Ref.
	Zn	Cd	Pb	Hg		
Bordo Poniente, Edo. de México (2006)	0.44	0.13	nr	nr		[33]
Mérida, Yuc. (2008)	0.59	0.0014	0.03	nr	Caliza frágil “sahcab”; comenzó en 1997	[14]
Mérida, Yuc. (2009)	3.2	0.0069	0.236	nr		[34]
Tuxtla Gutierrez, Chiapas (2006)	1.631	0.018	0.244	nr	Areniscas y calizas; comenzó en 1995	[35]
Tuxtla Gutierrez, Chiapas (2008)	3.425	nr	1.851	nr	Dejó de aceptar basura en 2008	[15]
Veracruz, Veracruz (2008)	0.398	nr	0.089	nr	5200 ton/día	[36]
Linares, Nvo. León (2002)				0.04-0.0012	Masa rocosa con fracturas 1980-2001: 300,000 ton.	[16]
Puebla, Puebla (1996)	0.43	0.01	nr	nr	Basaltos intercalados con caliza. Comenzó en 1995; 800-1100 ton/día	[17]
Oaxaca, Oaxaca (2006)	nr	0.9-1.21	18-25	nr	Suelo arcillosos y franco arenoso; > 25 años; 454 ton/día	[18]
Metepec, Edo. de México (2006)	2635	nr	0.27	0.008	Arcilloso-arenoso y franco arcilloso; comenzó en 1984; 279 ton/día	[19]

n.r. – No reportada.

En Oaxaca, Navarro Mendoza y col. [23] utilizaron resistividad geofísica y bobinas electromagnéticas (EM), el análisis químico de pozos y de una laguna de escorrentía, para establecer la dirección y el alcance de la pluma de lixiviado. La concentración de metales en las muestras de los pozos fueron bajas, pero se encontraron óxidos e hidróxidos de Fe y Mn finamente dispersos en la matriz del suelo, lo cual puede explicar la retención de metales pesados. Sin embargo, otros análisis de los suelos arcillosos siguieron que estos se encuentran muy saturados. En el relleno de Durango, se han vertido un promedio diario de 400 ton de basura por más de 15 años, sin la infraestructura necesaria y los suelos están compuestos principalmente de grava y arena con alta permeabilidad. Pérez-López y col. [24] estudiaron este vertedero por muestreo de 20 pozos, con profundidades entre 7-150 m. Se observó que la dureza, cloruros y conductividad fueron más altos en los pozos más cercanos al relleno, y durante un período de 18 años, sus valores promedio aumentaron significativamente. Esto indica la infiltración de los lixiviados del vertedero en los acuíferos del sitio.

2.3 Contribución de las pilas usadas a los lixiviados de los rellenos sanitarios

La movilidad de los constituyentes tóxicos de un residuo que lo hacen peligroso está determinada por el lixiviado producido, y el procedimiento para estimarlo es el USEPA-1999 [25] y su equivalente en México, NOM-052 [26]. En 2006, AMEXPILAS realizó este análisis para pilas de Zn/C y alcalinas comercializadas por ellos [27], sin embargo, el análisis sólo comprendió la determinación de Mn y Zn, mientras que la NOM-052 establece los límites permitidos para otros metales. Debido a esto, no se concluyó si las pilas usadas son desechos peligrosos y tampoco hay datos para estimar la contribución de las pilas al contenido de metales pesados en los lixiviados de los RSU. Karnchanawong y Limpitprakan [9] estudiaron la composición de los lixiviados de diferentes modelos de contenidos de pilas (0, 1, 5, 100%) utilizando lisímetros. Para tomar la referencia adecuada para México, se necesita la carga de pilas/ton de RSU. Castro-Díaz y Díaz Arias [2] estimaron una carga de 1 Kg de pilas/ton de RSU (0.1%), sin embargo, un estudio reciente muestra un intervalo de 0% a 15.11% [28]. En este trabajo se tomó un valor de 5%. En la Tabla 2 se comparan los contenidos de metales en lixiviados de pilas según diferentes autores. Las

concentraciones de Cd, Hg y Pb se encuentran por debajo de los límites máximos de la norma 052. Sin embargo, de acuerdo a lo discutido en el apartado 2.2, las plumas de lixiviados podrían estar contaminando las aguas subterráneas superando los niveles máximos permisibles por la NOM-127, incluso teniendo en cuenta la dilución. Además, la liberación de iones metálicos es función del pH y de la edad y el estado del relleno sanitario. En la fase acidogénica de estos, las pilas pueden aumentar el contenido de Mn y Zn en los lixiviados, pero conforme el vertedero se estabiliza y el pH aumenta, otros iones metálicos pueden ser liberados, incluyendo al mercurio. El tipo de pilas también determina la presencia de metales en el lixiviado, por lo tanto, conforme las pilas de Ni/Cd comiencen a ser más frecuentes en los vertederos, habrá un mayor riesgo de contaminación por Cd.

Tabla 2. Contenido de metales pesados en el lixiviado de pilas usadas y límites permitidos en lixiviados (NOM-052) y en agua para uso y consumo humano (NOM-127)

	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ag	Pb	Se	Mn	Zn
NOM-052-SEMARNAT-2005 ⁽¹⁾	5.0	100.0	1.0	5.0	0.2	5.0	5.0	1.0	---	---
NOM-127-SSA1-1994 ⁽²⁾	0.025	0.70	0.005	0.05	0.001	---	0.01	---	0.15	5.0
K y L (2009) ⁽³⁾	---	---	0.038	---	0.013	---	0.038	---	6.936	8.551
Slack y col. (2005) ⁽⁴⁾	0.01-1.0	---	0.0001-0.4	0.0-1.62	0.00005-0.16	---	0.001-5.0	---	---	0.003-1000
AMEXPILAS (2006) ⁽⁵⁾	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0-451.1	0.6-900.3

(1) Límite máximo permitido de cada metal tóxico en un lixiviado para no ser considerado como residuo peligroso; (2) Modificado en 2000. Límite máximo permitido para metales en agua para uso y consumo humano. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>; (3) Modelado por lisímetro utilizando 5% de pilas en RSU [9]; (4) Valores reportados por diferentes autores y citados en la Tabla 2 del artículo (review) [29]; (5) Valores mínimos y máximos reportados.

3. Riesgo tóxico en humanos debido a pilas usadas

Selvapathy y Madhavan realizaron una evaluación del riesgo tóxico debido a la disposición de pilas usadas en RSU de Chennai, India en 2003 [8]. El valor del riesgo acumulado no carcinogénico obtenido para adultos fue de 1.47, superior al valor aceptable de 1 [30]. En el caso de niños, el valor obtenido fue 9.12, lo que indica un peligro potencial. El riesgo acumulado carcinogénico no se pudo calcular. Estos autores asumieron que el 0.05% del peso total de RSU es material lixiviable y estimaron una exposición de los receptores, por ingestión de aguas contaminadas de 0.555 (niños) y 0.066 mg/kg/día (adultos) para Mn. En México, no se ha hecho una estimación de la exposición de los receptores. El Instituto Politécnico Nacional [31], hizo un análisis del ciclo de vida teniendo en cuenta los riesgos a la salud humana, asumiendo un porcentaje de lixiviado de metales pesados del 1%, sin informar el valor de exposición usado. Sus conclusiones fueron que el costo del reciclaje y/o confinamiento controlado de las pilas usadas es significativamente mayor que los beneficios ambientales posibles. Conclusión muy preocupante de acuerdo a lo discutido anteriormente.

4. Conclusiones

La mayoría de los estudios señalan que los estratos profundos de los vertederos están saturados o próximos a saturarse: la capacidad de intercambio iónico muestra que el suelo se agota. Aunque los rellenos sanitarios no siempre liberan un lixiviado con altas concentraciones de iones metálicos, los metales pueden estar concentrándose en los estratos. Las plumas de lixiviados a menudo parecen llegar a las aguas subterráneas. Debido a estos hechos, existe en el futuro el riesgo de

contaminación crónica y extensa por metales pesados provenientes de pilas usadas. Si bien las pilas usadas pueden persistir intactas porque están diseñadas para durar al menos diez años, las pilas más antiguas finalmente liberarán su contenido. Predecir el grado de contaminación y el costo de la remediación es difícil, pero, sobre la base de una contaminación generalizada potencial, es mucho más prudente gestionar programas de alto grado de recuperación y reutilización de estos residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Aguilar J.A., García-Camargo E. “PILAS: Las tiro o las acopio?” *Revista del Consumidor*. Procuraduría Federal de Protección al Consumidor (PROFECO). 2006.
- [2] Castro-Díaz J., Díaz-Arias M.L. “La contaminación por pilas y baterías en México”. *Gaceta Ecológica*, Num. 72, 2004. Instituto Nacional de Ecología. México.
- [3] Vega-Vieyra A. “México basurero de pilas y baterías; 663 millones son desechadas al año”. *Revista GENTE*, 120: 1-2. 2006.
- [4] Guevara-García J.A., Montiel-Corona V. “USED battery collection in central Mexico: Metal content, legislative/management situation and statistical analysis”. *Journal of Environmental Management*, doi:10.1016/j.jenvman.2010.09.019
- [5] Panero S., Romoli C., Achilli M., Cardarelli E., Scrosati B. “Impact of household batteries in landfills”. *J. Power Sources*. 57, 9-12. 1995.
- [6] Puetpaiboon U., Kongnakorn W., Cheensri W. “Study of leachate from disposed of dry battery in sanitary landfill”. *13th National Annual Conference*, Bangkok, pp. 61-67. 2001.
- [7] Sohn J.S., Ahn J.G., Park K.H., Park H.I., Yoon O.S. “Leaching characteristic of spent batteries containing heavy metals”. *2nd Asian Pacific Symposium*, APLAS. pp. 757-761. 2002.
- [8] Selvapathy P., Madhavan S.D. “Risk Assessment of used Household Batteries”. *Workshop on Sustainable Landfill Management*, Chennai, India, pp. 219-224. 2003.
- [9] Karnchanawong S., Limpitprakan P. “Evaluation of heavy metal leaching from spent household batteries disposed in municipal solid waste”. *Waste Management*. 29, 550-558. 2009.
- [10] Richard T.L., Woodbury P.B. “The impact of separation on heavy metal contaminants in municipal solid waste composts”. *Biomass and Bioenergy*. 3 (3-4), 195-211. 1992.
- [11] Richard T.L., Woodbury P.B. “Municipal Solid Waste Composting: Strategies for Separating Contaminants”. Fact Sheet 3. *University of Cornell*. Ithaca, NY. 2006.
- [12] Instituto Nacional de Ecología (INE). “Análisis de contenido de metales en pilas alcalinas nuevas y usadas cuya disposición final se realiza en tiraderos municipales”. 2007.
- [13] Instituto Nacional de Ecología (INE). “Evaluación de la liberación de sustancias potencialmente tóxicas por la disposición de pilas primarias y secundarias”. 2008.
- [14] Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE). Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores. Estrasburgo, Francia. 2006.
- [15] Méndez Novelo R.I., Novelo López A. y col. “Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto”. *Revista Ingeniería*. 12(1), 13-19. 2008.
- [16] Nájera H., Castañón J., Figueroa J. y col. “Treatment of leachates from the landfill in Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Mexico”. *Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste*. Venice, Italy, pp. 8-11. 2010.
- [17] Lizárraga Mendiola L., de León Gómez H., Medina Barrera F., Nívar J. “Calidad del agua subterránea en Linares, Nuevo León, México”. *CIENCIA UANL*. Vol IX (4), 426-430. 2006.
- [18] Marín L.E., Leal Bautista R.M., Rubio R., Prieto E. “Geochemistry of the Chiltepec sanitary landfill, Puebla, Mexico”. *Geofísica Internacional*. 40(4), 301-307. 2001.
- [19] Navarro Mendoza S., Belmonte Jiménez S., y col. “Evaluación experimental de la retención de cobre, cromo y COD en la zona no saturada expuesta a lixiviados contaminantes”. *V International Congress of Environmental Sciences*. Oaxtepec, Mor., México. CAO-40. 2006.

- [20] Moreno A., Garfias J., Morales P. “Migración de lixiviado proveniente de un basurero, modelación analítica y caracterización espacio-temporal”. V *International Congress of Environmental Sciences*. Oaxtepec, Mor., México. CAO-49. 2006.
- [21] Reyes-López J.A., Ramírez-Hernández J. y col. “Assessment of groundwater contamination by landfill leachate: A case in México”. *Waste Management*. 28, S33–S39. 2008.
- [22] Morales G.P., Garfias J., Moreno A. “Estimación de la dirección principal de migración de la pluma de lixiviado generada en el vertedero municipal de Metepec, estado de México”. V *International Congress of Environmental Sciences*. Oaxtepec, Mor., México. CAO-28. 2006.
- [23] Navarro Mendoza S., Belmonte Jiménez S. y col. “Infiltración de lixiviados producidos en el basurero municipal de la Cd. de Oaxaca en suelos adyacentes a un cuerpo de agua”. V *International Congress of Environmental Sciences*. Oaxtepec, Mor., México. CAO-44. 2006.
- [24] Pérez-López M.E., Vicencio De la Rosa M.G., Alarcón Herrera M.T., Vaca Mier, M. “Influencia del basurero municipal en la calidad del agua de acuífero de la Ciudad de Durango, México”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 18 (3), 111–116. 2002.
- [25] USEPA, 1999. Environmental Technology Verification Report Rechargeable Alkaline Household Battery System Rayovac Corporation, Renewal. EPA/600/R-99/005.
- [26] Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- [27] Asociación Mexicana de Pilas (AMEXPILAS). 2006. Evaluación estadística de cinc y manganeso en extracto de pilas (alcalinas y de carbón cinc) primarias del mercado formal e informal. V. 1.0, Laboratorios ABC Química, investigación y análisis S.A. de C.V.
- [28] Whitty K., Smith C. y col. 2008. Opportunities For Energy Production From Solid Waste In The Mexicali/Imperial Valley Region. PROJECT NUMBER: HW-06-3.
- [29] Slack R.J., Gronow J.R., Voulvoulis N. “Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate”. *Science of the Total Environment*. 337, 119– 137. 2005.
- [30] USEPA, 1996. Proposed Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Office of research and development U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 1996.
- [31] Centro interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (IPN). 2008. Determinación de peligrosidad de pilas usadas y análisis de ciclo de vida.
- [32] Asociación Mexicana de Pilas (AMEXPILAS). 2011. (Fecha de consulta Febrero de 2011): www.amexpilas.org.
- [33] Orta de V., Rojas V., Yañez I. y col. “Alternative Treatment of Leachates in Wastewater Treatment Plants”. *Journal AIDIS of Engineering and Environmental Sciences*. 1 (1). 2006.
- [34] Méndez Novelo R.I., Castillo Borges E.R., y col. “Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados”. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (3), 133-145. 2009.
- [35] Cisneros P., Ventura C. y col. “Composition physico-chemical of leached, generated in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas”. *Bol. Soc. Quím.* 1, 39-41. 2007.
- [36] González G.I., Rustrián E. y col. “Impacto de la tasa de humedad en la biodegradación de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Veracruz, México”. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 4 (3), 336-341. 2008.

IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

A questão da agricultura urbana e a produção de resíduos na bacia do rio Tambay - Bayeux/PB – Brasil

Flaviana Kalina Câmara de Lima, Jakeliny Costa Falcão, Claudia Coutinho Nóbrega*, Deborah Melo Alves, Alice de Sousa Moreira Lima, Elizabeth Sousa de Araújo

*claudiacn@uol.com.br

Resumo

A atividade agrícola é uma das mais antigas práticas da humanidade e seu desenvolvimento vem gerando diversas mudanças na paisagem e nas formas de organização do homem no território. Dentre as mudanças provocadas pelo homem estão seus resíduos (lixo). Os resíduos sólidos são considerados um dos maiores problemas ambientais que o mundo enfrenta. Nesse intento, torna-se importante o estudo na bacia do Rio Tambay, Bayeux/PB. Em toda a bacia há presença de lixo, gerando diversos problemas ambientais, sanitários, econômicos e estéticos. No que se refere aos problemas relacionados à prática da agricultura urbana na área em estudo, pode-se citar o descarte das embalagens dos agrotóxicos utilizados, bem como outros produtos, gerando resíduos que poluem o solo e a água. Tal problema é agravado devido à área localizar-se em um ecossistema de mangue, cuja biodiversidade é frágil. Somado ao descarte inadequado das embalagens, estão o uso dos variados agrotóxicos, que contaminam o corpo hídrico e solos. Os bairros que são cortados pelo referido rio, não possuem sistemas de esgotamento sanitário, sendo o mesmo lançado *in natura* no rio, afetando a qualidade da água, tornando-o uma preocupação, pois a água é usada na prática agrícola, regando os produtos que serão consumidos, posteriormente, pela população. O desenvolvimento da agricultura urbana planejada e ecologicamente correta é um fator importante, não apenas para suprir necessidades alimentícias, mas também um meio de construção integral entre sociedade e natureza.

248

Palavras Chaves: *agricultura urbana, bacia do rio tambay, brasil, paraíba, resíduos sólidos*

1. Introdução

Ao longo da história o homem transformou o mundo e o território a sua volta. Nesse início de século a humanidade enfrenta o esgotamento acelerado dos recursos naturais, e a incógnita do que fazer com os resíduos gerados por uma população inconstante, com a poluição crescente dos solos e dos corpos hídricos, bem como o com o crescimento populacional, em especial nas áreas urbanas, que colocam em risco a segurança alimentar populacional.

A prática agrícola é sem dúvidas um dos meios mais contaminantes existentes. A contaminação do ar, das águas e do solo é frequente e ultrapassam muitas vezes os limites considerados toleráveis. Em 1970, a produção agrícola sofreu grandes transformações, a política de crédito associada às novas tecnologias corroborou para que fertilizantes químicos, reguladores do crescimento vegetal e pesticidas fossem empregados de forma excessiva e indiscriminada. Casos agudos de intoxicação por agrotóxicos são frequentemente observados e relatados, principalmente, por agricultores. Os resíduos liberados no ambiente são progressivamente transferidos para os alimentos e para o homem, que diante da exposição continuada pode levar a doenças crônicas.

Este trabalho foi desenvolvido no Rio Tambay está localizado no município de Bayeux, Microrregião de João Pessoa, Mesorregião da Zona da Mata, Estado da Paraíba, Nordeste - Brasil, servindo em alguns pontos como limite intermunicipal das cidades de Bayeux e Santa Rita. O

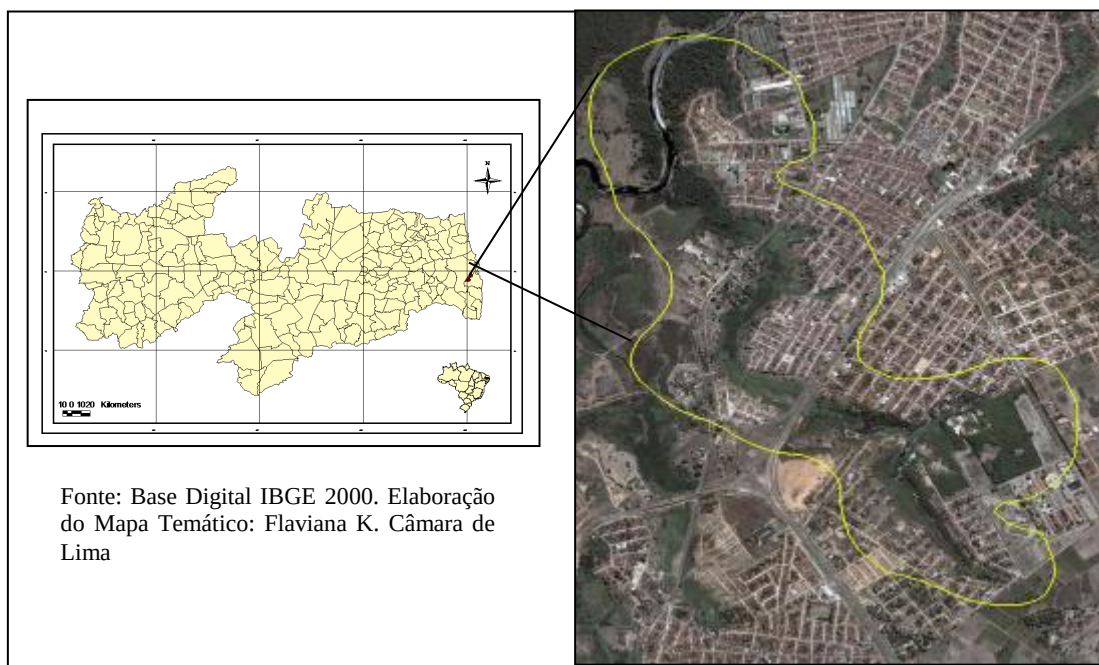
referido corpo hídrico nasce no bairro Alto da Boa Vista no município de Bayeux e deságua no município de Santa Rita no rio Paroeiras.

Há duas formas de caracterizar os recursos hídricos: com relação à sua quantidade e com relação à sua qualidade, estando essas características intimamente relacionadas. A qualidade da água depende diretamente da quantidade de água existente para dissolver, diluir e transportar as substâncias benéficas e maléficas para os seres que compõem as cadeias alimentares.

Este trabalho teve como objetivo analisar a questão do desenvolvimento da agricultura urbana e a geração dos resíduos na bacia do Rio Tambay na cidade de Bayeux – Paraíba/Brasil.

2. Desenvolvimento

Na Figura 1 pode-se observar a localização da cidade de Bayeux e a demarcação da área de estudo.



Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Submissão da pesquisa ao Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Lauro Wanderley - CEP/HULW, da Universidade Federal da Paraíba, que considerou aprovado o projeto de pesquisa: Protocolo CEP/HULW n.º. 481/10, folha de rosto n.º. 360091. Em atendimento a Portaria n. 196/96do CNS/MS, que requer a aprovação no conselho de ética de trabalhos que tragam consigo temas que pesquisem e/ou trabalhem diretamente com seres humanos.
- Aplicação de questionários junto aos agricultores.
- Definição de 4 pontos (P1, P2, P3, P4) de coleta de amostra de água ao longo do rio Tambay, localizado no município de Bayeux/PB. Para a escolha dos mesmos foi levado em consideração os tipos de atividades desenvolvidas as margens do rio, bem como a equidistância entre os pontos.
- Registro fotográfico da área em estudos e da sua população durante o desenvolvimento da coleta das amostras de água e durante a aplicação dos questionários.

- Monitoramento da qualidade da água do rio Tambay em laboratório. Coletando e analisando periodicamente. as coletas e análises datam o período de Junho de 2009 a Dezembro de 2010, totalizando nove (09) coletas, todas realizadas no período matinal. Todas as análises, bem como os procedimentos de coleta seguiram os procedimentos preconizados no [1]. Os parâmetros avaliados foram: cor, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, dureza, pH, temperatura, amônia, nitrato, nitrito, fosfato sulfatos, sólidos totais, óleos e graxas, alumínio, chumbo e coliformes termotolerantes,

3. Análise e Discussão dos Resultados

A agricultura que se é observada na bacia do rio Tambay é do tipo subsistência e comercial, sendo as duas em pequena escala. Seu desenvolvimento é principalmente nas margens do rio Tambay, composto por agricultores e agricultoras, que usam a prática agrícola para complementar sua renda. Alguns, além da agricultura também criam animais, principalmente, vacas e galinhas, outros criam cavalos, cabras, patos e porcos.

Para uma melhor análise da área pesquisada, aplicou-se um questionário sócio-ambiental junto aos agricultores residentes ao entorno da bacia do rio Tambay. Buscou-se mensurar os problemas sócio-ambientais, visando construir um diagnóstico e propor soluções para os problemas.

Na pesquisa, foram entrevistados sete (7) agricultores. A escolha dos mesmos se deu levando em consideração os bairros e as equidistâncias entre os mesmos.

Por não terem estudado, esses agricultores, aprenderam desde cedo com seus pais a cultivar e, retiram da agricultura o sustento, onde esses cultivam para comer (agricultura de subsistência) e vender (agricultura comercial). Conforme as respostas dos entrevistados, 57% deles responderam que praticam a agricultura por prazer e por necessidade, 29% por necessidade não tendo outra fonte de renda ou por não dominar nenhuma outra técnica de trabalho. Apenas 14% desenvolvem a agricultura por prazer. Quando questionados a respeito do destino dos produtos, esses responderam que vendem nas feiras, as pessoas passam comprando, ou ainda vendem de casa em casa. Em relação à renda dos agricultores, 43% ganha aproximadamente 1 salário mínimo, outros 43% em média até 2 salários mínimos, e 14% relatou que sua renda chega a ser mais de 2 salários mínimos (salário mínimo = U\$ 303.00), que não é oriunda apenas da agricultura, mas de aposentadorias e auxílio do governo federal com o Programa Bolsa Família.

Observa-se ao percorrer as margens do rio Tambay, a presença de muitos resíduos sólidos. A preocupação com o que fazer com tanto lixo encontra-se presente na mesa dos debates mundiais. Sabe-se que esse pode ser transformado ou reutilizado, tendo infinitas funcionalidades. Na agricultura a geração de lixo é uma constante, principalmente do lixo orgânico, plásticos e vidros, tendo esses potenciais muitas vezes desconhecido por seus utilizadores. O lixo orgânico pode ser utilizado para geração de adubo, quando preparada para compostagem. Quando interrogados a respeito da utilização dos restos da agricultura para a adubação, alguns apenas responderam que utiliza como fertilizante, mas não faz nenhum preparo (compostagem), simplesmente deixa na terra e essa faz o trabalho. Outros responderam que enterram os restos de alimentos, enquanto que outros falaram que colocam em embalagens plásticas para serem recolhidas pela prefeitura ou então próxima do leito do rio podendo acarretar no escoamento do resíduo para o mesmo.

O uso do agrotóxico é ainda algo muito presente no cultivo dos agricultores, sejam eles no campo ou na cidade. Não o é diferente com os agricultores da área de pesquisa, 86% deles afirmaram que usam algum tipo de agrotóxico, sejam eles fertilizantes, herbicidas ou pesticidas. Mesmo aqueles que relataram que não fazem uso, confessaram que já usaram ou que usam sem muita frequência. O risco do agrotóxico não se limita apenas ao seu uso, mas também na sua aplicação. Cinquenta e sete

por cento (57%) dos agricultores afirmaram não usarem nenhum tipo de equipamento durante a aplicação do agrotóxico nas culturas. Tal fator é algo muito grave, uma vez que os riscos a saúde humana é elevado, podendo acarretar em morte, se o uso for relativamente constante. Em contato com a pele, poderá causar irritações, queimaduras e envenenamentos. A médio e longo prazo, a utilização desses produtos, poderá causar problemas neuropsicológicos, câncer, problemas respiratórios, etc. Associadas com a aplicação de fertilizantes, herbicidas e pesticidas, as áreas agrícolas podem causar danos aos corpos aquáticos, localizados próximos a essas. Mesmo as tecnologias tendo sido aperfeiçoadas e tornado a decomposição no meio ambiente de tais produtos antes de vida longa e, atualmente, com relativa rapidez, alguns desses agrotóxicos podem acumular no subsolo, ameaçando os lençóis freáticos.

Um difícil problema é em relação às embalagens de agrotóxicos, seu destino quando não adequado pode acarretar em problemas a saúde humana e ao meio ambiente. Por serem substâncias altamente tóxicas, deve-se ter cuidado no seu descarte. A melhor e mais viável opção é devolver as embalagens nos locais de recolhimento dessas, geralmente os próprios estabelecimentos que vendem. Contudo, muitos agricultores ainda não o fazem e dão como destino final a esse lixo os mesmos que já foram citados anteriormente, ou até mesmo lançando-o diretamente no rio.

Diante das análises realizadas (Tabela 1) pode-se constatar que o rio Tambay apresenta parâmetros enquadrados e não enquadrados na Resolução CONAMA N° 357 de 2005 para corpos hídricos Classe 2, que estabelece os padrões de qualidade [2]. Em alguns cursos, o rio Tambay apresenta certa peculiaridade no sentido da prática agrícola, essa quando sendo de hortaliças, exige uma série de procedimentos que não foram verificados na pesquisa.

Ressalva-se que a bacia do rio Tambay possui muitas áreas alagadas que diante das pesquisas ambientais são classificadas como uma área de grande importância ecológica, sendo consideradas zonas de transição entre terreno seco e um manancial. São áreas de drenagem precária, tendo sua tendência natural modificada com os aterramentos para diversos fins como agricultura, pastagens e loteamentos, resultando em prejuízos ecológicos, devido às funções que tais áreas exercem no ambiente, tais como recarga de aquíferos, zonas de escoamento superficial e infiltração.

Parâmetros	Médias Gerais					
	CONAMA N° 357/2005	P1	P2	P3	P4	P5
Temperatura		27,97	27,93	27,80	28,47	27,24
Cor	até 75 mg Pt/L	28,9	35,0	51,1	55,0	46,1
Turbidez	100 UNT	27,73	22,40	27,23	31,48	19,53
STD	500 mg/L	51,27	67,38	78,20	124,38	122,51
pH	6,0 a 9,0	6,83	6,89	6,86	6,68	6,80
Alcalinidade		16,47	30,84	34,85	100,73	68,56
Dureza		14,63	33,12	34,99	71,32	51,53
OD	não inferior a 5 mg/L O ₂	5,68	6,02	6,80	2,30	2,84
DQO		31,58	71,29	71,38	169,23	87,09
DBO	até 05 mg/L O ₂	6,02	14,69	9,45	30,02	14,78
Amônia	0,5 – 3,7 mg/L N	0,66	0,55	0,37	1,15	1,07
Nitrato	10,0 mg/L N	3,13	4,70	6,13	8,05	6,48
Nitrito	1,0 mg/L N	0,79	1,33	1,52	10,37	2,00
Fosfato	0,025	0,00	0,08	0,44	0,92	1,03
Sulfato		0,38	0,35	0,47	0,18	0,60
Alumínio	0,1 mg/L Al	0,19	0,16	0,23	0,26	0,56
Chumbo	0,01mg/L Pb	0,059	0,059	0,059	0,060	0,059
Oleos e Graxas	Ausentes	2,55	9,51	10,50	13,53	12,48
Coliformes Termo.	1000/100 mililitros	59,61	33,79	42,47	90,88	161,88

Tabela 1. Médias gerais dos parâmetros analisados no rio Tambay – período junho/2009 a dezembro/2010

4. Conclusões

É necessária a realização de trabalhos de educação ambiental para que as pessoas tenham consciência, pois em todo local avaliado da bacia hidrográfica do rio Tambay, é encontrado lixo, mesmo havendo coleta regular do mesmo pelos órgãos públicos competentes, bem como se vê a presença de esgoto na rua mesmo havendo em todas as casas fossas séptica.

Há também a necessidade de realização de medidas estruturais que venham melhorar a qualidade da água do rio, bem como a retirada de lixo e vegetação do leito que se encontra assoreado.

O fato é que as práticas de saneamento básico aliadas a boas ações de educação são imprescindíveis para o combate a doenças e a contaminação da água e do solo, e devem ser aplicadas na bacia do rio Tambay. Estas se constituem em soluções eficazes para uma melhor qualidade de vida das populações que sofrem com tais problemas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. Edital CTAGRO/CTHIDrO Nº 27/2008.

Referências

- [1] STANDARD Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. USA: [s.n], 1998.
- [2] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357, de 17 de mar. de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONAMA, Brasília, mar. 2005.

Afectación ambiental del tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río, Estado de México

Saúl Torres Corral, Beatriz Barrientos Becerra, María del Consuelo Hernández Berriel, Guillermina Gómez Beltrán y Ma. Guadalupe Macedo Miranda

stc_7901@hotmail.com.mx

Resumen

El Estado de México alberga el mayor número de población en la República Mexicana, con 15,175,862 habitantes, de acuerdo al censo 2010. La disposición de residuos sólidos urbanos (RSU) en rellenos sanitarios (RESA), sitios controlados, no controlados u otro lugar, en este Estado fue de 14,870 T/día en 2010, correspondiente al 17 % del total nacional. Datos de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México, en 2010 de los 125 municipios en este Estado, solo 11 contaban con RESA y 62 habían iniciado el trámite de regularización, mediante la guía de verificación (27) y el plan de regularización (35) de sus tiraderos a cielo abierto, para cumplir con la NOM-083 SEMARNAT-2003. El municipio de Almoloya del Río, a partir del 2008 emprendió una serie de acciones para regularizar su tiradero a cielo abierto, con el fin de continuar operando con la mínima afectación hacia el medio ambiente. El presente trabajo describe la situación del sitio con respecto a la NOM-083-SEMARNAT-2003, así como los resultados derivados de la caracterización de los RSU, de los lixiviados de la celda a 6 y 12 m y del agua del pozo más cercano al sitio. Entre los principales resultados se encontraron que sus lixiviados en época de lluvia contienen entre 6800 - 10400 mg/L de DQO, 504 mg/L de DBO₅, pH neutro y rebasan el límite máximo permisible de la NOM-001- SEMARNAT- 1996 en cuanto a Cd, Pb y Cr.

Palabras Clave: *impacto ambiental, lixiviados, tiradero a cielo abierto*

1. Introducción

En México, como en otros países, el proceso de industrialización que se intensificó a partir de la segunda mitad del siglo pasado, derivó en una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población cada vez más numerosa y con patrones de consumo más demandantes. Como consecuencia se agravaron los problemas ambientales como la contaminación del aire, agua y suelo. La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial (RME), cuyo incremento acompañado por una disposición inadecuada a lo largo del territorio, ha afectado y continúa impactando directa o indirectamente la salud de la población y de los ecosistemas naturales [1].

El Gobierno Federal para solucionar el problema de contaminación hacia el suelo, cuerpos de agua subterráneos y superficiales por RSU y RME, promueve la política ambiental a través de la NOM-083-SEMARNAT-2003, que establece las condiciones para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final. A partir del 19 de diciembre del 2004 que entró en vigor la NOM - 083- SEMARNAT - 2003, todas las entidades públicas y privadas responsables de la disposición final de los RSU y RME que no cumplieran con la norma, debieron presentar un plan de regularización (PR) ante la autoridad ambiental estatal en un tiempo no mayor a 12 meses. El PR debe contener las adecuaciones necesarias a efectuar en el sitio en operación, de tal manera que se ajuste a las especificaciones de la norma [2].

Para cumplir con dicha norma, a partir del 2008, el municipio de Almoloya del Río, comenzó el procedimiento para regularizar su tiradero a cielo abierto de RSU [3], con el fin de poder seguir funcionando con la mínima afectación hacia el medio ambiente. El presente trabajo comprende un diagnóstico de las condiciones ambientales y operacionales del sitio, así como un análisis comparativo con los requisitos que marca la NOM –083 – SEMARNAT – 2003.

2. Desarrollo

El sitio donde se llevó a cabo el presente trabajo se ubica en el paraje Yolotxingo, al sureste de la Cabecera Municipal, cerca de la colonia San Miguel, en los límites con el Municipio de Tianguistenco, cuyas coordenadas geográficas son: entre los paralelos 19° 08' y 19° 11' de latitud norte; los meridianos 99° 27' y 99° 33' de longitud oeste.

2.1 Diagnóstico del tiradero a cielo abierto

El sitio no controlado de RSU de Almoloya del Río, ha estado operando desde 1995 según información proporcionada por gente oriunda del Municipio, dado que no existen registros de fechas de inicio y forma de operación del sitio. Se estima que se han depositado en el sitio en promedio 24,539 toneladas de RSU recolectados en el municipio, desde que empezó a operar hasta la fecha. La superficie total del tiradero municipal es de 8000 m², el área de la celda que actualmente está en operación es de 3600 m². El sitio tiene espacio para una segunda celda, con un área de 1800 m² aproximadamente. Con un ingreso de 5 T/día de RSU al sitio, este lugar se clasifica en la categoría tipo D de la NOM –083–SEMARNAT – 2003[2]. Conforme a información proporcionada de manera verbal por personal de la CNA, la zona de abatimiento freático para los pozos en Almoloya del Río es de 80 a 100m [4].

2.1.1 Caracterización de los RSU de Almoloya del Río

La caracterización de los RSU se realizó con el fin de conocer su composición (NMX –AA – 022 - 1985) de identificar la presencia de residuos peligrosos. También se determinó la densidad de compactación de los RSU in situ (NMX-AA-019-1985), obteniéndose un peso volumétrico de 175 kg/m³, debido a que no se cuenta con maquinaria para su esparcimiento, compactación y cobertura [5]. Como se muestra en la Tabla 1, destaca el porcentaje de fibra sintética, algodón y trapo (23.69 %), que bien pueden atribuirse a que el Municipio de Almoloya del Río tiene como actividad principal, la confección de prendas de vestir. La materia orgánica de fácil degradación junto con los componentes de lenta degradación sumaron 43.54%, lo cual es bajo para un área rural si se consideran los valores mayores al 50 % reportados en otros trabajos [6], [7] sin embargo, esto indica un resultado positivo del programa de separación de residuos que tiene el municipio, ya que los residuos alimenticios y de jardinería que llegan al tiradero son solo el 19.6 %.

Tabla 1. Caracterización de RSU en el tiradero de Almoloya del Río

SUBPRODUCTO	% p/p	SUBPRODUCTO	% p/p
Fibra sintética	14.93	Envase de cartón encerado	3.59
Residuos alimenticios	13.91	Material no-ferroso	3.37
Pañal desechable	9.87	Polietilentereftalato (PET)	3.26
Algodón y trapo	8.77	Material ferroso y lata	2.93
Plástico de película (LDPE)	7.53	Polietireno expandido (unichel)	2.58
Papel y cartón	6.43	Cuero	2.18
Residuos de jardinería	5.69	Madera	1.10
Hueso	5.47	Polipropileno (vasos y platos desechables)	0.55
Vidrio de color y transparente	4.03		
Plástico rígido (HDPE)	3.81	Total	100.00

2.1.2 Caracterización de lixiviados y agua de pozo

Para determinar el grado de afectación al medio ambiente, principalmente al subsuelo y manto freático, se caracterizaron los lixiviados colectados en piezómetros a 6 y 12 m de profundidad y el agua del pozo ubicado más cerca del sitio (1000 m), también fue posible muestrear una laguna temporal de lixiviados. En la tabla 2 se muestra que los lixiviados a 6 metros presentan valores de DQO y N-NH₃ mayores en relación a los de 12 metros y a los de la laguna, con una elevada carga orgánica, característica de tiraderos jóvenes [8], [9]. En el caso de los lixiviados a 12 metros se observa que la DQO y N-NH₃ son menores, lo que es atribuible a que el suelo actúa como medio atenuante de la carga orgánica [10], [11]. Por otro lado, los valores de estos parámetros son menores en la laguna que a 6 metros, debido a que los lixiviados están expuestos al medio ambiente, permitiendo su oxigenación, favoreciendo la disminución de estos [12]. La DQO, DBO₅ y los parámetros derivados del nitrógeno no son considerados en la NOM – 001 – SEMARNAT – 1996 para descargas residuales en suelo, debido a que la adición de C y N mejora la fertilidad del suelo [13].

Aunque en la caracterización in situ de los RSU no se encontraron pilas o residuos electrodomésticos, comparando los valores de Cr y Pb de los lixiviados muestreados, con los de la NOM-001-SEMARNAT-1996, se observa que son mayores a los límites máximos permisibles para descargas en cuerpos de agua y suelo (Tabla 2). En el caso del Cd, su valor supera solo las descargas en cuerpos de agua. Es importante considerar lo anterior ya que el sitio no cuenta con geomembrana, lo que incrementa el riesgo de contaminación a los mantos freáticos [14], [15]. De los parámetros medidos para el agua de pozo, todos están por debajo de la NOM – 127 – SSA – 1994, lo que significa que no hay presencia de contaminantes que se pudieran atribuir a la infiltración de lixiviados.

Tabla 2. Resultados de los análisis de lixiviados y agua de pozo

*Parámetro	P-6 m	P – 12 m	Laguna temporal	NOM -001 Río (uso agrícola)	NOM -001 Suelo (uso agrícola)	Pozo agua potable	NOM - 127
DBO ₅	-	504	-	200	N/A	0.75	N/A
DQO	10,345	6,897	7,897	N/A	N/A	-	N/A
T	-	30.2	21.9	40	N/A	16.7	N/A
Nitratos	-	96.21	-	N/A	N/A	0.27	10
Nitritos	-	2.55	-	N/A	N/A	0.003	0.05
N-NH ₃	842	85.4	265.8	N/A	N/A	-	0.50
pH	-	7.84	7.93	5 -10	N/A	6.59	6.5 – 8.5
CE	-	14,430	7,170	N/A	N/A	112	N/A
Cloruros	-	13.95	-	N/A	N/A	-	250
N total	-	1,079	-	60	N/A	-	-
Cr	3.9	10.5	9.85	1.5	1.0	-	-
Cd	0.2	0.16	0.4	0.4	0.1	-	-
Pb	2.46	2.85	3.44	1	10	-	-
Zn	0.11	1.19	1.41	20	20	-	-

*Todos en mg/L, excepto CE (μS/cm) y T °C

- No se determinaron; N/A = no aplica

2.2 Alcance de cumplimiento del sitio de la NOM – 083 – SEMARNAT – 2003

El tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río cumple con las restricciones para un sitio tipo D (Tabla 3), sin embargo, en cuanto a las características constructivas y operativas (Tabla 4), solo cumple en el punto de evitar el ingreso de residuos peligrosos [2]. Cabe mencionar que el H. Ayuntamiento del Almoloya ha realizado la cobertura de los RSU del sitio en 3 ocasiones durante lo

que va del presente año, con un costo aproximado de cuarenta mil pesos en cada una de ella. Si bien esto no es suficiente, muestra la problemática económica y de infraestructura que se enfrentan la mayoría de los Municipios en el país para operar conforme a la normatividad, dado que de hacerlo, seguramente se verían rebasados por los recursos necesarios que tendrían que destinar.

Tabla 3. *Análisis de restricciones para el tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río, sitio tipo D*

Restricciones para la ubicación del sitio	Condición	Estatus sitio
Ubicación menor a 13 km de un aeródromo o aeropuerto	Requiere estudio de riesgo aviario	Cumple
Áreas naturales protegidas	No ubicar	Cumple
Localidades mayores a 2500 habitantes	Ubicación mínimo a 500 m	Cumple
Zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos humedales, fallas geológicas, etc	No ubicar	Cumple
Zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años	No ubicar	Cumple
Cuerpos de agua superficial, lagos y lagunas	Ubicación mínimo a 500 m	Cumple
Pozos de extracción de agua de uso domestico, industrial, riego y ganadero	Ubicación mínimo a 500 m	Cumple

Tabla 4. *Análisis de características constructivas y operativas para el tiradero a cielo abierto de Almoloya, sitio tipo D*

Características constructivas y operativas	Condición	Estatus sitio
Garantizar un coeficiente de conductividad hidráulica	1×10^{-5} cm/seg	No cumple
Compactación de la basura	Mínimo 300 kg/m ³	No cumple
Cobertura basura	semanal	No cumple
Residuos peligrosos	Evitar ingresos	Cumple
Fauna nociva	Programa de control	No cumple
Cerca perimetral	Cercar el sitio completamente	No cumple

Una alternativa es gestionar recursos adicionales de fondos federales a través de Programas de Proyectos de Inversión [1].

Si bien, el Municipio de Almoloya del Río obtuvo la autorización para la aplicación de las acciones propuestas en su PR, a la fecha no las han llevado a cabo y corre el riesgo de que sea sancionado por la Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México, lo cual resultaría más oneroso pues tendrían que trasladar sus RSU a otro sitio, por lo que se recomienda destine recursos económicos para alcanzar lo planteado en el PR.

3 Conclusiones

Conforme a los resultados de este trabajo, es probable que los lixiviados producidos no ocasionen afectación al agua subterránea de la zona, sin embargo es necesario realizar estudios de profundidad del nivel freático en los terrenos aledaños al sitio, además de colocar piezómetros aguas arriba y abajo del tiradero para asegurar que no hay afectación.

Dada las dimensiones del tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río y las características de sus RSU depositados, el sitio puede operar dentro de lo que establece la NOM-083-SEMARNAT-2003 por 10 años más, si lleva a cabo las acciones contempladas en su PR.

Referencias Bibliográficas

- [1] PR (Presidencia de la República). 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012. (última consulta 5/05/2011). www.presidencia.gob.mx/multimedia/biblioteca-digital/planes-nacionales/
- [2] DOF (Diario Oficial de la Federación). 2004. NOM – 083 – SEMARNAT – 2003. Publicada el 20 de octubre del 2004 por el DOF.

- [3] SMAGEM (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México) 2010. Prontuario 2010. Secretaría del Medio Ambiente
- [4] Servidor Público de la Comisión Nacional del Agua, Delegación Toluca. 16/02/2010. *Comunicación personal*.
- [5] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. Normas Oficiales Mexicanas Vigentes. (última consulta 06/05/2010). www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes.aspx
- [6] Buenrostro, O., Israde, I., 2003. Municipal solid waste management in the basin of Cuitzeo, Mexico. *International Journal of Environmental Pollution*. 19 (4), 161–169 (in Spanish).
- [7] Hernández-Berriel, Ma.C., Márquez-Benavides, L., González-Pérez, D.J. Buenrostro-Delgado, O., 2008. The effect of moisture regimes on anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (Mexico). *Waste Management*. S 28, 14-20.
- [8] Chen, P.H., 1996. Assessment of leachates from sanitary landfills: impact of age, rainfall and treatment. *Environ. Int.* 22, 225–237.
- [9] L. Castrillón, Y. Fernández-Nava, M. Ulmanu, I. Anger, E. Marañón. 2010 Physico-chemical and biological treatment of MSW landfill leachate. *Waste Management* 30. 228–235
- [10] Baun A., Reitzel L.A., Ledin A., Christensen T.H. y Bjerg P.L. 2003. Natural attenuation of xenobiotic organic compounds in a landfill leachate plume (Vejen, Denmark). *J. Contam. Hydrol.* 65, 269-292.
- [11] Brady W.D., Eick M.J., Grossl P.R. y Brady P.V. 2003. A site – specific approach for the evaluation of natural attenuation at metals – impacted sites. *Soil & Sediment Contam.* 12, 541-565.
- [12] Bioecos. s/n. Tratamiento biológico de lixiviados.(última consulta 20/05/2011). www.bioecos.com/docs/tratamiento%20de%20lixiviados.pdf
- [13] Galantini J.A., Landriscini M.R., Fernandez R. Materia orgánica y nutrientes en el Sur bonaerense s/n (última consulta 17/03/2011) www.fertilizando.com/articulos/Materia%20Organica%20y%20nutrientes%20en%20Suelos%20del%20Sur%20Bonaerense.sp
- [14] Depountis N., Koukis G., Sabatakakis N. 2009 Environmental problems associated with the development and operation of a lined and unlined landfill site: a case study demonstrating two landfill sites in Patra, Greece. *Environ Geol* 56, 1251 - 1258
- [15] Mor, S., Ravindra, K., Dahiya, R. P. and Chandra, A. 2006. Leachate caracterización and assessment of groundwater pollution near municipal solid wasted landfill site. *Environmental Monitoring and Assessment* 118: 435–456

Avaliação ambiental sobre o Rio Tambay – Bayeux-pb/Brasil

Heliana Leite Fernandes Barros; *Claudia Coutinho Nóbrega, Deborah Melo Alves; Jakeliny Costa Falcão, Flaviana Kalina Câmara de Lima

*claudiacn@uol.com.br

Resumo

O lixo, do ponto de vista de muitos estudiosos, é considerado como um dos maiores problemas ambientais que a humanidade enfrenta atualmente. Provenientes do meio urbano ou rural, questões como o que se fazer com tanto resíduo, conseqüentemente, é o grande problema que os países tentam resolver. A grande concentração humana, o uso inadequado dos bens naturais, a falta de conscientização da sociedade e a negligência dos governantes são alguns dos fatores que contribuem para que os resíduos (sólidos ou líquidos) sejam destinados ao rio Tambay. Através de visitas *in loco* foi constatada a presença de resíduos agrícolas, domiciliares, esgotos sanitários, etc. Nesse intento, torna-se importante o estudo na bacia do Rio Tambay, Bayeux/PB. Localizada em um perímetro urbano, a ação antrópica é latente, pois o problema é agravado devido à área localizar-se em um ecossistema de mangue, cuja biodiversidade é frágil. Diante das análises realizadas pode-se constatar que o rio Tambay apresenta parâmetros enquadrados e não enquadrados na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA Nº 357 de 2005 para corpos hídricos Classe 2, que estabelece os padrões de qualidade. Campanhas educativas, análise da qualidade da água e acompanhamento sócio-econômico estão sendo realizados para propor melhorias a esse elemento de fundamental importância à vida.

Palavras Chaves: *resíduos sólidos, Rio Tambay, Bayeux, Brasil*

258

1. Introdução

Com o advento da industrialização os problemas ambientais nas áreas urbanas tornaram-se comuns no mundo, bem como no Brasil. Os ambientes urbanos tornaram-se mais insustentáveis, acarretando na intensa poluição da água, solo e ar.

A cidade de Bayeux é a representação da ocupação ribeirinha, sendo esta uma cidade entre rios. Nela foi desenvolvida a pesquisa aludida, onde foram analisados os problemas ambientais presentes na bacia do Rio Tambay, que abrange os bairros: Tambay, Alto da Boa Vista, Brasília, parte do Centro e Jardim São Severino.

As causas da poluição das águas decorrem praticamente de três fatores: a urbanização, a industrialização e atividades agrícolas. O resultado do ajuntamento entre os itens supracitados é propagação da poluição, não só nos rios, riachos, lagos e praias, mas também nas fontes naturais subterrâneas.

O grau de urbanização, aliado à falta de saneamento básico, é responsável pelo lançamento de esgotos domésticos *in natura* e resíduos sólidos nos corpos aquáticos do meio urbano. Os problemas dos bairros que fazem parte da bacia do rio Tambay foram observados sob uma ótica que considerou as questões culturais e sociais que os envolvem. Foram levantadas e investigadas questões como: água, saúde pública e degradação da paisagem, já que o saneamento é de suma importância para uma boa qualidade de vida.

O objetivo desta pesquisa foi analisar os problemas ambientais na bacia do Rio Tambay na cidade de Bayeux – Paraíba/Brasil e propor soluções para a mesma.

2. Desenvolvimento

2.1. Área de estudo

O município de Bayeux, está localizada na mesorregião da Zona da mata Paraibana e na microrregião de João Pessoa, fazendo parte da região metropolitana de João Pessoa, fazendo limites com os municípios de a oeste com Santa Rita e a leste com João Pessoa (capital do Estado da Paraíba).

O município de Bayeux possui uma área de aproximadamente 32 km², representando 0.0563% do Estado, 0.002% da Região Nordeste e 0.0004% de todo o território Brasileiro [1]. Tem densidade demográfica considerada elevada (2.833,2 hab./km²), pois sua população segundo estimativa do IBGE para o ano de 2006 era de 95.004 habitantes. O PIB total da cidade é de R\$ 365.917.000,00 [2], e o PIB per capita é de R\$ 3.946,00 [2].

A cidade de Bayeux foi a maior exportadora e fabricante do Estado da Paraíba de produtos advindos da matéria-prima sisal, também sofreu com um processo de industrialização rápido, pois os despejos industriais eram jogados diretamente nos rios Sanhauá e Paroeiras, causando danos graves aos manguezais. Bayeux, que possui uma área de manguezal integrada por vários rios (Rio Paraíba, Paroeiras, Sanhauá, Barreirinha, Buraco, Marés, Do Meio e Tambay), qualquer alteração feita em algum deles, faz com que danos graves ocorram aos manguezais.

2.2. Metodologia

Os procedimentos e métodos devem obedecer às exigências de uma pesquisa científica de um trabalho que procura entender as transformações do ambiente como um todo, com todos os fenômenos e relações que ocorrem, analisando a paisagem, observando características naturais e humanas do ambiente. Tal análise foi realizada a partir do estudo dos usos da água do Rio Tambay, curso d'água que drena as águas da bacia em estudo, sendo realizado seguindo as seguintes etapas:

- Delimitação, reconhecimento e caracterização da área de estudo, através de visitas *in loco* e complementadas com levantamento de dados junto a órgãos institucionais.
- Definição dos pontos de coleta de água para análise em laboratório. Os pontos de amostragem foram selecionados em função da sua representatividade.
- Levantamento das principais fontes de degradação ambiental e contaminação da água, em decorrência de atividades antrópicas desenvolvidas na área delimitada.
- Coleta e análise de água superficial através de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.
- Aplicação de questionário sócio-ambiental junto a população residente na área delimitada.
- Caracterização dos principais usos da água da área a ser estudada.

Utilizando informações qualitativas e quantitativas, buscou-se de alguma maneira mensurar os problemas ambientais das comunidades existentes na Bacia do Rio Tambay, visando construir um diagnóstico e propor soluções para os problemas.

3. Análise e Discussão dos Resultados

Os usos da água observados no rio estudado são: lazer em um balneário, plantação de hortaliças, agricultura de subsistência e comercial de pequena escala, dessedentação de animais (gado bovino, equino e suíno), criação de patos, despejos de esgoto e lixo.

Na área em estudo é possível encontrar produtos agrícolas, em geral são hortaliças, podendo ser divididas em:

- a) Hortaliças de folhas, flores e hastes. Ex.: agrião, acelga, alface, cebolinha, couve, couve-flor, coentro, repolho, e salsa.
- b) Hortaliças de frutos. Ex.: abóbora, abobrinha, berinjela, chuchu, ervilha, feijão-vagem, jiló, pepino, pimentão, pimenta, quiabo, tomate e milho-verde, etc.
- c) Hortaliças de raízes, tubérculos, bulbos e rizomas. Ex.: alho, batata-doce, beterraba, cará, cebola, mandioca, etc.

Ao analisar a área de estudo pode-se deportar a realidade das periferias urbanas da maioria dos países pobres do mundo e a própria realidade brasileira. Refletida pela realidade das comunidades integrantes da Bacia do rio Tambay em Bayeux, onde se observa um ambiente com características insalubres. Tais problemas vão muito mais além da falta de uma rede pública coletora de esgoto, ou, a presença de lixo na rua, o que se vê é mais que um problema estrutural é também um problema educacional e social.

Dentre os principais problemas encontrados pode-se elencar:

Esgoto domiciliar

No caso da bacia do Rio Tambay, o esgoto domiciliar escoar *in natura* para o rio escorrendo pelas ruas pavimentadas. Percebe-se a indiferença da população em relação aos problemas. Esta não considera o fato do esgoto de suas residências estarem indo para o Rio Tambay como uma agressão ambiental, que pode acarretar proliferação de doenças, desvalorização de imóveis e até numa visão catastrófica, se porventura, for necessário usar a água do rio e esta poderá estar poluída e imprópria. Existe uma indiferença por parte de todos os setores da sociedade em relação ao esgoto na rua.

Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos (lixo) são também um problema grave na bacia estudada. Apesar de haver coleta de lixo por parte da Prefeitura (três vezes por semana), alguns moradores ainda insistem em depositar lixo às margens do rio e em áreas adjacentes fazendo com que ao vir a chuva estes resíduos sejam carregados para o rio. Tal prática não leva em consideração nem a própria vida das populações já que a disposição dos resíduos sólidos inadequada pode acarretar a proliferação de doenças (leptospirose, amebíase, diarreias, etc) transmitidas por vetores como baratas, mosquitos, ratos entre outros sem contar o odor e outros inúmeros problemas que podem surgir.

Ocupação das margens

As margens são densamente povoadas o que traz problemas graves ao rio, pois muitas habitações não possuem se quer fossa séptica, direcionando as tubulações de esgoto diretamente para o corpo hídrico. Outro problema da ocupação das margens dos rios é quando há cheia, pois as populações são compelidas a condição de refugiados ambientais, tendo que fugir das águas que invadem suas casas.

Aterramento para áreas agrícolas

O Rio Tambay encontra-se assoreado por excesso de sedimentos, lixo, plantas aquáticas. Os barramentos também são vistos em todo o curso do rio. Os barramentos são feitos com sacos de areia, lixo, resíduos de construção e demolição e todo e qualquer outro material sólido encontrado com facilidade. O pior caso está numa área de alagado, também chamado de charco ou pântano para alguns e funciona como dreno impedindo o fluxo de água barrado para o plantio de hortaliças.

Análise da qualidade da água do rio Tambay

Os parâmetros abordados neste trabalho foram: cloreto, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), nitrito, nitrato, um grupo de metais considerados relevantes (alumínio, chumbo, mercúrio), pH, cor, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais e óleos e graxas. Os procedimentos de coleta, preservação, preparação e análise das amostras seguiram as metodologias preconizadas no [3]

Os resultados obtidos em laboratório a partir das amostras de água do rio foram comparados com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA Nº 357/2005, para rios de águas doces, classe II [4], que é a classificação desse referido rio.

Os óleos e graxas, o alumínio, a DBO_5 , a DQO, o Oxigênio dissolvido e os compostos de nitrogênio apresentaram valores acima que a legislação brasileira vigente permite para rios de água doce, classe II. Os demais parâmetros analisados estão abaixo dos limites permitido pela legislação supracitada.

4. Conclusões

No período de realização deste trabalho (mais de dois anos), pode-se perceber a “ignorância” ambiental dos moradores da localidade, bem como a indiferença do poder público em relação a situação do rio Tambay, que durante este período não apresentou nenhuma mudança positiva em seu quadro de degradação. O rio encontra-se poluído, bem como, extremamente assoreado em todo o seu curso.

Diversos usos da água foram observados no período de realização da pesquisa, contudo não foi observada, em momento algum, a pesca no rio, pois os habitantes da localidade afirmaram em conversas informais que no rio não há mais peixes.

Através das entrevistas e observações de campo percebeu-se que os residentes daquela área não têm conhecimento sobre os males causados pelas suas práticas ambientais inadequadas, pois em toda a extensão da bacia é possível encontrar lixo, mesmo havendo coleta de resíduos sólidos pelo menos três vezes por semana naquela localidade. O plástico é o resíduo mais comum visto ao longo da bacia, bem como os resíduos de construção. A poluição visual causada pelo lixo na bacia é uma constante em todos os bairros que a compõem.

Também foi encontrado metal pesado (alumínio) na água superficial do rio Tambay, onde após investigações pode-se determinar como possível fonte de contaminação, as plantações de abacaxi localizadas a montante da nascente do rio. Supõe-se que as características do solo arenoso facilitariam a infiltração e a diferença de nível altimétrico em relação à nascente, favoreceria o escoamento superficial em direção a mesma. Na área não há indústrias, ficando descartado o efluente industrial.

Recomenda-se o estudo e a análise da situação do rio para que possa proporcionar a despoluição do rio e dessa forma o mesmo apresente características que o insere na classe 2, como citado anteriormente.

O fato é que as práticas de saneamento básico aliadas a boas ações de educação são imprescindíveis para o combate a doenças e a contaminação da água e do solo, e devem ser aplicadas na bacia do rio Tambay, tendo em vista o cenário observado. Estas se constituem em soluções eficazes para uma melhor qualidade de vida das populações que sofrem com tais problemas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. Edital CTAGRO/CTHIDRO Nº 27/2008.

Referências

- [1] BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Serviço geológico do Brasil: Diagnóstico do Município de Bayeux. Recife, 2005. Disponível em : <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/BAYE025.pdf>> Acesso em: 03 de Fevereiro de 2010.
- [2] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Departamento de População e Indicadores Sociais.** Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 431 p.
- [3] STANDARD Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. USA: [s.n], 1998.
- [4] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357, de 17 de mar. de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONAMA, Brasília, mar. 2005.

Diagnostico y clausura del botadero “La Concepción”. Soledad - Colombia

Nury Logreira Diazgranados, Augusto Sisa Camargo, Camilo Madariaga Orozco, Nelson Molinares Amaya, Marco Escolar Fontalvo
nlogreira@uninorte.edu.co

Resumen

En Colombia la política de gestión integral de residuos, establece como prioridad el mejoramiento de la disposición final de los residuos sólidos municipales, mediante la construcción de rellenos sanitarios nuevos y el cierre y saneamiento de los botaderos a cielo abierto existentes. La clausura, recuperación ambiental y social del botadero “La Concepción”, ubicado en el municipio de Soledad (Atlántico), no es un problema que se resuelva bajo parámetros típicos de clausura y cierre debido al volumen de residuos, la zona impactada y el problema social; es necesario que se evalúen las alternativas de ingeniería y el análisis de tipo social para darle una solución de carácter integral al problema. La Concepción, es un depósito de residuos incontrolado por más de 30 años el cual está considerado un vertedero de alto riesgo debido a los posibles efectos por lixiviación al Río Magdalena, por encontrarse en áreas con suelos inestables y alta permeabilidad, a la presencia arraigada de recicladores y por la ubicación en las áreas de despeje y/o de aproximación del aeropuerto. De acuerdo con lo anterior, la Gobernación del Atlántico realizó un convenio con la Universidad del Norte para la elaboración de un diagnostico del botadero y su zona de afectación y proponer una solución integral para la clausura y restauración ambiental del botadero. Para alcanzar el objetivo planteado se aplicó una metodología que permitiera desarrollar un análisis participativo e interdisciplinario que permitió abordar las implicaciones sociales, ambientales, legales y económicas.

Palabras Clave: *cierre y clausura de vertederos, recicladores*

1. Introducción

El primer problema de los residuos sólidos ha sido su eliminación, tradicionalmente han sido arrojados en lugares próximos a las poblaciones, en cauces de los ríos, en el mar, quemándolos o enterrándolos. Estas prácticas han generado problemas de tipo ambiental que se complican al aumentar la cantidad y la diversidad de residuos. Con el paso del tiempo los residuos sufren procesos de degradación que pueden afectar tanto las fuentes de agua, como producir contaminación de suelo y aire.

El manejo de los residuos sólidos municipales se ha caracterizado por la escasez de recursos económicos, la debilidad institucional, la falta de capacitación y desarrollo tecnológico y la falta de instrumentos que faciliten una adecuada disposición. Durante los últimos años los Gobierno Nacional, Regional y Local han logrado avances en materia de reglamentación y regulación de los sistemas de disposición final de residuos sólidos que se utilizan en el país, buscando con ello una visión integral de la prestación del servicio de aseo y la minimización de los impactos generados.

2. Descripción y localización

El área de actuación se encuentra en el municipio Soledad del Departamento del Atlántico localizado a 10° - 55' de Latitud Norte y 74° - 46' de Longitud Occidental. Limita al norte con el

Distrito Industrial y Portuario de Barranquilla, al oriente con el Río Magdalena, al sur con el Municipio de Malambo y al occidente con el Municipio de Galapa. Respecto a su extensión, tiene 67 kilómetros cuadrados (km²). Equivale, al 1.97% de la extensión total del Departamento del Atlántico Km².

El vertedero “La Concepción” está ubicado en la ribera occidental del Río Magdalena en el Municipio de Soledad dentro del área susceptible a inundaciones del mismo con un área de 7 Ha y localizado a 2 km aguas arriba de una de las bocatomas de la planta de tratamiento de agua potable de Barranquilla y a 5 km del Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz que sirve a la ciudad de Barranquilla. Es el vertedero no controlado más grande de Soledad y está localizado en la zona industrial del municipio a la altura de la calle 15 con carrera 36A, aldeaño al barrio El Porvenir (Ver Figura 1).

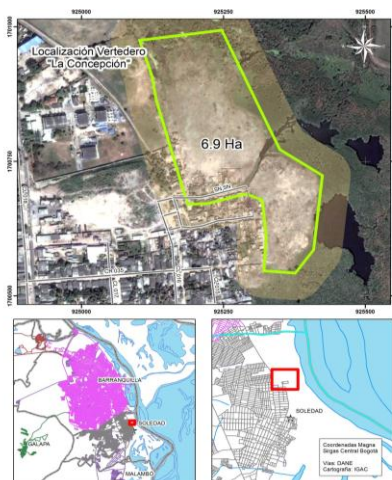


Figura 1. Localización del vertedero respecto a Barranquilla y Soledad

3. Metodología

Para alcanzar los objetivos se aplicó una metodología que permita desarrollar un análisis participativo, donde los habitantes del sector se convierten en los protagonistas del proceso. Para hacer operativo este enfoque se lleva a cabo la siguiente secuencia metodológica:

- Diagnóstico. Conocimiento contextual del territorio y acercamiento a la problemática, esta actividad incluye: recolección de información, realizar las calicatas para conocer el tipo de residuo que está almacenado en el vertedero, determinación de la capa de residuos y caracterización de la composición de los residuos (M.O., papel, vidrio, metal, entre otros), distribución de los desechos en el área del vertedero y determinación de la calidad de vida de los habitantes de la zona de influencia del vertedero.
- Programación. Proceso de apertura a todos los conocimientos y puntos de alternativas de solución, utilizando modelos y métodos cuantitativos, cualitativos y participativos. En esta etapa se realizó análisis de textos y artículos, pruebas de laboratorio pH, DQO, DBO, Metales Pesados, Nitrógeno, Cloruros y Sulfatos y trabajo de campo (entrevistas grupales a la base social). Realización de talleres. Construcción, calibración, validación del modelo matemático y simulación de diferentes escenarios.
- Estudio de las de posiciones y de los planteamientos de los actores respecto a la problemática y a las soluciones a implementar.

4. Resultados

Se realizó una actualización topográfica en el área del proyecto con el objeto de facilitar el cálculo de los volúmenes de suelo y residuos. Se realizaron 12 perforaciones de 10 m. de profundidad por el método de percusión y lavado, distribuidas en forma tal de obtener la mayor cobertura posible del terreno ocupado por el vertedero. En la figura 2, se muestra la ubicación de los puntos de muestreo.



Figura 2. Puntos de muestreo Suelos y Aguas Subterráneas

En cada una de las perforaciones se recuperaron muestras para ensayos de laboratorio, las cuales fueron previamente descritas en campo, para ser sometidas los siguientes ensayos: Humedad natural, Granulometría, Límites de Atterberg, Pesos unitarios, Gravedad específica, Compresión inconfiada, Permeabilidad in situ y en laboratorio. Se detectaron en las 12 perforaciones, estratos variables de basura conformados por plásticos, escombros y otros materiales desechables, subyacentes principalmente por arcillas. Es de destacar que durante la exploración de campo se estableció la presencia de agua a partir de 0,50 metros en todas las perforaciones. Se encontró para la mayoría de los puntos una capa de arcilla que puede ser de baja compresibilidad, con bajas tasas de permeabilidad.

Para analizar los parámetros y propiedades de los residuos fue necesario obtener una muestra representativa de los residuos o fracción de los mismos. En la figura 3, se presenta la grafica de composición física de la muestra.

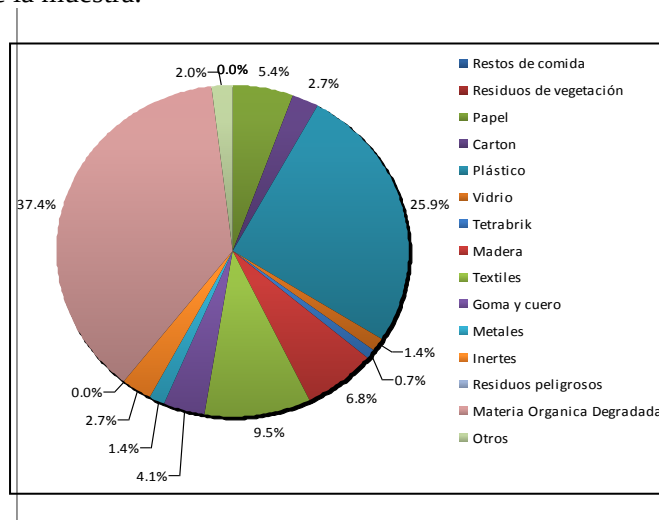


Figura 3. Composición Física de la muestra

Se realizaron análisis a las muestras de aguas de siguientes parámetros: pH, DBO5, DQO, Sólidos totales, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Nitrógenos, Sulfatos, Cloruros, Metales pesados (Fe, Cu, Pb, Hg, As, Cd, Cr, Mg, Al) y TKN* (Nitrógeno Total de Kjeldahl).

Con base en los resultados de laboratorio para cada parámetro de medición, se realizaron unas series de pruebas y análisis estadísticos, en los que se procuró encontrar el número de ensayos necesarios para la adecuada caracterización de los contaminantes presentes en el vertedero. A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados:

- pH. El valor promedio de las muestras para el pH fue de 8,01, con una desviación estándar de 0,24. Si se compara con los estándares de vertimientos de la normatividad colombiana se encuentra en el rango establecido entre 5 – 9 unidades de pH.
- El valor promedio de las muestras para conductividad esta del orden de 7,47 mS/cm, con una desviación estándar de 7,12. En el caso de la salinidad la media fue 3,27 ups, con una desviación estándar de 2,9. Se observa una clara relación entre los datos de conductividad y salinidad, a excepción del punto del 7 debido a la eliminación de datos atípicos de acuerdo con el análisis estadístico.
- El valor promedio para el Cloruro es de 786,05mg/l, lo cual es considerado un valor relativamente alto, con una desviación estándar de 68,83. Los valores de referencia de cloruros para vertimiento de agua es de 2000 mg/l, por tal motivo los resultados de los muestreos se encuentran por bajo o muy cerca a este valor.
- El valor promedio para el Sulfato es de 267,38 mg/l, que corresponde a un nivel bajo de acuerdo con los rangos de referencia de presencia de sulfatos en vertimientos de aguas se encuentra del orden entre 600-1000 mg/l, con una desviación estándar de 270,91 mg/l.
- Si se comparan los resultados obtenidos se puede observar que destacan los valores de DQO que contiene las muestras procedentes de los puntos 6 y 8 del orden de 5280 mg/l frente al contenido de otras muestras que son relativamente menores. En cuanto el resto de los resultados cabe mencionar el bajo valor de la DQO del punto de muestreo 3 y el máximo en el punto de muestreo 2, con valores de 83 mg/l y 11682 mg/l respectivamente. El valor promedio de DQO se encuentra en 3348,8 mg/l, lo que corresponde a un valor alto comparado con los valores de referencia de la norma para vertimiento de aguas que se encuentra del orden entre 1500 – 2000 mg/l.
- Respecto a DBO₅ el valor medio fue del orden de 157,97 mg/L, con una desviación estándar de 145,65. Comparados con los estándares según norma de vertimientos el rango de DBO₅, el cual se encuentra entre 800 – 1000 mg/l, todos los datos se encuentran dentro de este rango.
- Los valores de referencia de la norma de vertimiento de aguas residuales domesticas e industriales para sólidos suspendidos totales, SST, son 600 mg/l y 800mg/l respectivamente, para el caso de estudio el valor medio 515,94 mg/l se encuentra por debajo del rango. Esta conclusión es consistente con los resultados obtenidos de la relación DBO/DQO. De la misma forma se observa el alto contenido de sólidos disuelto totales en cada uno de los puntos de muestreo.
- Analizando los datos observamos que un alto porcentaje de Nitrógeno se encuentra en forma de Amonio y Nitratos. La presencia de nitratos puede considerarse como una de causas del aumento de la vegetación en algunos sectores del vertedero.
- El valor promedio para el Fosfato es de 8,43 mg/l, lo cual es considerado un valor aceptable en el rango entre 4, 1 y 9, 9.
- Las concentraciones de metales se encuentran por debajo de los valores de referencia el Níquel, Aluminio, Cromo, Plomo, Magnesio y Cobre; el Arsénico y el Cadmio se encuentra en concentraciones cercanas al valor de referencia. Los valores más altos se presentan en las concentraciones de magnesio y hierro. La presencia de los altos valores de hierro se explica

por la influencia que representa la tubería de hierro en los pozos de inspección, colocados por motivos de seguridad y protección a vandalismo.

- El valor promedio de las muestras para Coliformes totales esta del orden de 1128756,52 UFC/100 ml. En el caso de los Coliformes fecales la media fue 99580,95 UFC/100 ml.

Se realizó la modelación del flujo en medio poroso en el basurero. La modelación se realizó bajo la herramienta VisualModFlow y software a la medida en un Sistema de Información Geográfica.

Debido a que los proyectos de clausura y restauración de vertederos a cielo abierto tienen una connotación importante sobre las poblaciones que se verán afectadas por estas obras, se realizó un estudio sobre diferentes aspectos socio - culturales como: el arraigo con el lugar, la cohesión y fuerza de las organizaciones, los tipos de conflictos y propuestas de solución, fruto de una integración e incorporación de lo participativo es un componente absoluto e ineludiblemente necesario para disminuir los riesgos de fracasos en este tipo de proyectos. Con base en lo anterior se determino que toda acción de mejoramiento que se defina y se intente desarrollar, estará condicionada por la participación de los actores sociales que viven en La Concepción. Adicionalmente, las redes sociales que están establecidas, y fortalecidas y son marcadamente cerradas, con alta participación familiar y con distinto de intercambios o vínculos, principalmente afectivos, lo que hacer mucho más difícil y cuidadoso el proceso de negociación con estas personas, de acuerdo con lo anterior, es importante no establecer negociaciones con los llamados “líderes”, sino con los grupos familiares, que tienen presencia e influencia colectiva sobre el aérea geográfica del vertedero.

5. Conclusiones

Con el objetivo de determinar la mejor alternativa para el Cierre del Vertedero y teniendo en cuenta el diagnostico realizado antes dentro del cual se destacan los siguientes aspectos:

1. El suelo del vertedero tiene una vocación para el uso industrial, por su localización respecto al Río Magdalena y las áreas industriales de Soledad y Barranquilla. Por esta razón se considera no conveniente destinar esta área como suelo para protección ambiental.
2. El bajo contenido de materia orgánica biodegradable en el sitio del vertedero limita la aplicación de los métodos de biorremediación soportados en el uso de microorganismos específicos ya que buena parte de los residuos encontrados debe ser degradada químicamente.
3. La baja concentración de sustancias asociadas al proceso de lixiviación puede ser el resultado de las frecuentes intrusiones de agua del Río Magdalena durante los períodos de altos niveles que han contribuido al lavado de los residuos durante la vida del botadero y que sumado a las condiciones hidrometeorológicas de la zona han generado que la mayor parte de los lixiviados del vertedero hayan sido transportados por el río durante su vida lo que ha disminuido la amenaza causada por el vertedero a la calidad del agua del Río Magdalena.
4. Debido a que la principal amenaza generada por el vertedero, desde el punto de vista regional, está asociada al aumento del riesgo en la seguridad aeronáutica se debe minimizar la presencia de aves y roedores en el vertedero como una de las más grandes prioridades.

A partir de estos elementos se propone qué la alternativa con los mayores beneficios a los menores costos corresponde a la eliminación de la capa reciente de residuos utilizados en actividades de ganadería y la posterior cobertura de los residuos con una capa de suelo de por lo menos 50 cm. de manera que la cantidad de aves y roedores asociadas a los residuos sea eliminada. Sin la necesidad de impermeabilizar el lecho de basuras ya que la amenaza por lixiviación de los mismos es baja. Esta cobertura alcanzaría un volumen máximo de 34700 m³ de material de cobertura.

Por otro lado se propone de captura de gases de baja densidad, aunque no se tiene evidencia de procesos metanogénicas importantes en la actualidad la caracterización del residuo induce a pensar que durante la vida del mismo es posible que se haya presentado este proceso y que en algunos puntos aun se tenga presencia de este fenómeno en particular en las zonas más profundas del vertedero que permanecen saturadas de agua durante todo el año favoreciendo las condiciones anaeróbicas requeridas para la metanogenesis por las rutas metabólicas comunes.

Es probable que la ausencia de incendios en el vertedero sea consecuencia de las condiciones particulares de vientos en el vertedero donde la exposición a cielo abierto, el flujo de agua del río y el uso de una parte de la materia orgánica biodegradable como alimento de ganado hayan contribuido a que la disponibilidad de metano sea muy baja.

Como parte de los requerimientos de control al área del vertedero se debe limitar el acceso al área con una barrera física a lo largo del perímetro de la misma con una longitud aproximada de 1930 m. que tiene como objetivo limitar el acceso al lote hasta que se decida desarrollar el mismo.

Agradecimientos

Los autores agraden por la información a Gobernación del Atlántico, Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz, Empresa de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente de Soledad S.A. EDUMAS, Corporación Autónoma Regional del Atlántico, CRA.

Referencias Bibliográficas

- [1] Blanco, A., y Díaz, D. (2005). *El bienestar social: su concepto y medición*. Psicothema, 17, 580-587.
- [2] Campbell James, (2006). *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press Edición 4.
- [3] Colomer, F y Gallardo A. (2007) *Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos*. Editorial Limusa. Mexico.
- [4] Cordero, A. & Garcia, F. (2007) Equipos de trabajo: forma organizativa de la economía basada en el conocimiento. Puede consultarse gratuitamente en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/510/51002002.pdf>
- [5] Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE –(2007) Censo General 2005. Bogotá Colombia.
- [6] EcoForest Ltda. (1996). *Plan De Manejo Ambiental Del Departamento Del Atlántico. Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA*. Barranquilla Colombia
- [7] Empresa de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente de Soledad S.A. EDUMAS (2007). *Implementación del programa de reasentamiento para las familias residentes y población aledaña al basurero la concepción del municipio de Soledad – Atlántico. Soledad: Colombia*.
- [8] Environment Canada (2004) Humidex Meteorological Service of Canada.
- [9] IDEAM, (1986 – 2005), Registros de estacion hidroclimatológica Aeropuerto Ernesto Cortissoz
- [10] Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (2004). Procedimiento para la migración a magna-sirgas de la Cartografía existente referida al Datum Bogotá, utilizando el software ArcGIS de ESRI. Bogotá Colombia (Versión digital – www.igac.gov.co)
- [11] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de Colombia (MAVDT). Banco Mundial - República de Colombia. CO - *Proyecto Nacional de Gestión de Residuos Sólidos (PNGRS)* (2009). Marco de gestión ambiental y social.
- [12] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2000, *Reglamento del Sector del Agua potable y saneamiento básico – RAS 2000*.

- [13] Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 2004. *Guía técnica para la clausura y conversión de vertederos de residuos sólidos*. Lima, Perú.
- [14] SSPD – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2009 *Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia - Diagnostico 2009*
- [15] SUI – Sistema Unico de Información de Servicios Públicos de Colombia. Recolección y Transporte. Empresa Aseo Especial Soledad S.A E.S.P. 2008
- [16] USGS - NASA. (2004). Shuttle Radar Topography Mision – SRTM

Emisiones de las quemas de residuos agrícolas en el Valle de Mexicali, 1987-2010

Marcos Alberto Coronado Ortega, Gisela Montero Alpírez, Conrado García González, Armando Pérez Sánchez, Laura Janet Pérez Pelayo

coronado.marcos@gmail.com

Resumen

Baja California, México, se ubica en tercer lugar a nivel nacional con mayor superficie de trigo cultivada, con el 13.5%. Mexicali, capital de dicho estado, es el principal productor de trigo y representa el cultivo más importante de su Valle, con una superficie cultivada en el periodo 2009-2010 de 87,724 Ha. Esto conlleva a la generación de grandes cantidades de paja de trigo como residuo agrícola. Tradicionalmente el 85% de este residuo es dispuesto mediante la quema *in situ* a cielo abierto con el objetivo de preparar la tierra para el próximo ciclo agrícola, el 15% restante tiene diversas aplicaciones. Tal práctica repercute considerablemente en las emisiones de CO, PM y CH₄ al medio ambiente, ocasionando un deterioro de la calidad del aire del Valle y ciudad de Mexicali, así como problemas en la salud poblacional. Por otra parte, se desaprovecha la energía contenida en la paja de trigo, la cual es potencialmente útil como biocombustible. Se presenta aquí un inventario de las emisiones generadas por las quemas de la paja de trigo realizadas *in situ* a cielo abierto, para el periodo 1987-2010. En los resultados destaca que las emisiones totales, considerando las quemas agrícolas progresivas en dirección del viento, pasaron de 25,370 t (1987) a 41,913 t (2010).

Palabras Clave: *biomasa, contaminación atmosférica, energía, simulación dinámica*

270

1. Introducción

La quema de biomasa es considerada como una fuente global y significativa de emisiones, contribuyendo con aproximadamente el 40% de CO₂. El 90% de las quemas son iniciadas por el ser humano. Estas quemas inducidas son utilizadas con una diversidad de finalidades, como son deforestación, control de plagas, quemas de maleza y residuos, así como prácticas de cosecha. Se ha estimado que 8,700 Tg de materia seca es quemada en el mundo cada año y representa uno de los factores más importantes que afectan el cambio climático [1]. Los sistemas agrícolas en todo el planeta producen grandes cantidades de residuos. La quema de los residuos en el campo es una práctica común, sobre todo en los países en desarrollo. Tal es el caso de México, donde el sector agrícola se ubica como una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero [2].

Una de las zonas agrícolas más importante del Noroeste del país, es el Valle de Mexicali. Este valle se encuentra ubicado en el estado de Baja California, al Noroeste de México y comparte la misma cuenca atmosférica con el Valle Imperial, Estados Unidos. Su cultivo principal es el trigo, y es conocido como el de mayor rendimiento comercial en el país, con una productividad media en los últimos años de 6.3 t/ha. Dicho Valle, está posicionado a nivel nacional, como uno de los que cuenta con mayor superficie de trigo cultivada. Si bien las condiciones climáticas han sido favorables para este cultivo en la región, el uso de variedades mejoradas de alto potencial productivo y la experiencia del productor en la aplicación de los paquetes tecnológicos para su manejo han sido determinantes para lograr este nivel de producción [3]. La cosecha de trigo tiene asociada la generación de grandes cantidades de paja como residuo agrícola. Tradicionalmente el 85% de este residuo es dispuesto mediante la quema *in situ* a cielo abierto con el objetivo de

preparar los campos para dobles cultivos o para el siguiente ciclo agrícola, el 15% restante tiene diversas aplicaciones [4].

Los productores de trigo del Valle de Mexicali que llevan a cabo estas prácticas, señalan que la quema constituye una práctica tradicional, mientras que otros consideran que la incineración de residuos agrícolas es una necesidad, ya que se elimina maleza perenne, enfermedades y plagas. Sin embargo, se ha demostrado que contrario a las creencias de los productores, la quema calcina el nitrógeno, fósforo y materia orgánica del suelo, además de generar costos adicionales y disminución de rendimientos y por ende mermas en la utilidad al obtener menos volúmenes por hectárea de trigo entre ciclo y ciclo [5]. Otros señalan que al quemar la paja de trigo, se evita el paso de maquinaria, se ahorra tiempo para la preparación del suelo para el siguiente ciclo y dinero en maquinaria, diesel y mano de obra del tractorista. Tal práctica repercute considerablemente en las emisiones de CO, PM y CH₄ al medio ambiente, ocasionando un deterioro de la calidad del aire del Valle y ciudad de Mexicali así como problemas en la salud pública, como son enfermedades respiratorias. Cabe destacar que Mexicali es una de las ciudades con mayor incidencia de morbilidad por Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) del país. Por otra parte, la quema de la paja de trigo representa un desaprovechamiento de la energía contenida en la misma, la cual es potencialmente útil como biocombustible en la generación de electricidad y energía calorífica, así como en el transporte, una vez que es transformado en bioetanol [6]. De esta manera se contribuiría a diversificar la matriz energética regional, incrementando la participación de fuentes renovables.

En 1996, se estimaron 14,325 t y 2,143 t de emisiones de CO y PM respectivamente, provenientes de las quemas agrícolas [7], mientras que para 2003 y 2004, fueron de 13,870.5 t y 1,667.8 t respectivamente [4]. Actualmente no existen estimaciones para años anteriores y posteriores a los mencionados. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo la estimación de las emisiones asociadas a las quemas in situ a cielo abierto de la paja de trigo generada en el Valle de Mexicali, para el periodo histórico 1987-2010.

2. Materiales y Métodos

2.1 Paja de Trigo

Se consultaron las bases de datos de la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS) de Baja California en relación al sistema producto trigo, con el fin de obtener la serie histórica de superficie cosechada de trigo en el Valle de Mexicali para el periodo bajo estudio que se ilustra en la Tabla 1 [8].

Tabla 1. Serie histórica de la superficie cosechada de trigo, 1987-2010

Periodo	Superficie cosechada de trigo [ha]	Periodo	Superficie cosechada de trigo [ha]
1987-88	53,098	1999-00	74,273
1988-89	50,572	2000-01	68,033
1989-90	48,374	2001-02	64,926
1990-91	60,366	2002-03	74,394
1991-92	79,683	2003-04	85,320
1992-93	79,683	2004-05	80,555
1993-94	80,018	2005-06	75,989
1994-95	69,658	2006-07	79,946
1995-96	53,159	2007-08	81,958
1996-97	67,224	2008-09	88,937
1997-98	54,913	2009-10	87,724
1998-99	50,636		

Para realizar la estimación de la cantidad de paja de trigo generada para cada ciclo agrícola, se consideró un índice de generación de 7.3 t/ha [9]. McKendry reporta un poder calorífico inferior de

la paja de trigo de 17.5 MJ/kg [6]; para el cálculo de la energía total que se libera a partir de su combustión, se consideró un poder calorífico de 12.5 MJ/kg, debido a que la paja de trigo generada en el Valle de Mexicali no ha sido caracterizada.

2.2 Factores de emisión

Para la estimación de las emisiones de CO, PM y CH₄ asociadas a las quemas de la paja de trigo *in situ* a cielo abierto, se adoptaron los factores de emisión reportados por EPA AP-42 [10] que se muestran en la Tabla 2. Dentro del reporte de EPA destacan 2 series de factores que dependen del tipo de técnica de quema agrícola que se implemente:

- Quema frontal. Técnica de quema en la cual el fuego avanza en la dirección del viento.
- Quema en contracandela. Técnica de quema en la cual el fuego progresa en dirección opuesta al viento.

Tabla 2. Factores de emisión de la quema de paja de trigo a cielo abierto

Tipo de quema	Factores de Emisión [kg/t]		
	CO	CH ₄	PM
Quema frontal	64	2	11
Quema en contracandela	54	1.3	6

Debido a incertidumbre existente acerca de la técnica de quema que se utiliza en mayor proporción en el Valle de Mexicali, se realizaron los cálculos considerando ambas.

2.3 Modelo de simulación

En virtud de que las emisiones asociadas a las quemas agrícolas dependen de una gran cantidad de parámetros, con la finalidad de facilitar el análisis de las emisiones asociadas a las quemas de paja de trigo durante el periodo 1987-2010, se desarrolló un modelo dinámico en Stella[®], cuya versión simplificada se ilustra en la Figura 1.

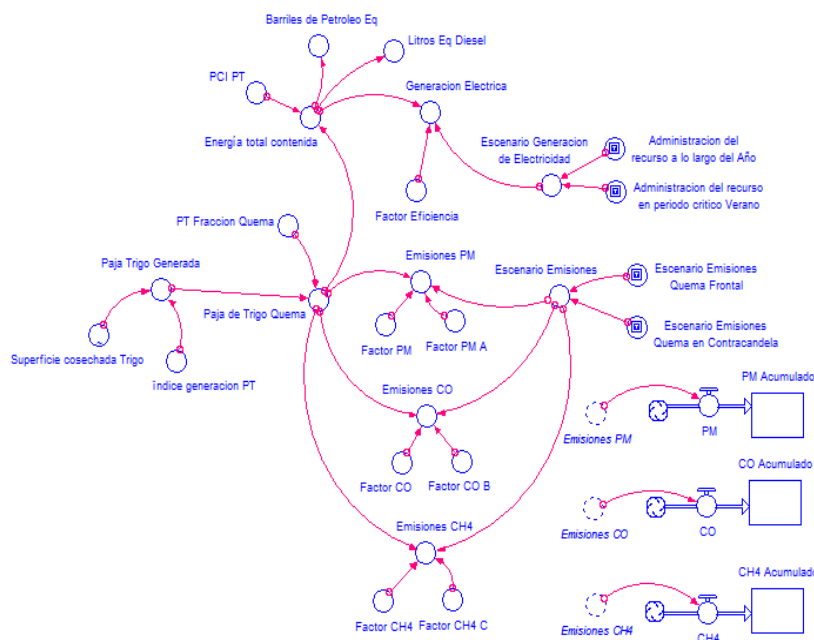


Figura 1. Modelo desarrollado en Stella para análisis de emisiones

Los parámetros utilizados para alimentar el modelo fueron los siguientes: a) serie histórica de la superficie cosechada de trigo b) índice de generación de paja de trigo, c) poder calorífico inferior de

la paja de trigo, d) factores de emisión de CO, CH₄ y PM, para técnicas de quema agrícola, e) factor de eficiencia de generación eléctrica a partir de biomasa y fracción de biomasa considerada para su combustión.

3. Resultados y Discusión

3.1 Emisiones asociadas a la quema de paja de trigo

Los resultados indican que las emisiones totales (CH₄, CO y PM) se habrían incrementado de 25,370 t (1987) a 41,913 t (2010) considerando el tipo de quema frontal, mientras que para la quema en contracandela las emisiones habrían aumentado de 20,197 t (1987) a 33,367 t (2010). Ambos casos representan un incremento del 60.5 %.

Las Figuras 2 y 3 muestran las emisiones acumuladas para el periodo bajo estudio. En el caso de la quema frontal, el CO destaca en el primer lugar con 639,140 t, enseguida el PM con 109,852 t, y por último el CH₄ con 19,973 t. En la quema en contracandela las emisiones de CO, PM y CH₄ son 539,274 t, 59,919 t y 12,982 t, respectivamente.

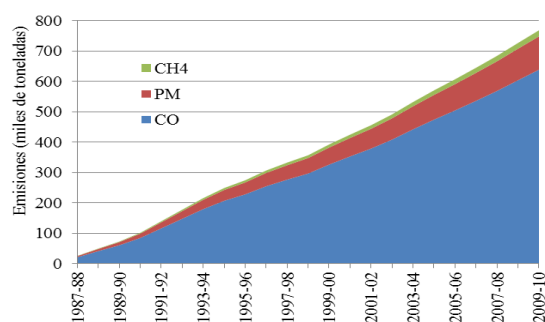


Figura 2. Emisiones acumuladas, quema frontal

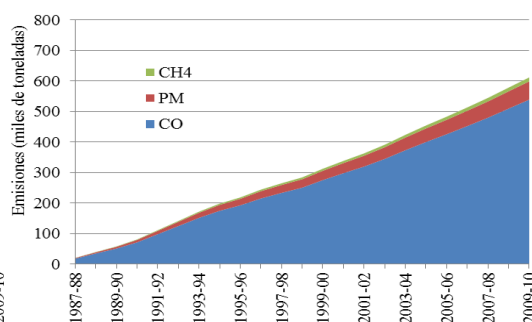


Figura 3. Emisiones acumuladas, quema en contracandela

La quema en contracandela evidencia una disminución en emisiones en comparación con la quema frontal, debido a que ésta progresa en dirección opuesta al viento, propiciándose una mayor interacción con el oxígeno. Esto favorece que los residuos ardan más lentamente y la combustión de la paja sea más completa.

Los resultados obtenidos a partir del modelo se ajustan con bastante aproximación a los calculados, con un error porcentual del 1.07 %. En la Figura 4 se expone el comparativo de emisiones acumuladas entre las calculadas y las obtenidas del modelo, considerando ambas técnicas de quema.

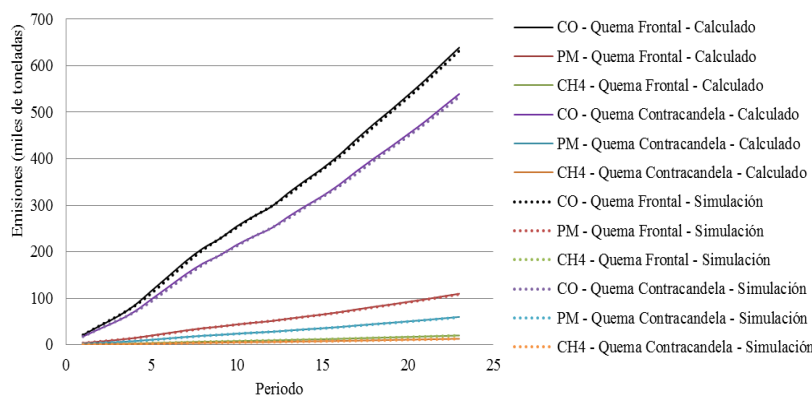


Figura 4. Comparativo de resultados estimados y simulados

3.2 Energía disponible de la paja de trigo

La energía total disponible a partir de la combustión de la paja de trigo periodo 1987-2010 se estimó en 124.8 PJ lo que equivale aproximadamente a 19.5 millones de barriles de petróleo, esto representa el 1.27 % de la producción de energía primaria nacional del año 2009 [11].

4. Conclusiones

La agricultura es una actividad intensiva y de gran importancia para el desarrollo económico de la región. Asimismo, significa la generación de grandes cantidades de biomasa residual como la paja de trigo, que al ser dispuesta mediante la quema *in situ* a cielo abierto, emite año tras año cantidades considerables de CO, CH₄ y PM, contaminantes que afectan la calidad del aire de Mexicali y su Valle. Es necesario implementar medidas para controlar y minimizar las quemas agrícolas y por ende reducir las emisiones asociadas. Por otra parte, existe un alto potencial biomásico que abre una gama de oportunidades para su aprovechamiento en procesos productivos como resultado de su contenido energético, que puede ir desde la generación de electricidad y energía térmica hasta la producción de bioetanol.

Referencias Bibliográficas

- [1] Koppmann R., Czapiewski K., Reid J. “A review of biomass burning emissions, part I: Gaseous emissions of carbon monoxide, methane, volatile organic compounds, and nitrogen containing compounds”. *Atmos Chem Phys Discuss*, 2005, 5: 10455—10516.
- [2] INE, SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. “Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2002”, Septiembre, 2006.
- [3] SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. “Plan rector del sistema producto trigo, Baja California”. Fecha de consulta: 03/05/2011. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Publicaciones/SistemaProducto>.
- [4] Quintero M., Moncada A. “Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California”. *Región y sociedad*, 2008. Pp. 3-24.
- [5] SFA. Secretaría de Fomento Agropecuario. “Estudio sobre la utilización de la paja de trigo”, Junio, 2010. Fecha de consulta: 09/05/2011. http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/
- [6] McKendry P. “Energy production from biomass (part 1): overview of biomass”. *Bioresource Technology* 83, 2002:37-46.
- [7] INE. Instituto Nacional de Ecología. “Inventario de emisiones de Mexicali”, 1996.
- [8] SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. “Serie histórica de producción de trigo grano”, sistema producto trigo. Fecha de consulta: 09/05/2011. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/>
- [9] SENER, BID, GTZ. Secretaría de Energía, Banco Interamericano de Desarrollo, Cooperación Técnica Alemana. “Potenciales y viabilidad del uso de bioetanol y biodiesel para el transporte en México”, Noviembre, 2006.
- [10] EPA. Environmental Protection Agency. “Compilation of air pollutant emission factors”, 1992. EPA AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 2: Solid Waste Disposal, Open Burning.
- [11] SENER. Secretaría de Energía. “Balance nacional de energía”, 2009.

Estudio preliminar de la presencia de compuestos emergentes en las aguas residuales del Hospital Universidad del Norte

Carmen Alicia Arias Villamizar, Amelia Escudero de Fonseca

vcarmen@uninorte.edu.co

Resumen

Los “contaminantes emergentes”, son sustancias con efectos aún desconocidos, pero con un grave daño potencial, ostentan una significancia ambiental no muy bien conocida y prácticamente se desconoce su destino en el medio ambiente. Estas sustancias contaminan acuíferos, sistemas marinos, estuarios debido a que se han encontrado en los efluentes de las PTAR, de factorías de productos químicos (farmacéuticos, cosméticos, detergentes), de la ganadería y la agricultura, de unidades hospitalarias. El Hospital Universidad del Norte, en Barranquilla, no es la excepción y nosotros hemos encontrado en el efluente, que se descarga al sistema de alcantarillado de la ciudad y éste a su vez al río sin tratamiento, sustancias de origen farmacéutico, que evidencian que los sistemas de tratamiento de aguas residuales deben ser repensados.

Palabras clave: *contaminantes no regulados, contaminantes orgánicos, contaminantes traza, investigación emergente*

1. Introducción

275

Del amplio número de compuestos sintéticos producidos para uso doméstico, industrial y agrícola han tenido especial preferencia, por sus efectos sobre la salud, algunos compuestos orgánicos, inorgánicos y hasta radionúclidos que han sido detectados en las aguas residuales de hospitales. El término más comúnmente usado para indicar la cantidad de estas sustancias es el de nivel trazas, lo cual significa que su presencia es en nanogramos o microgramos por litro. Algunos de éstos se llaman contaminantes emergentes (ECs) porque sus análisis se han hecho recientemente con la refinación en las técnicas analíticas y se considera que causan daño a la salud y al medio ambiente.

Los investigadores han dado principal importancia a los productos de origen farmacéutico y hormonas [1], puesto que son utilizados en la prevención, en el diagnóstico y en el tratamiento de enfermedades de humanos y animales y muchos de estos productos no han sido completamente degradados después de su aplicación. Además, su presencia en el medio ambiente va en aumento: Se estima que el consumo alcanzará un rango de 50 a 150 gramos por año en los países industrializados, siendo éste un valor 10 veces superior al actual [2].

En muchos casos, los compuestos emergentes son contaminantes no regulados. Ellos podrían en el futuro ser regulados una vez se evalúe el riesgo potencial para la salud y su prevalencia en las aguas [3]; es necesario conocer su presencia a través de monitoreos. Los principales compuestos emergentes hacen referencia a sustancias de cuidado personal y medicamentos (llamados PPCPs), surfactantes, drogas ilícitas, agentes diagnósticos, nutracéuticos, protectores solares, fragancias, excipientes, “disruptores endocrinos”, entre otros. La tabla 1 muestra una clasificación más general de estos contaminantes.

Los PPCPs poluentes, tiene su origen en que muchos de los medicamentos ingeridos son excretados vía urinaria o por las heces; ellos son no metabolizados, principalmente porque los excipientes son no solubilizados y además muchos de sus metabolitos son bioactivos. Una ruta de origen también la constituyen los sistemas de almacenamiento de residuos municipales, los cruceros, laboratorios

clandestinos, el uso de anticonceptivos orales como agentes de crecimiento en plantas, la agricultura molecular, etc. Los residuos farmacéuticos son transportados al ciclo del agua por diferentes rutas: Las plantas de tratamiento de aguas residuales actúan como una puerta de entrada de los farmacéuticos a los cuerpos de agua, porque muchos de estos compuestos no son realmente retenidos en sus procesos y además porque muchos residuos farmacéuticos veterinarios son descargados directamente al ecosistema.

Tabla 1. Contaminantes emergentes

Agrupado de acuerdo a Regulación	Grupo
Propiedades ambientales	Contaminantes prioritarios. Contaminantes no regulados (“emergentes”) PBT, (persistente y tóxico bioacumulable) vP,vB (muy persistente y muy bioacumulable). POT (compuestos persistentes)
Frecuencia/nivel incidencia	Micro contaminantes, micro constituyentes. Contaminantes traza/residuos.
Uso	PPCPs (compuestos farmacéuticos y de cuidado personal). También llamados PhACs
Lugar de incidencia	OWCs (contaminantes orgánicos en agua residual)
Propiedades toxicológicas	EDC (disruptor endocrino). CMR (cancerígeno, mutagénico, tóxico para reproducción)
Novedad, moda o nuevo interés.	EPOCs (contaminantes emergentes de interés) COCs (químicos de interés). COPCs (químicos de potencial interés). CECs (químicos emergentes de interés)
Endógenos y foráneos	Xenobióticos. Compuestos orgánicos xenobióticos (XOCs)
Significancia del potencial toxicológico	Toxinas, tóxicos, (antagonista, activador, represor, inhibidor, regulador, modificador)
Fuente	DPDs o HDPs (derivados de contaminantes humanos). POHO (contaminantes de origen humano)
Cantidad	HPV (alto volumen de producción), en USA $\geq 11\text{lb/año}$

Tomado de [4] y adaptado por las autoras.

Los riesgos asociados a los PPCPs no son un tema nuevo, han existido desde el mismo momento en que fueron sintetizados, pero se han evidenciado a partir del momento en que se mejoraron las metodologías analíticas ampliando los límites de detección de estos compuestos xenobióticos porque había prevalecido el enfoque de los contaminantes primarios, especialmente aquellos referidos a sustancias persistentes, bioacumulativas y tóxicas. Pero ellos son sólo una parte del problema. En efecto, aun cuando estudios recientes muestran que algunas drogas farmacéuticas encontradas en los cuerpos de agua no constituyen un inminente riesgo para la salud pública [5], otras si tienen ese carácter, el ejemplo más sencillo lo constituyen las hormonas sintéticas, se demostró que afectaban la reproducción de poblaciones de peces [6]. Estudios eco-toxicológicos posteriores muestran evidencias de toxicidad crónica de organismos acuáticos, debido a pequeñas dosis de exposición ante contaminantes emergentes y han recibido especial atención reportes en los que se consideran interacciones de diferentes fármacos [7]. Muchas de estas sustancias traza se consideran disruptores endocrinos (EDCs). Diferentes investigadores han llegado a la conclusión que estas sustancias trazas y ECs, se pueden considerar disruptores endocrinos (EDCs) [8],[9].

A pesar de la naturaleza específica, pocos efluentes de hospitales se consideran en forma diferente a las aguas residuales urbanas y se descargan a los sistemas de alcantarillado público, en algunos casos, sin ninguna clase de tratamiento [10]. Siendo que las concentraciones de los CE son del orden de nanogramos o microgramos, se considera que no es buena idea el cotratamiento de la mezcla de efluentes urbanos con efluentes de hospitales [11], dado que ellos se fundamentan en la dilución más no en la separación de los contaminantes, principalmente los emergentes y las sustancias tóxicas de la fase líquida, que se descargan al medio ambiente.

En este documento, trataremos de demostrar en forma preliminar la presencia de algunos compuestos emergentes en las aguas residuales del Hospital de la Universidad del Norte, HUN, y en el efluente de estas mismas aguas después de su tratamiento. Esto como una tarea previa para

encender las alarmas sobre la importancia del refinamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de hospitales. Consideramos que las sustancias de mayor uso en un hospital de esta categoría son los analgésicos, antiinflamatorios como el diclofenaco, ibuprofeno y otros medicamentos como la aspirina, antisépticos como el triclosán, hormonas como el estriol y el estrona, e1 estimulantes como la cafeína, y otras drogas de uso lícito en centros hospitalarios, como la morfina, asunción contrastada contra lo aquí investigado.

2. Sección Experimental

2.1 Determinación del consumo de agua en el Hospital

Los hospitales requieren para su funcionamiento una gran cantidad de agua por día, dependiendo de las actividades que cada uno desarrolla. Los factores a tener en cuenta son: número de camas, edad del hospital, accesibilidad al agua, servicios generales presentes dentro de la estructura (cocina, lavandería, aire acondicionado), número y tipo de personas a cargo y unidades, políticas gerenciales de la institución, políticas relativas al cuidado del medio ambiente, factores climáticos, culturales y geográficos. No hay una correlación clara entre el consumo específico (L/cama. día) de un hospital y el tamaño del hospital, es decir, número de camas [12], [13]. Se adopta un consumo promedio para áreas industrializadas de 150-300 L p.e.⁻¹día⁻¹, y 50-100 L p.e.⁻¹ día⁻¹; (siendo p.e.= población equivalente). También se encuentra en la literatura que el consumo para hospitales es mayor comparativamente con otros renglones tales como uso comercial, institucional y recreacional. Para el aforo del caudal del hospital se utilizó caída libre, con un recipiente aforado y un cronómetro, se obtuvo un valor promedio de agua 270L p.e.⁻¹ día⁻¹ (0.25L/s).

2.2 Caracterización química y biológica del agua residual y del efluente de la PTAR.

Macrocontaminantes presentes. En muchos países del mundo se reportan contaminantes convencionales [13], [14]. Los datos de literatura muestran análisis de DBO₅, COD, SS, tanto para efluentes de hospitales (ARH), como para aguas residuales municipales (ARM). Los valores promedio son 160 g BOD₅ paciente⁻¹ d⁻¹, 260–300 g COD paciente⁻¹ d⁻¹, 120–150 g SS paciente⁻¹ d⁻¹, siendo alrededor de tres veces superior a los valores de las aguas residuales municipales cuyos valores son: 60 g BOD₅ p.e.⁻¹ d⁻¹, 100–120 g COD p.e.⁻¹ d⁻¹, 70–90 g SS p.e.⁻¹ d⁻¹. También se han tomado en forma común otros parámetros como pH que en ARH varía entre 7.7-8.1 y en ARM varía entre 7.5-8.5; fósforo total (mgL⁻¹) 0.2-13 en ARH y en ARM entre 4 y 10. Grasas y aceites (mgL⁻¹) 5-60 en ARH y 50-100 en ARM, cloruros (mgL⁻¹), 65-360 en ARH y 30-90 en ARM. Coliformes totales (NMP/L00mL) 10⁵-10⁸ en ARH y 10⁷-10¹⁰ en ARM, *E. coli* (NMP/L00mL) 10³-10⁶ en ARH y (NMP/L00mL) 10⁶-10⁷ en ARM, éstos dentro de otros parámetros comúnmente regulados en todos los países del mundo. La caracterización de las aguas residuales del afluente y efluente de la planta de tratamiento del HUN se muestra en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de las aguas residuales del HUN

Parámetros (mg/L)	Valores promedio entrada (mg/L)	Valores promedio salida (mg/L)	Método
BOD ₅	902.50	132.00	SM 5210 B
DQO	1357.00	185.75	SQM 14541 (Eq SM 5220D)
Sólidos suspendidos totales	787.00	47.50	SM 2540 D
Grasas y/o aceites	380.00	25.00	SM 5220

Microcontaminantes. La presencia de metales pesados (mercurio, platino, gadolinio), anestésicos (alquilfenol, propofol), citostáticos, desinfectantes, analgésicos y antiinflamatorios, medios de contraste y compuestos orgánicos adsorbibles, reflejan las sustancias y las cantidades de los medicamentos que se administran en cada centro hospitalario. En el caso de pacientes ambulatorios, los productos farmacéuticos sin metabolizar serán excretados en el interior del hospital y en otros

lugares, en función de la terapia específica y el tiempo de estancia en el hospital. Se mostrarán los principales microcontaminantes en el apartado siguiente.

3. Principales medicamentos de consumo del Hospital

Una amplia variedad de sustancias químicas son comúnmente usadas en los hospitales para análisis de laboratorios y en actividades de investigación y en particular en cirugía. Sin embargo, estas sustancias cambian de país en país, tanto su cantidad como su calidad y también en la medida del avance de la investigación médica y las regulaciones de cada país [15]. Generalmente, estos micro contaminantes se agrupan teniendo en cuenta las diferentes clases terapéuticas, es decir, las sustancias persistentes o elementos que ellos contengan (compuestos orgánicos adsorbibles AOX, metales pesados); de acuerdo a su función (detergentes, antisépticos) y otras como los estimulantes cafeína y fragancias, que también aparecen en las ARM. Las concentraciones de dichas sustancias son el resultado de la combinación de tres factores, la cantidad suministrada, el porcentaje excretado y características químicas, como la estabilidad y la biodegradabilidad. La tabla 3 compara los medicamentos más usados internacionalmente con los de uso en el Hospital (unos 450).

Tabla 3. Medicamentos de uso frecuente en centros hospitalarios.

Medicamentos mostrados en literatura	Medicamentos usados en HUN
Antibióticos: Cefazolin, chlortetracycline, ciprofloxacin, ciprofloxacin, doxycycline, erythromycin, norfloxacin, penicillin, sulfamethoxazole, tetracycline, ofloxacin, trimetopim, oxytetracycline	Penicilina, clindamicina, klaricid, interferon alfa (antiviral), espiramicina, tienam, espiramicina, amikacina; amoxicilina, ciprofloxacina, cefradina, fluconazol, albendazol
Anestésicos: Propofol	Ttramadol, acetaminofen. Bromuro de vecuronio (bloqueador neuromuscular)
Desinfectantes: Triclosan, glutaraldehido	Glutaraldehidos, Ceftrimidas
Agentes de contraste: Iopromida, iopamidol	Gadopentetato Dimeglumina, Ioversol
Corticoides	Corticoides hidrocortisona
Drogas psiquiátricas, antidepresivas y anticonvulsiantes, Carbamazepina, gabapentin, fenytoin, ácido valproic	Acido valproico, carbamazepina, fenitoína (antiepiléptico), fenobarbital, verapamilo, levetiracetam
Antihistamínicos: ranitidina, cimetidina	Ranitidina (en úlceras gastrointestinales); Beclometasona (tratamiento de epoc)
Hormona β -estradiol, estriol, estrona, etinilestradiol	Hormonas: Dopamina
Otros: control e tensión, reguladores lipídicos, estimulantes, desinfectantes, aromas, y fragancias.	Alopurinol (inhibidor enzimático), amiodarona clorhidrato (regulador cardíaco); amlodipino, asawin, captopril (antihipertensivo), Clopidogrel (anticoagulante). Teofilina (broncodilatador); diclofenaco (antiinflamatorio)

4. Revisión sobre los sistemas de tratamiento

Cada tecnología tiene sus particularidades específicas con respecto a la remoción de los contaminantes. Un correcto manejo de los efluentes de un hospital requiere que las descargas de los servicios sanitarios de pacientes bajo tratamiento de terapia de medicina nuclear, debe ser colectado en tanques separados, ello evita la presencia de radionúclidos en todo el efluente. No es conveniente el cotratamiento con ARM, puesto que algunas sustancias presentes en el efluente del hospital pueden provocar la inhibición de la biomasa y así también se disminuye la eficiencia del tratamiento. La IWA ha mostrado que los tratamientos fisicoquímicos, coagulación-floculación, no son eficientes para la remoción de PPCPs de las aguas residuales municipales [11].

La adsorción con carbón activo granulado o en polvo, presentan gran potencial en la remoción de trazas de contaminantes emergentes y en la adsorción de disruptores endocrinos, con eficiencias que son dependientes del tiempo de contacto. Para el caso del diclofenaco y la carbamazepina, tratados

con sistema de lodos activados los porcentajes de eficiencia son variables entre el 0-80% siendo más frecuente valores entre 21-40% y con remoción no superior al 10% para la carbamazepina, debido a la persistencia de la carbamazepina a bajas concentraciones, mientras el diclofenaco es más biodegradable bajo las mismas condiciones [2].

Los tratamientos biológicos a través de lodos activos y reactores biológicos de ultrafiltración por membrana (MBR), han observado la eficiencia de remoción en función de tiempos de retención (STR), y el desempeño de las bacterias nitrificantes en la biodegradación. Pruebas de biodegradabilidad en laboratorio demuestran que muchos antibióticos son recalcitrantes, esto sugiere que el tratamiento con bacterias usadas por la empresa estudiada es poco eficiente [14]. Actualmente el hospital usa un tratamiento biológico con las llamadas “ecobacterias” proporcionadas por una empresa privada. Tratamiento que de acuerdo con la mediciones iniciales permite juzgar como poco eficiente.

5. Mediciones de contaminantes

Para los análisis de compuestos emergentes en este trabajo se ha utilizado la técnica cromatografía de alta resolución, usando un cromatógrafo Hitachi, para la cual se empleó una columna comercial C18 fase reversa 125 mm. El muestreo correspondió a una muestra compuesta durante 24 horas de un día normal de trabajo en el hospital, estas muestras se preservaron y se almacenaron a menos 5°C. Luego en el laboratorio se filtraron a través de un poro inferior a 100 micras. Se analizaron el acetaminofén y la cafeína. La cafeína porque su uso es bajo y es un estimulante y el acetaminofén porque es la de mayor uso en el Hospital. Las dos sustancias están presentes en el agua después del tratamiento, indicativo de que estas sustancias sobrepasan las barreras de los tratamientos.

6. Conclusiones

Las sustancias llamadas emergentes están presentes en aguas después de su tratamiento lo cual indica que se deben refinar dichos sistemas.

Es necesario continuar la investigación para medir mayor cantidad de sustancias que permitan indicar la calidad del agua que va a los cuerpos receptores, esto permite tomar decisiones sobre el mejoramiento en los sistemas de tratamiento y permitirá determinar la influencia en la diversidad acuática, teniendo en cuenta que la persistencia aquí hace referencia más a la continuidad de la recepción de las sustancias que a la baja biodegradabilidad de las sustancias implicadas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Snyder, S. W. *Pharmaceuticals, personal care products and endocrine disruptors in water. Implications for the Water Industry*. Environ. (2003). Eng. Sci. 20 (5). 449–469.
- [2] Yongjun Zhang, Sven-Uwe Geißen, C. G. *Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment*. . 2008. Chemosphere. 1151–1161.
- [3] Dorne, J. R. *Trends in human risk assessment of pharmaceutical*. Analytical and Bionalytical Chemistry. 2007. 1167-1172.
- [4] Daughton, C. G. Biological systems and stressors. Environmental Protection Agency Available at. 2004 (accessed 31 may 2011). <http://epa.gov/nerlesd1/chemistry/ppcp/stressors.htm>.
- [5] Collins, S. K. *Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry*. Chem. Rev. 2007. 2319-2364.
- [6] Snyder S. A. *Occurrence, Treatment, and Toxicological Relevance of EDCs and pharmaceuticals in Water* Ozone: Science and Engineering. 2008. 30: 65–69.
- [7] Cleuvers, M. *Mixture toxicity of the anti-inflammatory drugs diclofenac, ibuprofen, naproxen, and acetylsalicylic acid*. M. Cleuvers, Ed. 2004. Ecotoxicology and Environmental Safety. 309-315.

- [8] Petrovic, M. E., Petrovic, M., Eljarrat, E., Lopez de Alda, M.J., Barceló, D. *Endocrine disrupting compounds and other emerging contaminants in the environment: a survey on new monitoring strategies and occurrence data*. 2004. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 549-562.
- [9] Kasprzyk-Hordern et al. *The removal of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs during wastewater treatment and its impact on the quality of receiving waters*. 2009. *Water Res.* 363–380.
- [10] Emmanuel, E. K. *Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater*. 2004. *Environ. Int.*, 891–900.
- [11] Vieno, N. T. *Elimination of pharmaceuticals in sewage treatment plants in Finland*. 2007. *Water Res.* 41, 1001–1012.
- [12] Suarez, S. L. *Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation*. *Bioresour. Technol.* 2009. 2138–2146.
- [13] Verlicchi, P.*, Galletti, A., Petrovic, M., Barceló, D. *Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options*. 2010. *Journal of Hydrology*. 416–428.
- [14] Kümmerer, K. *Antibiotics in the aquatic environment – A review – Part II*. 2009. *Chemosphere*. 75 435–441.
- [15] Schuster, A. H. *Flow of active pharmaceuticals ingredients originating from health care practices on a local, regional and nationwide level in Germany – is Hospital effluent treatment an effective approach for risk reduction*. 2008. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*. 457-471.

Estudio preliminar del balance radiativo en tiraderos municipales de Mexicali, B.C., México

Néstor Santillán Soto, O. Rafael García Cueto, Sara Ojeda Benítez

nsantillan@uabc.edu.mx

Resumen

Cualquier cambio en el uso de suelo modifica y genera impactos en las condiciones bioclimáticas, lo cual es evidente cuando se compara con un lugar cercano en el que se ha conservado su suelo nativo. Esta condición sucede de una manera radical en lugares en donde se establece la disposición de los desperdicios urbanos. Basándose en lo anterior, esta investigación presenta una propuesta metodológica para analizar las componentes del recurso solar y la respuesta de las mismas hacia la atmósfera al interactuar sobre suelos cubiertos con residuos sólidos municipales en la ciudad de Mexicali. Para ello se realizaron campañas de medición en el sitio de disposición en dos períodos del día: por la mañana, después de haber perdido energía térmica durante la noche, y por la tarde cuando la ganancia solar alcanza sus máximos valores. El equipo propuesto para realizar las mediciones, ubicado sobre suelo sin residuos de basura y sobre una cobertura delimitada del tiradero, consta de piranómetros, radiómetros netos, un sistema de covarianza turbulenta, sensores de temperatura, humedad relativa y equipo para registro y adquisición de datos. Los resultados muestran la diferencia en las componentes radiativas que genera la perturbación del suelo nativo al cubrirlo con los desperdicios del basurero, así también se aborda una discusión sobre las afectaciones potenciales del bioclima de las comunidades circundantes.

Palabras Clave: *bioclima, energía solar, radiación neta, residuos sólidos, uso de suelo*

1. Introducción

El movimiento social en las ciudades y zonas rurales ha hecho que se produzcan impactos sobre el medio ambiente que nos rodea. El poder satisfacer las necesidades de los grupos sociales y las actividades que estos realizan han provocado problemas debido a la generación de residuos sólidos (RS), superando la capacidad de asimilación de la tierra [1]. La disposición de RS urbanos generalmente se ubica en zonas rurales donde predominan sin alteraciones las condiciones climáticas de la región, pero que pueden ser modificadas al cambiar el uso de suelo del sitio al ubicar un tiradero de basura. Este impacto ambiental por cambio de uso de suelo se ha estudiado en los últimos años en las ciudades con un enfoque hacia la ciudad sustentable y se ha documentado que la urbanización induce cambios radicales en la naturaleza de la superficie y, por tanto, en las propiedades atmosféricas de una región. Involucra no solamente la transformación de las propiedades radiativas, térmicas, hídricas y aerodinámicas [2], sino que a su vez, modifica los balances de calor, masa y momentum [3], por lo que se generan un conjunto de distintos climas a micro y mesoescala, dando lugar, por ejemplo al conocido efecto de isla de calor urbano [4], en el que la ciudad tiene un clima térmico modificado, comparado al área rural [5], y que tiene implicaciones prácticas en la conservación de energía y agua, salud humana y confort, dispersión de contaminantes y circulación local del aire [6]. El concepto de componentes radiativas incluye todas mediciones que estén relacionadas con la radiación solar, entre ellas, radiación solar global, directa, difusa y neta. En este estudio, se hace un especial enfoque a la propiedad radiativa conocida como albedo, el flujo de radiación neta (RN) y la temperatura del aire (TA). Albedo se define como el

cociente de la radiación solar reflejada por las superficies entre la radiación solar entrante y NR como la diferencia de la radiación solar entrante menos la radiación terrestre de onda larga [7]. Sobre superficies como los tiraderos de basura, la respuesta de estas dos propiedades debe diferir de las superficies que comúnmente encontramos en las coberturas urbanas, ya que además de contaminar el suelo, uno de los grandes problemas de los residuos sólidos en la actualidad al llegar al sitio de disposición final, es la composición de los mismos como una mezcla heterogénea [8]-[10]. Es por todo lo anterior que esta investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento de las variables climáticas y radiativas impactadas por el cambio de cobertura de suelo natural por la de un tiradero de basura a cielo abierto.

2. Metodología

El sitio donde se realizó este estudio fue el tiradero ubicado en el ejido Hipólito Rentería en el Valle de Mexicali. Durante años este lugar fue el destino de los residuos urbanos y actualmente es parcialmente utilizado y se encuentra en etapa de clausura. En la Figura 1 se presenta la ubicación del tiradero.

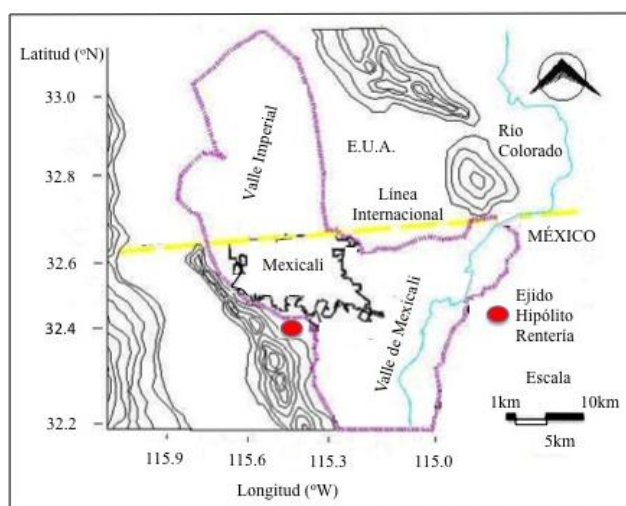


Figura 1. Ubicación del tiradero a cielo abierto Hipólito Rentería

2.1 Materiales

Los datos radiométricos y climatológicos se obtuvieron con el siguiente equipo:

- Sensor de radiación solar global piranómetro CMP3. (Compañía Kipp and Zonen)
- Sensor de radiación solar global piranómetro LI200X (Compañía Campbell Scientific).
- Sensor de radiación neta Q-7.1. (Compañía Campbell Scientific).
- Sensor de temperatura y humedad relativa HMP45C (Compañía Vaisala).
- Equipo de covarianza turbulenta WXT520 (Compañía Vaisala).
- Equipo de adquisición de datos CR23X (Compañía Campbell Scientific).

Los programas utilizados para la configuración de los sensores con el equipo de adquisición de datos fueron el SCWIN (generador de programas Campbell Scientific) y para el monitoreo y acopio de los datos el PC200W (programa de soporte Campbell Scientific).

2.2 Procedimientos

Se configuraron dos estaciones climatológicas para que registraran simultáneamente sobre dos tipos de suelos, una sobre suelo nativo del ejido circundante al tiradero y otra a 150 metros de distancia aproximadamente, sobre una cobertura heterogénea de RS dentro del basurero. Se programó el registro de datos cada minuto para todas las variables. Se realizaron dos campañas de mediciones, cada una por periodos de dos horas. Como representativas de las condiciones vespertinas se registraron los datos de las 13:45 a 15:35 horas el día 14 de Abril del 2011 y para las matutinas de 7:30 a 9:30 horas del 15 de Abril del mismo año. Estos horarios se establecieron tomando en cuenta que por la mañana ambas coberturas se habían enfriado durante el periodo nocturno y por la tarde cuando el calentamiento por la ganancia solar ya ha alcanzado su máximo. Se consideró un área muestra de 113 m² debido a la superficie activa de captación de los sensores radiométricos. Este dato es importante mencionarlo ya que la muestra representa un área y no mediciones puntuales. Al centro de esta área se ubicaron las estaciones climatológicas, los sensores de radiación se colocaron a una altura de 0.6 metros de acuerdo al área de estudio y a 1.2 metros el resto de los sensores, considerando esta altura como la de confort térmico. Los datos se manejaron en el programa Excel para su presentación, comparación y análisis.

3. Resultados y Discusión

En esta sección se presentan, comparan y discuten los resultados de las variables RN, albedo y TA de las campañas de medición. En la Figura 2 se puede observar que sobre una cobertura con RS la respuesta de la RN es mayor en ambas campañas.

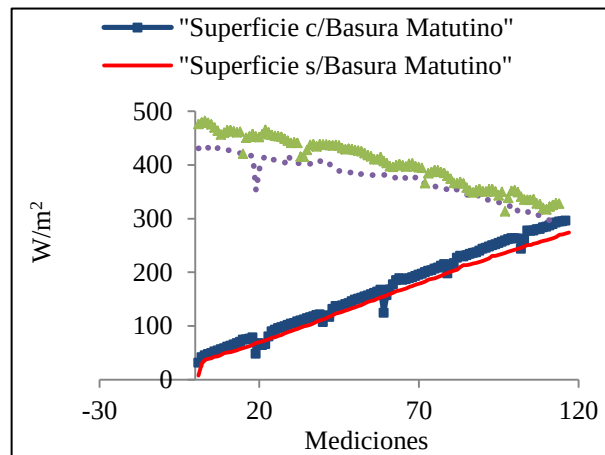


Figura 2. Radiación neta

Este comportamiento está estrechamente relacionado con los resultados de la Figura 3 ya que el albedo es mayor sobre el suelo nativo en los periodos matutino y vespertino. Por las características de este suelo los resultados del albedo son mayores ya que es más reflectora que la cubierta con RS.

Como referencia del confort térmico, la Figura 4 muestra que los promedios de TA de la superficie con basura prevalecen por encima de las del suelo sin basura, de igual forma este comportamiento se presenta en ambas campañas. Este incremento de las temperaturas es reflejo de la ganancia térmica que genera el basurero, ya que los resultados de las variables radiométricas indican que absorbe más energía solar y refleja menos respecto a la superficie sin perturbación. Se presenta la Tabla 1 como referencia comparativa de albedos [2].

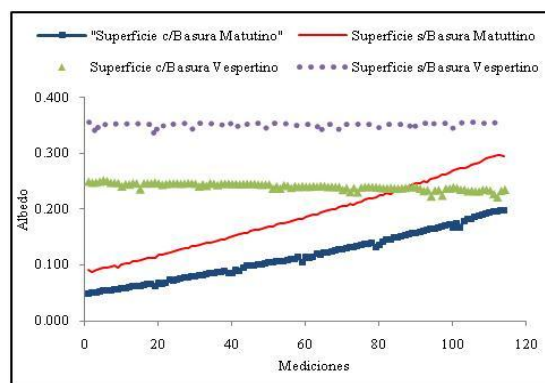


Figura 3. Albedo

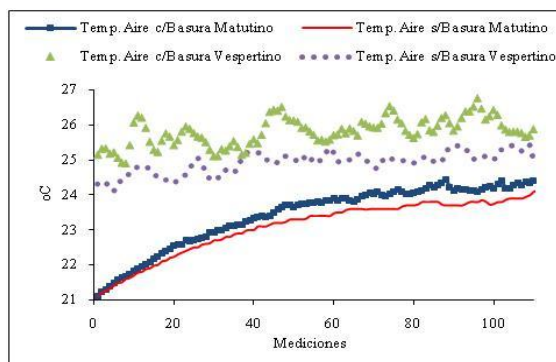


Figura 4. Temperatura del aire

Tabla 1. Albedo de diferentes superficies y materiales

Superficie	Propiedades	Albedo
Suelo	Húmedo, oscuro-Seco, claro	0.05-0.40
Desierto	---	0.20-0.45
Hierba	Larga (1.0 m)-Corta (0.02 m)	0.16-0.26
Agua	Ángulo cenital pequeño Ángulo cenital grande	0.03-0.10 0.10-1.00
Nieve	Vieja-Fresca	0.40-0.95
Plástico negro	---	0.08
Papel	---	0.42
Heno	---	0.22
Carretera	Asfalto	0.05-0.20
Paredes	Concreto	0.10-0.35
	Ladrillo	0.20-0.40
	Piedra	0.20-0.35
Techos	Alquitrán y grava	0.08-0.18
	Teja	0.10-0.35
	Pizarra	0.10
	Paja	0.15-0.20
	Hierro corrugado	0.10-0.16
Ventanas vidrio claro	Ángulo cenital < 40°	0.08
	Ángulo cenital 40° a 80°	0.09-0.52
Pintura	Blanca, enyesada	0.50-0.90
	Rojo, gris, verde	0.20-0.35
Áreas urbanas	Rango	0.10-0.27
	Promedio	0.15

En la Tabla 2 se presentan los promedios generales de las propiedades analizadas, predominando los valores más altos de RN y TA sobre las coberturas con residuos y por otra parte los más bajos para la propiedad del albedo.

Tabla 2. Promedios de las propiedades radiativas y climatológicas

Nombre de la variable	Sin basura	Con basura
Radiación neta matutina (kW/m ²)	153.93	166.94
Radiación neta vespertina (kW/m ²)	374.49	404.19
Albedo matutino (Adimensional)	0.185	0.116
Albedo vespertino (Adimensional)	0.352	0.241
Temperatura del aire matutina (°C)	23.15	23.47
Temperatura del aire vespertino (°C)	24.91	25.81

Se aplicó la prueba de diferencia de medias, suponiendo que las muestras obtenidas en cada lugar de medición son aleatorias, normales e independientes. Dado que cada muestra tiene un número de mediciones mayor de 100 se decidió aplicar la prueba Z con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, así que $Z_{(0.05)} = 1.645$. Con cada conjunto de mediciones de Radiación Neta (RN), Temperatura del Aire (TA) y Albedo se realizó el cálculo de la media y la desviación estándar, con las que fue posible estimar el estadístico Z_0 que se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de Z_0 para RN, TA y Albedo en los turnos matutino y vespertino

Campaña	RN	TA	Albedo
Matutino	1.34	2.68	10.12
Vespertino	5.34	18.87	167.37

Los resultados obtenidos de la Tabla 3 indican que, a excepción de la RN en las mediciones matutinas, todas reportan una diferencia en las medias estadísticamente significativa, debido presumiblemente a que las coberturas de suelo son diferentes.

Las tendencias y los datos antes mencionados muestran que un tiradero como el analizado en este estudio, puede ser comparado con el fenómeno de la isla urbana de calor, generada por los cambios de uso de suelo que sufre una ciudad como parte de su desarrollo, pero dentro de la zona rural. Las implicaciones de este fenómeno son muy demandantes hacia el medio ambiente, ya que, independientemente de contribuir al calentamiento global, el grado de confort de las comunidades vecinas al basurero pueden percibir la ganancia térmica y aumentar el consumo energético lo cual impactaría en más producción de gases de efecto invernadero (GEI) dependiendo del combustible para su generación. Otro aspecto que no se debe pasar por alto es que en esta investigación se aborda el problema en un tiradero autorizado. Las comunidades que pueden ser afectadas en México y en el mundo, difícilmente pueden ser cuantificadas y más aún estimar las toneladas de GEI producidas para mitigar el incremento en la percepción térmica generada por las superficies cubiertas con RS. Esta metodología ha tenido éxito en la climatología urbana, como no hay otro estudio similar no es posible realizar una comparación de estos resultados a otros lugares. Sin embargo es una opción que debe quedar abierta para su aplicación. Finalmente, el énfasis de este estudio exploratorio es relativo y puntualiza que, la diferencia de suelos genera un cambio significativo en las variables climáticas a micro escala, dentro de un espacio y tiempo definido.

4. Conclusiones

Esta investigación presenta resultados parciales que indican que el cambio de cobertura de suelo que genera un tiradero a cielo abierto modifica las condiciones climáticas en la zona, estas alteraciones se incorporan a la baja atmósfera e impactan las zonas circundantes al basurero. Es necesario complementar este estudio con una proyección anual que muestre el comportamiento en las diferentes estaciones del año para analizar las diferencias entre el suelo nativo y el cubierto con

RS. Los equipos de medición climática y radiométrica pueden ser una herramienta importante para analizar el impacto al bioclima que generan los tiraderos de basura en cualquier país donde éstos de encuentren, la metodología y equipamiento permiten su repetitividad.

Referencias Bibliográficas

- [1] Marchettini N., “An environmental analysis for comparing waste management options and strategies”. *Waste Management*. Vol. 27. 2007. pp. 562-571.
- [2] Oke T.R. *Boundary Layer Climates*. 2da. Edición. 1987. Routledge. New York. pp. 435.
- [3] Oke, T.R., “The energy balance of central Mexico City during the dry season”. *Atmospheric Environment*. Vol. 33. 1999. pp. 3919-3930.
- [4] Garcia Cueto O.R., “Detection of the urban heat island in Mexicali, B.C., Mexico and its relationship with land use”. *Atmósfera* Vol. 20(2). 2007. pp. 111-131.
- [5] Badarinath, K.V.S., (2002). *Urban environmental monitoring using satellite data*. <http://www.commonwealthknowledge.net/MetCD/Chapter3/C3P08.htm>.
- [6] Roth, T.M., “Satellite derived Urban Heat Islands from three coastal cities and the utilization of such data in Urban Climatology”. *Intl. Journal of Remote Sensing*, Vol. 10. 1989. pp. 1699-1720.
- [7] Peixoto J.P., Oort A.H., *Physics of climate*. 3ra. Edición. 1993. American Institute of Physics. New York. 103-116.
- [8] Sha’Ato R., “Survey of solid waste generation and composition in a rapidly growing urban area in Central Nigeria”. *Waste Management*. Vol. 27. 2007. pp. 352-358.
- [9] Sharholy M., “Municipal solid waste characteristics and management in Allahabad, India”, *Waste Management*. Vol. 27. 2007. pp. 490-496.
- [10] Ojeda-Benitez S . Beraud-Lozano J.L “The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal”, *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 39. 2003. pp. 239-250.

Evaluación de riesgo ambiental en sitios contaminados en el Valle de Mexicali, B.C. Caso de estudio basurero Vado Carranza

Ryan Michael Atencio Pérez, Jaime A. Reyes-López, José A. Guevara-García

ratencio@dtsc.ca.gov

Resumen

Los impactos ambientales de los sitios de residuos sólidos urbanos son, en su mayoría, relacionados con la migración de contaminantes ya sea en forma de gas y/o lixiviados. De estos sitios, resulta por demás peligrosos aquellos en donde se realiza la quema a cielo abierto de basura, en los cuales los contaminantes liberados (en la ceniza, en el suelo y en el aire) pueden incluir: metales pesados, hidrocarburos del petróleo, compuestos orgánicos semivolátiles, bifenilos policlorados, dioxinas y furanos. El suelo es el medio que recibe directamente los contaminantes contenidos en la ceniza de la basura. Así, los receptores humanos en o cerca de estos sitios pueden estar expuestos a estos contaminantes a través del contacto directo o por la propagación en el aire. En el presente estudio se evalúa el riesgo potencial para aquellas personas que puedan estar expuestos a los Contaminantes Críticos (CC) en este tipo de tiraderos a cielo abierto. Se implementó una campaña de muestreo en el sitio y su correspondiente análisis en laboratorio. Los contaminantes críticos medidos incluyen dioxinas, furanos y plomo. Se desarrolló un modelo conceptual del sitio que se usó de base para la evaluación de riesgos ambientales. Los resultados indican un riesgo alto (inaceptable) para los seres humanos en un escenario de uso residencial e industrial, con la mayoría de los riesgos cancerígenos atribuidos a la 2,3,7,8 tetraclorodibenzo-p-dioxina.

Palabras Clave: *contaminantes críticos(cc), dioxinas, quema, residuos sólidos urbanos, tiraderos a cielo abierto*

1. Introducción

En todo el mundo y específicamente en Baja California, el desarrollo de infraestructura para la eliminación y tratamiento de residuos sólidos no ha seguido el ritmo de crecimiento de la población. Actualmente, la ciudad de Mexicali (Baja California) tiene una tasa de generación de residuos de 1,300 toneladas al día [1]. Hasta finales del año 2010, esta ciudad disponía sus residuos en un relleno sanitario que no cumplía con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 [2], siendo a partir de esta fecha que inicia la operación de un relleno sanitario normado. Sin embargo, en el resto del Valle de Mexicali, aún se siguen operando al menos, 19 tiraderos ilegales a cielo abierto registrados [3] e incluso, el antiguo de la misma ciudad.

Los impactos ambientales que se generan en los sitios de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son, en su mayoría, relacionados con la migración de contaminantes ya sea en forma de gas y/o lixiviados [4]. Históricamente, un método común para la gestión de los residuos, en los municipios, son los tiraderos a cielo abierto y la quema de ellos para reducir al mínimo el material orgánico y otras condiciones insalubres [5]. También, se ha vuelto común que en estos tiraderos se realice la quema de algunos residuos, tales como llantas o cable eléctrico para la recuperación de metales o la recuperación de otros recursos [6]. Así, la quema de basura puede incrementar tanto en la ceniza residual, como en el suelo, las concentraciones de los residuos peligrosos hasta exceder los niveles de contaminantes establecidos en la ley [5].

En este estudio se considera un caso de un tiradero a cielo abierto del Municipio de Mexicali, denominado basurero Vado Carranza, que en su operación ha mantenido la quema de basura como una manera de gestión, con su consecuente efecto negativo al ambiente. En este sitio se realiza de manera informal la separación de residuos con valor económico; labor realizada por los denominados “pepenadores”. Los “pepenadores” realizan la quema clandestina como medio para extraer los metales de la basura que luego son comercializados. Esta práctica se realiza todos los días, incluso participan personas que viven en o cerca del lugar, además de los mencionados pepenadores. Este basurero no tiene ningún tipo de cerco, el cual es de libre acceso para cualquier persona y ha sido documentado como un tiradero con quema a cielo abierto. Además, investigaciones anteriores en este sitio muestran que tanto los suelos como las aguas subterráneas, están contaminadas con metales pesados [7,8]. Así, en este estudio, inicialmente, se caracteriza la contaminación del sitio conforme a la normativa vigente y se determinan los Contaminantes Críticos (CC). Posteriormente se realiza una evaluación de riesgo ambiental (ERA) haciendo uso de los requerimientos en los protocolos Mexicanos, Estadounidenses e Internacionales. Finalmente se obtiene el riesgo potencial para la salud de los receptores humanos en la zona.

2. Desarrollo

2.1 Área de Estudio

El basurero Vado Carranza es gestionado por la Delegación Venustiano Carranza, del municipio de Mexicali, Baja California, México. Específicamente, el basurero se localiza a 52 km al sureste de la ciudad de Mexicali, en un punto central con coordenadas UTM (Zona 11 Sur): 673,565 Este y 3,564,501 Norte (figura 1). El sitio cuenta con una superficie aproximada de 13.75 ha (34 acres). El basurero opera desde 1995 con un aproximado de basura depositada de 30-32 toneladas por día [8].

2.2 Definición y conceptos de la ERA

La ERA forma parte del programa de remediación de sitios contaminados y según el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, debe incluir: estudios de caracterización, estudios de evaluación del riesgo ambiental (ERA), investigaciones históricas y la propuesta de remediación [9]. El objetivo de la ERA es evaluar los riesgos potenciales a la salud humana asociados con la exposición a sustancias químicas en un supuesto escenario residencial o industrial. Los resultados se utilizan para identificar las sustancias químicas y las vías o medios de exposición que puedan suponer un riesgo inaceptable para los receptores hipotéticos actuales y futuros en el sitio [10].

El Riesgo se define como la probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares [11]. La magnitud del riesgo es una función (f) de la peligrosidad de la sustancia y de la magnitud de la exposición [12], que se simplifica mediante la ecuación 1 siguiente:

$$RIESGO = f(EXPOSICION, PELIGRO) \quad (1)$$

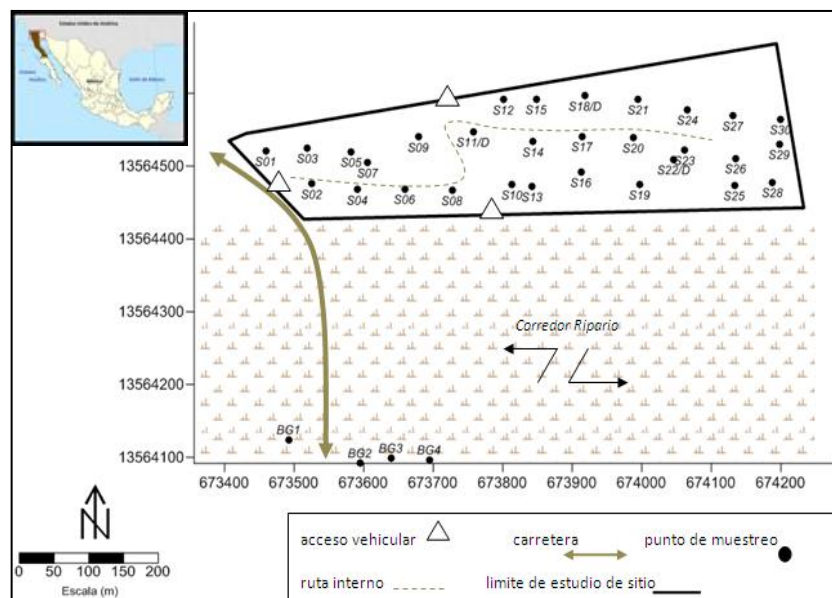


Figura 1. Puntos de muestreo en la zona del sitio

2.3 Modelo Conceptual del Sitio

Los receptores potenciales identificados (pepenadores) tienen que haber estado expuestos a los CC para poder considerarse en situación de riesgo. Así, una vía directa de exposición, conceptualmente representa un riesgo de exposición [13]. La figura 2 presenta el modelo conceptual con los elementos de la ERA del sitio, desde la fuente primaria hasta los receptores humanos. Para que el riesgo este completo se debe constatar que el receptor este expuesto al contaminante. Por ejemplo, en el área de estudio no hay pozos de agua potable, y por lo tanto no puede ser demostrado que los receptores estén expuestos al beber agua; de este modo, esta ruta de exposición se ha marcado como incompleta. Dentro y fuera del sitio de estudio los receptores podrían estar expuestos al polvo, y por lo tanto la ruta de aire, se considera como una ruta de exposición completa. Sin embargo, para los efectos de éste estudio sólo se considerarán los receptores dentro del sitio. También la ingestión y contacto dérmico son vías posibles, pero la exposición por partículas ya se considera en la ruta de la superficie del suelo, por lo que sólo tomaremos en consideración la inhalación de aire, sin tomar en cuenta el contacto con la piel o ingestión de partículas en el aire. En el sitio no existe ninguna acumulación de agua superficial, así por la ausencia de esta agua y la baja cantidad y frecuencia de precipitación, esta ruta se considera incompleta. De este modo, el medio principal con el que los receptores entran en contacto directo con los CC es mediante el suelo superficial. Los receptores podrían estar expuestos a este suelo por la vía de inhalación, ingestión y contacto con la piel, por lo tanto, los suelos se considera una ruta de exposición completa.

2.4 Contaminantes críticos (CC).

La Figura 1 muestra los 34 puntos de muestreo dentro y alrededor del sitio. La toponimia de las muestras dentro del basurero fueron S01 a S30 (S: es de Superficie) y los valores de fondo se tomaron de cuatro muestras situados aproximadamente a 500 m del sitio (BG01 a BG04). La comparación entre las concentraciones de un contaminante en un punto de muestreo y el valor de fondo establece si un contaminante es crítico. Además, se trató que las muestras de fondo fueran texturalmente similares a las del basurero, no perturbadas (en lo máximo posible) y a una profundidad de entre 30-60 cm. La Tabla 1 presenta los elementos usados en el muestreo y las técnicas de análisis para cada contaminante crítico (compuesto). Así, con las concentraciones de los

CC y la existencia de una vía de exposición a estos contaminantes de un receptor humano, se estima el riesgo a la salud de estos receptores.

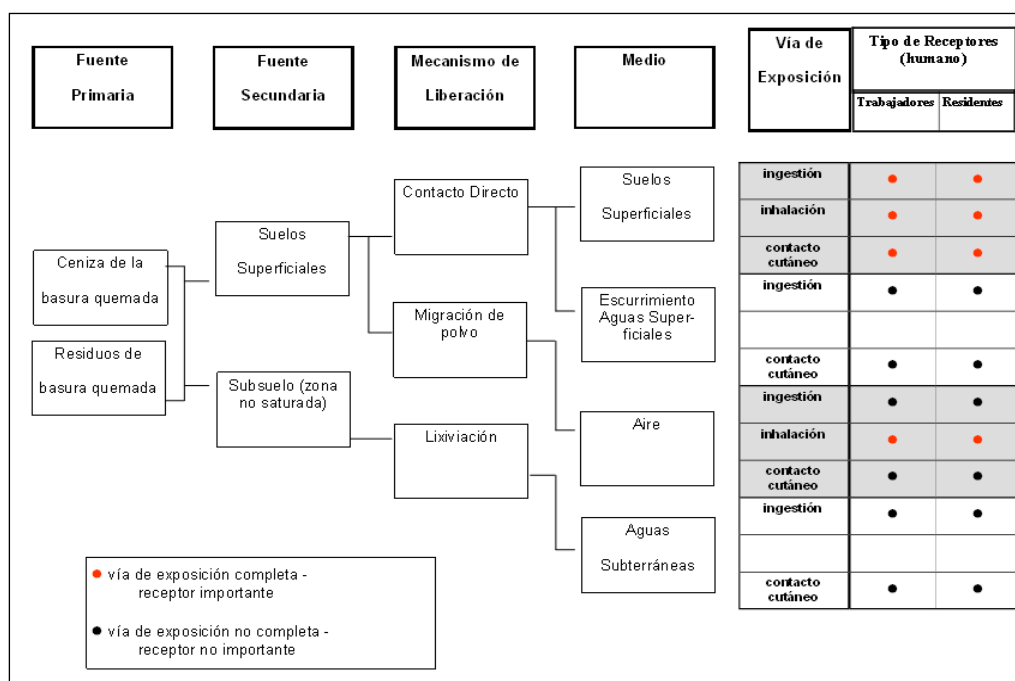


Figura 2. Modelo Conceptual del Sitio

Tabla 1. Los recipientes de muestreo y tipos de análisis

Compuesto	Medio	Tipo de contenedor	Análisis
metales	suelos/cenizas	vidrio de 8 oz / tapado con una tapa de teflón	USEPA 6010/6020
dioxinas/furanos	suelos/cenizas	vidrio de 8 oz / tapado con una tapa de teflón	USEPA 1613
SVOCs	suelos/cenizas	vidrio de 8 oz / tapado con una tapa de teflón	USEPA 8270
PCBs	suelos/cenizas	vidrio de 8 oz / tapado con una tapa de teflón	USEPA 8082

4. Resultados y Discusión

Para la evaluación de riesgo en el sitio se consideraron parámetros de exposición conservadores, y dos escenarios de uso; el residencial y el industrial. La ERA indicó que varios CC detectados en el sitio tienen un alto nivel de riesgo de cáncer y de peligro para un escenario residencial. La figura 3 presenta las concentraciones de dioxinas que es el CC que más contribuye al riesgo en ambos escenarios. Así, el valor estimado de riesgo a partir de las dioxinas es de 4.2×10^{-4} que supera el límite más bajo del rango de riesgos para tomar decisiones. Este rango de riesgos es de 1×10^{-4} a 1×10^{-6} que es utilizado tanto por los gobiernos de USA (USEPA) y de México (SEMARNAT). El índice de peligrosidad (HI, por sus siglas en inglés) estimado en el escenario residencial es 27.91, que supera el valor de HI aceptable de 1. Según los resultados obtenidos en este estudio, en ningún caso debe ser el lugar utilizado como zona de vivienda residencial para los seres humanos. En los resultados bajo el escenario industrial, el HI no superó a 1. Sin embargo, el riesgo de cáncer es superior a 1×10^{-6} , el cual se encuentra dentro del rango de riesgo para tomar decisiones.

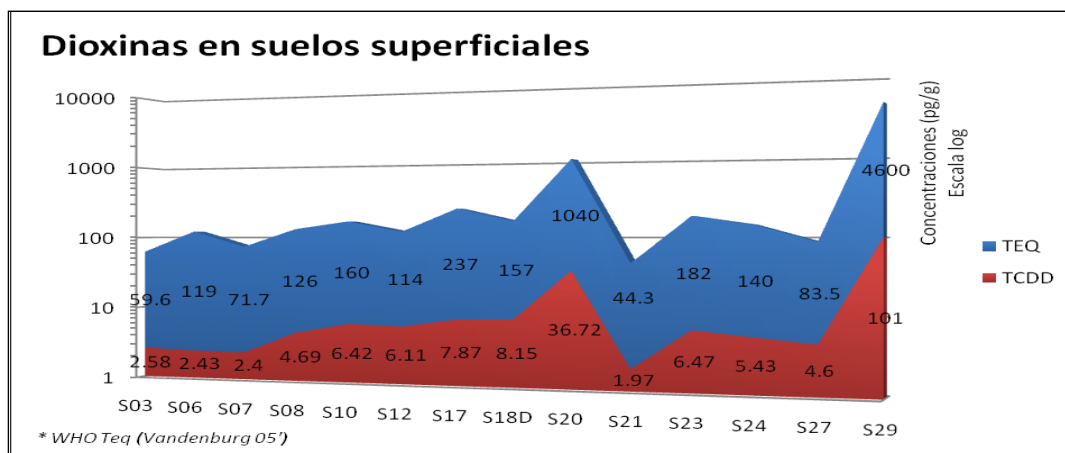


Figura 3. Valores de dioxinas en suelo. La gráfica en azul representa la suma total de las diferentes dioxinas analizadas utilizando el método de Equivalentes Tóxicos (TEQ, por sus siglas en inglés) como describe Van den Berg 2006 [14]. El congénere 2,3,7,8-Tetraclorodibenzodioxina (TCDD) se considera la dioxina más tóxica

El incremento en el riesgo de cáncer que es permisible depende de la legislación de un país. El valor que se considera socialmente aceptable en México y EE UU es de una probabilidad de 10^{-4} a 10^{-6} . Las recomendaciones que surgen del estudio son: evitar la exposición al polvo y al suelo superficial; prohibir la práctica de quema de basura y realizar estudios complementarios para ampliar la ERA (vapores del subsuelo, flora y fauna y remediación en función con el uso del suelo).

La incertidumbre involucrada con esta investigación y evaluación incluye: 1.- La sobrestimación de la exposición real por el uso de las concentraciones máximas de CC, ya que en realidad, la exposición a largo plazo en un punto del sitio, a la exposición máxima es muy remota; 2.- En general, los suelos superficiales siempre son perturbados y por lo tanto la caracterización precisa en un sitio activo no se logrará a través de una sola campaña de muestreo.

Referencias Bibliográficas

- [1]Rojas-Caldelas R.I., C. Z. (2008). Urban observatories for environmental monitoring. *Solid Waste Management* , 40-44.
- [2]Reyes-López J.A., R.-H. J.-M.-D.-L. (2008). Assessment of groundwater contamination by landfill leachate: A case in Mexico . *Waste Manangement* , 1023-1034.
- [3]OULM. (2006). *OULM*. Recuperado el 2008, de Observatorio Urbano Local de Mexicali: http://www.uabc.mx/iis/oulm/cgeoclip_mi05/carte17.htm
- [4]Zairi M., F. M. (2004). Rehabilitation of El Yahoudia dumping site, Tunisia. *Waste Management*, 24: 1023-1034.
- [5]DTSC. (2003). *Protocol for Burn Dump Site Investigation and Characterization*. State of California, Environmental Protection Agency.
- [6]Vinzte, R. (2009). Supervising Hazardous Substances Scientist. (R. Atencio, Entrevistador)
- [7]Gomez, F. (2010). *Metales Pesados en Vado Carranza (Tesis: Maestro en Ciencias)*. Mexicali, Baja California, MX: Universidad Autónoma de Baja California.
- [8]Valdez, M. (2010). *Impacto de los Residuos Provenientes de un Tiradero a Cielo Abierto Sobre la Calidad del Agua Subterránea (Tesis: Maestro en Ciencias)*. Mexicali, Baja California, MX: Universidad Autónoma de Baja California.
- [9]RLGPGIR (2006) El Reglamento de Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicada el 20 de noviembre de 2006.

- [10]SEMARNAT 2006. Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Subsecretaria de Gestión para la Protección Ambiental.
- [11]LGPGIR (2003) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 08 de octubre de 2003.
- [12]Peña, Carlos E., Dean E. Carter and Félix Ayala-Fierro. 2001. Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Distributed on the Internet via the Southwest Hazardous Waste Program website at <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/> (documento de web, visitado 2009)
- [13]ASTM 2008. Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites. E-1689-95. ASTM International.
- [14]Van den Berg M., et. al. 2006 The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compound. Toxicol. Sci. 93 (2): 223-241

Evaluación del riesgo ambiental de un predio contaminado con Mercurio. Estudio de caso

Susana Llamas, Belén Guevara, Francisco Evans Arroyo, Irma Teresa Mercante
sllamas@uncu.edu.ar

Resumen

En su esencia el análisis del riesgo ambiental es un instrumento de la gestión ambiental utilizado en la etapa de planificación como una herramienta preventiva. Sin embargo este instrumento también se utiliza con fines correctivos, es decir cuando la ocurrencia del evento no deseado ha sido verificada y es necesario intervenir para controlar las consecuencias. Objetivo: Evaluar el riesgo actual y potencial de un predio industrial contaminado con Mercurio metálico. Metodología: Se efectuó una investigación exploratoria a partir de la revisión de la documentación disponible, incluyendo los antecedentes del sitio. Se realizó el reconocimiento del área y se elaboró la cartografía básica general con la posición relativa del predio y de los potenciales receptores del peligro identificado en el área de influencia. Se elaboró un modelo conceptual del sitio preliminar y se preparó un plan de trabajo para determinar todas las rutas de transporte a partir de la delimitación de la fuente y de los mecanismos de liberación, transporte, transferencia y transformación. Se ubicaron los puntos de exposición, los potenciales receptores y las rutas de exposición. Resultados: La evaluación del riesgo actual y potencial permitió verificar la existencia de Mercurio en concentraciones superiores a las admitidas en la normativa vigente en el predio estudiado. Se identificaron los medios afectados y se propuso la realización de un Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR) que asegure una restauración ambiental completa.

Palabras Clave: *caracterización, riesgo ambiental, residuos peligrosos*

1. Introducción

Durante la realización de los controles rutinarios de la calidad del agua cruda que ingresa a las plantas potabilizadoras que alimentan al Gran Mendoza, se detectó una concentración de Mercurio de 8,5 mg/L, cifra muy superior al valor máximo permitido de 0,005 mg/L. Ante la denuncia de la situación verificada y en conocimiento de los efectos tóxicos del Mercurio [1], [2], [3], la Autoridad Ambiental intervino para identificar la fuente del vertido y realizar un trabajo preliminar de muestreo en diversos puntos a lo largo del cauce que transporta el agua cruda. Se identificó el punto de vuelco y se solicitó al Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos (CEIRS) de la Universidad Nacional de Cuyo, la realización de una investigación preliminar para determinar el riesgo ambiental actual y potencial referido a la presencia de Mercurio en el predio en el que funcionaba desde 1960, un establecimiento industrial dedicado a la elaboración de Hipoclorito de Sodio, Soda Caústica y Ácido Clorhídrico. La verificación de la ocurrencia de la contingencia, condujo a la elaboración de una propuesta para la evaluación del riesgo orientada a la minimización de sus consecuencias, tomando como información de partida, los resultados de las determinaciones analíticas realizadas sobre la totalidad de los puntos muestreados por la Autoridad Ambiental. Se elaboró un informe con los hallazgos y conclusiones del estudio referido a las condiciones ambientales identificadas, los medios afectados, la evaluación de la calidad del ambiente y la recomendación de implementar la segunda fase del estudio a partir de la realización de una investigación detallada, empleando como herramienta el Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR) con

la finalidad de profundizar la caracterización de los aspectos ambientales y definir el tipo de acción correctiva más apropiada para la situación del predio y su entorno.

2. Materiales y métodos

La evaluación del riesgo ambiental actual y potencial del predio afectado por la presencia de Mercurio, se inició con la revisión de la documentación aportada por la Autoridad Ambiental, referida al seguimiento de las actividades del establecimiento. Esta tarea incluyó el análisis de la historia del predio desde el inicio de las operaciones en el lugar, hasta la obtención de los resultados de los análisis realizados sobre las muestras obtenidas luego de la fecha en que se verificó la presencia de Mercurio en el cauce de agua que alimenta a las plantas potabilizadoras. La etapa de investigación exploratoria se inició con la realización de un recorrido del sitio con la finalidad de georreferenciar los puntos notables del área a evaluar y generar un registro fotográfico del predio y sus singularidades. Esta tarea se complementó con la descripción del entorno inmediato a la ubicación del establecimiento y la elaboración de la cartografía básica general necesaria para incorporar en ella los datos obtenidos en el desarrollo de las campañas de relevamiento, a través de la ubicación de los puntos de muestreo, la revisión de los resultados analíticos y los aspectos físicos (pendientes topográficas, hidrología, infraestructura, ocupación del suelo, distribución de la población y presencia de cultivos) [4]. El procesamiento de la información recopilada y evaluada, permitió elaborar un modelo conceptual del sitio preliminar que incluyó la identificación de todas las muestras con presencia del contaminante de interés, continuó con la identificación de las rutas de transporte, las vías de exposición *on site* y *off site* y finalizó con la identificación de los potenciales receptores [5], [6], [7], [8].

3. Revisión de la documentación

Durante la revisión de la documentación disponible se recopilaron los antecedentes del sitio y de las actividades industriales allí realizadas. Se identificaron los siguientes eventos referidos al funcionamiento del establecimiento y sus incidencias en el entorno inmediato: detección de pérdidas en las celdas electrolíticas, presencia de trazas de Hg en canales que conducen agua hacia las plantas potabilizadoras y contaminación con Hg de partidas de hipoclorito de sodio producidas en el establecimiento investigado. La información referida al evento que provocó la detección de Hg en el agua cruda al ingreso de las plantas potabilizadoras, confirmó la ocurrencia de derrames de efluentes cloacales en tres bocas de registro de un colector ubicado al Este de la propiedad y en paralelo a la traza del cauce de agua. Se inició una sucesión muestreos de suelo y agua en diversos lugares, con posterioridad al evento verificado, con los resultados que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1, Concentraciones de Hg sobre muestras de suelo y agua

Punto de muestreo	Matriz	Valor obtenido	Unidad de medida
Planta potabilizadora 1 (a)	Líquida	0,013	mg/L
Planta potabilizadora 2 (a)	Líquida	0,024	mg/L
Muestra de barro sobre talud del cauce (b)	Sólida	0,7	mg/kg
Muestra filtros rápidos Planta 2 (b)	Sólida	6,1	mg/kg
Muestra derrame colector cloacal (b)	Sólida	1575	mg/kg
Suelo 1 aguas abajo (b)	Sólida	190	mg/kg
Suelo 2 aguas abajo (b)	Sólida	35	mg/kg
Suelo 3 aguas abajo (b)	Sólida	16	mg/kg
Suelo 4 aguas abajo (b)	Sólida	3	mg/kg
Suelo 5 aguas abajo (b)	Sólida	4500	mg/kg
Suelo 6 aguas abajo (b)	Sólida	2000	mg/kg
Suelo 7 aguas abajo (b)	Sólida	245	mg/kg
Suelo 8 aguas arriba (b)	Sólida	No detectable	mg/kg

(a): Ley N° 24051. Decreto N° 831/93. Anexo II. Tabla 1. Niveles guía de calidad de agua para fuentes de agua de bebida humana con tratamiento convencional: Mercurio (Total): 1 µg/L. Tabla 2. Niveles guía de calidad de agua para protección de vida acuática. Agua dulce superficial: Mercurio (Total): 0,1 µg/L.

(b): Ley N° 24051. Decreto N° 831/93. Anexo II. Tabla 9. Niveles guía de calidad de suelos ($\mu\text{g/g}$ peso seco). Nivel guía para Mercurio (Total): Uso agrícola: $0,8 \mu\text{g/g}$ peso seco. Uso residencial: $2 \mu\text{g/g}$ peso seco. Uso industrial: $20 \mu\text{g/g}$ peso seco.

4. Reconocimiento del sitio

Las tareas de reconocimiento del sitio se realizaron en dos niveles, el primero para identificar las singularidades del predio y el segundo con el propósito de establecer los usos del suelo en el entorno inmediato. Como consecuencia del vuelco, la Autoridad Ambiental procedió a la clausura del establecimiento, por lo que la operación de la planta no fue considerada en la evaluación del riesgo actual y potencial. Sin embargo se concluyó que el estado general de tanques, recintos y líneas de conducción era deficiente. El sistema de captación, conducción y tratamiento de efluentes pluviales está conformado por una canaleta de escasa profundidad y definición sobre el suelo esta conducción finaliza su recorrido en un reservorio sin impermeabilización, cuya base no se encuentra compactada y el material que da forma a los taludes presenta una granulometría muy gruesa. Esta configuración podría resultar crítica ante la ocurrencia de precipitaciones torrenciales, en particular las de corta duración e importantes volúmenes, con arrastre de los contaminantes presentes sobre los suelos superficiales. La presencia de Hg sobre los suelos podría ocasionar emisiones hacia la atmósfera, especialmente en época estival cuando las temperaturas máximas diarias sobre la superficie del suelo alcanzan valores cercanos a los 40°C. Con relación al entorno del predio, se trabajó a partir de las curvas de nivel para definir las pendientes del terreno. La diferencia de cota se analizó a partir del sentido decreciente de las pendientes naturales del terreno, estos valores comprenden desde 900 m en el sector de ingreso al predio hasta 890 m en el sector más alejado de la propiedad, donde se ubica el reservorio de contención. Se identificaron los usos que se indican a continuación y aparecen representados en la Figura 1.

Hacia el Sur: uso distribuido entre residencial e industrial, con presencia de viviendas unifamiliares.

Hacia el Oeste: uso distribuido entre actividades rurales con presencia de cultivos y residencial.

Hacia el Norte: uso residencial, con presencia de viviendas unifamiliares.

Hacia el Este: recorrido del curso de agua. Uso distribuido entre residencial e industrial.



Figura. 1. Usos del suelo en el entorno del predio analizado

5. Modelo conceptual del sitio preliminar

La elaboración del modelo conceptual del sitio preliminar tuvo por finalidad facilitar la planificación de las tareas que será necesario realizar para establecer el diseño del muestreo, la cantidad y distribución de los sondeos y las determinaciones analíticas sobre las muestras de suelo y agua. Para la elaboración del modelo conceptual del sitio preliminar se trabajó con la información aportada por el Área de Residuos Peligrosos de la Autoridad Ambiental. El modelo elaborado permitirá su actualización a medida que se avance en la implementación del programa de investigación de detalle en la fase 2.

5.1 Identificación de los contaminantes

Para el sitio en estudio la primera fuente de contaminación potencial corresponde a los posibles puntos de fuga de Hg (celdas electrolíticas, tanques, conducciones); una segunda fuente potencial de contaminación es el propio suelo, por contacto con el contaminante considerado. Para la determinación de Hg en agua se propuso emplear el método EPA 7470 A para tratamiento y determinación de muestras; para suelos se propuso el método EPA 7471 B para tratamiento y determinación de muestras, empleando la técnica de espectrometría de absorción atómica con productor de hidruros.

5.2 Identificación de las rutas de transporte

En la identificación de las rutas de transporte se tuvo en cuenta el recorrido del contaminante desde la fuente generadora hasta los potenciales receptores. A partir de la liberación sobre la superficie del suelo, los contaminantes se desplazan hacia abajo, esencialmente en sentido vertical, hasta que se verifica alguna de las siguientes situaciones: se alcanza algún cambio en la permeabilidad, se encuentran barreras impermeables que frenan su avance o, cuerpos de agua subterránea. Los contaminantes se desplazan en el suelo por gravedad hasta que se satura el espacio intersticial de este medio. Una vez que se interrumpe el aporte de la fuente de contaminación y finaliza el desplazamiento, persisten concentraciones residuales de Mercurio que permanece en el suelo con baja movilidad. Siempre que se mantenga la estructura del suelo y no se produzcan nuevos aportes de Mercurio, ni eventos que contribuyan a ocasionar el desplazamiento del contaminante depositado, se puede considerar que la movilidad resulta limitada. Cuando los suelos son impactados según lo expresado, se transforman en fuentes potenciales de contaminación para las aguas subterráneas. En el caso del Hg es también necesario tener presente que con temperaturas elevadas se producen vapores que ocupan el espacio intersticial, verificándose el ascenso de los mismos debido a su baja densidad. Como consecuencia de la movilidad de los vapores, se puede producir contacto con el aire atmosférico en espacios abiertos y con el aire ambiente en espacios cerrados, con posibilidades de alcanzar receptores potenciales.

5.3 Identificación de las vías de exposición

En análisis de las vías de exposición se realizó considerando dos ámbitos; el primero de ellos corresponde a la situación en que el receptor podría resultar expuesto a la contaminación en el sitio *-on site-* y el segundo cuando la exposición puede suceder fuera del sitio *-off site-*. Las posibles vías de exposición identificadas por las cuales un receptor potencial podría resultar expuesto a la contaminación *on site* fueron las siguientes: ingesta y contacto con aguas superficiales, ingesta y contacto dérmico con los suelos superficiales, inhalación de vapores en espacios abiertos e inhalación de partículas en espacios abiertos. Las posibles vías de exposición *off site* corresponden a: ingesta de agua subterránea, ingesta y contacto con aguas superficiales, ingesta y contacto dérmico con suelo superficial, inhalación de vapores en espacios abiertos, inhalación de vapores en espacios cerrados (en un radio de 1.000 m) e, inhalación de partículas en espacios abiertos.

5.4 Identificación de potenciales receptores

Los eventuales receptores identificados a partir del análisis de la información disponible se diferenciaron según la distancia que los separa de la fuente. El personal de trabajo quedó incluido como receptor *on site*. Para la identificación de los receptores *off site* en el modelo conceptual del sitio preliminar, se adoptó un radio de influencia de 1.000 m, con la finalidad de incluir en la evaluación a los residentes de las viviendas situadas en las inmediaciones del predio industrial y a los trabajadores rurales.

6. Resultados y discusión

El suelo superficial en el sitio corresponde a una capa superficial de material consolidado sin protección frente a la ocurrencia de fenómenos erosivos tales como vientos y precipitaciones. Se identificaron numerosos puntos afectados por la presencia de Hg sobre la superficie de los suelos, tanto en el predio del establecimiento evaluado, como en su entorno. En algunos casos los valores de concentración obtenidos en los análisis efectuados sobre las muestras recolectadas, exhibieron valores muy superiores a los establecidos por las normas de aplicación para los diferentes usos: agrícola, residencial e industrial. La misma situación se pudo verificar para las muestras líquidas. Los resultados de las determinaciones analíticas realizadas en los laboratorios intervinientes con posterioridad a la fecha del evento, pusieron en evidencia que la situación del predio evaluado con respecto al cauce de agua que transcurre en dirección N-S, el entorno cercano y los potenciales receptores, no garantiza la contención del Hg existente en diferentes sectores de la propiedad. Los valores de concentración de Hg en agua, exhiben diferencias según la ubicación y el momento de obtención de las muestras. La ubicación física del colector cloacal situado hacia el Este del predio evaluado constituye una fuente de riesgo potencial. Aún cuando no se dispuso de información relacionada con la presencia de Hg en aire, las altas temperaturas pueden favorecer la evaporación del Hg existente en los suelos afectados. La evaluación realizada corresponde a una etapa preliminar de análisis de riesgos en la que se confirmó la presencia del contaminante de interés tanto en la superficie de los suelos, como en las muestras de agua y permitió identificar impactos en el entorno.

El análisis de riesgos es un estudio que se desarrolla en etapas, por lo tanto las tareas de delimitación y caracterización de los impactos ambientales, así como la determinación de las medidas correctivas necesarias, corresponden a las etapas siguientes. Con esa finalidad será necesario elaborar un programa de trabajo para avanzar en la ejecución de una investigación detallada para delimitar las afectaciones, caracterizarlas detalladamente y evaluarlas a partir de la realización de un Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR) que profundice la caracterización de los aspectos ambientales, sabiendo que existen puntos impactados que requieren la implementación de medidas correctivas.

Agradecimientos

Los autores del presente documento desean agradecer a la Ing. María Esther Moga y a la Ing. Daniela Fernández, del Área de Residuos Peligrosos de la Dirección de Protección Ambiental, por su inestimable colaboración en la consulta de la información existente y los recorridos del predio, durante la realización del trabajo.

Referencias Bibliográficas

[1] Duffus, John H. *Toxicología Ambiental*. 1° edición. 1983. Ediciones Omega S.A. Barcelona. pp: 173.

- [2] Arana-Zegarra, M. “El caso del derrame de Mercurio en Choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta”. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*. Vol. 26 (1). 2009. Perú. 113-118.
- [3] PNUMA Productos Químicos. Evaluación Mundial sobre el Mercurio. 2005. Suiza. pp: 303.
- [4] Davis, M., Masten, S. *Ingeniería y ciencias ambientales*. Cap. 5: Percepción, evaluación y administración de riesgos. 2005. McGraw-Hill. ISBN: 970-10-4978-0. Mexico.178-197.
- [5] ASTM International. ASTM: E 1739-95 (Reapproved 2002). Standard guide for risk-based corrective action applied al petroleum release. West Conshohocken. pp: 54.
- [6] ASTM International. ASTM: E 2081-00 (Reapproved 2004). Standard guide for risk-based corrective action. West Conshohocken. pp: 95.
- [7] ASTM International. ASTM: E 1903-97. 2002. Standard practice for environmental site assessment: Phase II. Environmental site assessment process. pp: 14.
- [8] Llamas, S., Mercante, I. *Residuos sólidos: un enfoque multidisciplinario*. Cap.11: Restauración de sitios contaminados con residuos. 2010. Dra. Liliana Márquez editora. México. ISBN: 978-950390254/7. En prensa.

Evolución química del agua subterránea en un relleno sanitario ubicado en el Valle de Mexicali, B. C.

Francisco Javier Gómez Puentes, Jaime Alonso Reyes L, Dina Ai Larios López

gomez_francisco@uabc.mx.

Resumen

Dentro de las fuentes potenciales de contaminación de aguas subterráneas se encuentra la disposición de los residuos en sitios que no reúnen **las características de operación para disminuir su impacto negativo. Uno de estos sitios no controlados es el** basurero Vado Carranza, localizado en el Valle de Mexicali, B. C. en el noroeste de México, el cual se encuentra en operación desde hace quince años y recibe diariamente alrededor de 30 Ton de residuos sólidos. Las características de operación de este sitio, entre ellas la disposición y quema a cielo abierto de los residuos, y la poca profundidad del acuífero de la zona, hacen que al suelo y al agua subterránea vulnerables a padecer procesos de contaminación. En esta investigación se llevó a cabo la modelación geoquímica mediante el programa PHREEQC de los datos geoquímicos colectados en pozos y suelos adyacentes a este basurero. El objetivo de estas simulaciones fue estimar la evolución geoquímica del agua subterránea en el área del basurero en base a la dirección de flujo y a los resultados físicos y químicos obtenidos a partir de la instalación de una red piezométrica. Los resultados obtenidos sugieren como procesos dominantes la evaporación de agua, el intercambio catiónico y la adsorción de metales provenientes del basurero.

Palabras Clave: *agua subterránea, modelación geoquímica, residuos sólidos urbanos*

1. Introducción

En la mayoría de los países en vías de desarrollo, los residuos sólidos continúan disponiéndose a cielo abierto sin la adopción de medidas para disminuir su impacto negativo al medio ambiente [1], [2]. Dentro de los principales problemas ambientales asociados a estos sitios se encuentran la contaminación de suelo, mantos freáticos, generación de biogás y de partículas aerotransportables así como la proliferación de fauna nociva [3]. Estos problemas ambientales se magnifican cuando se lleva a cabo la quema a cielo abierto, ya que esto provoca el aumento en la velocidad de degradación de los residuos y con ello la incorporación de contaminantes de diverso tipo en el ambiente. En el caso concreto del agua subterránea, la contaminación de este recurso provocada por lixiviados provenientes de basureros ha sido reconocida ampliamente por diferentes investigadores [4]. Por lo tanto, resulta indispensable el monitoreo continuo para evaluar la calidad de las aguas subterráneas en los sitios de disposición de residuos sólidos, especialmente cuando se trata de acuíferos someros. La realidad de la disposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el municipio de Mexicali, B. C. es la existencia tanto de basureros oficiales como clandestinos que en general no cumplen con las características de operación señaladas por la normatividad ambiental mexicana [5]. Uno de estos tiraderos es el denominado “Vado Carranza”, llamado así por su cercanía al sitio con el mismo nombre en el Valle de Mexicali, B. C.. En este relleno sanitario se llevó a cabo la evaluación de la calidad del agua subterránea así como su modelación química con la finalidad de caracterizar y estimar el comportamiento de los contaminantes y su movimiento.

2. Desarrollo

2.1 Área de Estudio

El basurero se localiza en el Valle de Mexicali, B. C. en el noroeste de México, tiene la característica de estar enclavado dentro del corredor ripario y a una distancia aproximada de 1 Km. del Río Colorado (Vado Carranza). Las coordenadas geográficas centrales del basurero Vado Carranza (VC) son: 32° 12' 12.9" Latitud Norte y 115° 09' 19.3" Longitud Oeste (Figura 1). El sitio

colinda al norte con varias parcelas de cultivo de riego por inundación siendo el asentamiento humano más cercano el poblado Oviedo Mota. El área de operación aproximada del basurero es 50,000 m² y en él se disponen alrededor de 30 toneladas de RSU dentro de los que destacan las fracciones de plásticos, residuos orgánicos y metal ferroso. En el sitio se lleva a cabo la separación y reciclaje solamente de metales ferrosos y aluminio mientras que el resto de los residuos se queman a cielo abierto.

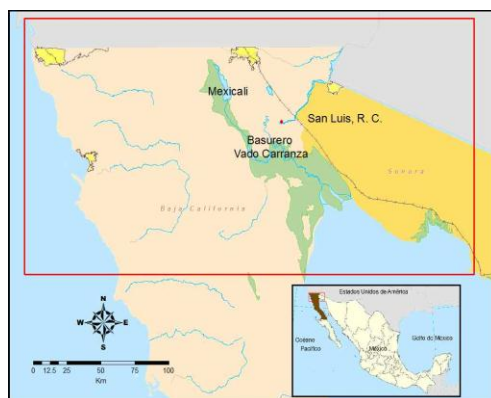


Figura 1. Localización del área de estudio

2.2 Sistema de Control

En marzo de 2008 se instaló una red piezométrica en la zona de estudio. Esta red está conformada por seis pozos (NP1-NP6) de 6 m de profundidad en promedio (Figura 2). La construcción de los piezómetros se realizó mediante tubería PVC de 2 in de diámetro y 6 m de largo. Los tubos fueron perforados en su mitad inferior para permitir el paso del agua subterránea. Esta red fue utilizada para determinar las propiedades hidráulicas del acuífero así como para obtener muestras de agua subterránea.

300

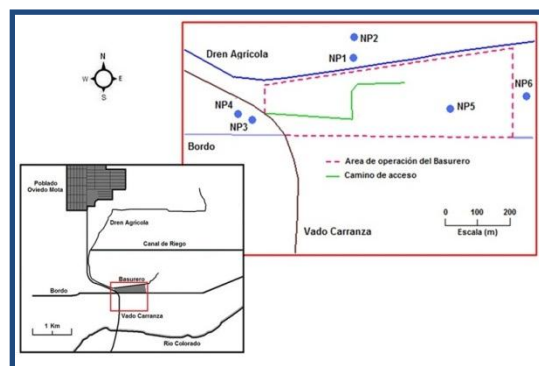


Figura 2. Ubicación de la red piezométrica en la zona de estudio

2.3 Muestreo de Agua Subterránea

Se llevaron a cabo seis campañas de muestreo bimestrales entre abril de 2008 y febrero de 2009. Las muestras fueron colectadas mediante un sistema de vacío tipo manual, purgando los pozos antes de tomar la muestra definitiva. Se tomaron dos muestras por pozo, para cuantificar aniones y cationes respectivamente. Para la cuantificación de metales y cationes, las muestras fueron acidificadas a un pH menor a 2 con ácido nítrico concentrado.

2.4 Análisis de Agua Subterránea

En campo se midió pH, sólidos disueltos, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y potencial redox, mientras que en laboratorio se cuantificaron iones mayoritarios [6] y metales pesados [7]. Los aniones fueron determinados mediante métodos químicos mientras que para la cuantificación de cationes y metales pesados se empleó la técnica de espectrometría de absorción atómica en base a la norma mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. El balance de cargas de las muestras de agua estuvo por debajo del 10% y en las curvas de calibración de cationes y metales pesados el coeficiente de correlación respectivo estuvo por encima de 0.995 para cada una de los elementos determinados (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn, Na, K, Ca y Mg).

2.5 Modelación Geoquímica del Agua Subterránea

En base a los resultados obtenidos se efectuó la modelación de la evolución química del agua subterránea mediante el programa PHREEQC [8]. Para ello se tomó en cuenta la dirección del flujo del agua subterránea (sureste-noroeste) obtenida a partir de la medición de los niveles estáticos en los pozos (Figura 2). El punto de partida fue un agua con la composición de NP6 que evoluciona químicamente en un agua con las características observadas en NP2. El primer paso consistió en realizar la especiación química de las muestras de agua subterránea. En esta etapa se obtuvieron las concentraciones de cada uno de los elementos de interés así como los índices de saturación de las fases minerales. Posteriormente se modeló el proceso evaporativo de agua partiendo de NP6 hasta igualar la concentración de Cl⁻ existentes en NP2. Lo anterior tomando en cuenta la capacidad conservativa del Cl⁻ [9]. La etapa final del modelado, consistió en igualar el resto de las especies químicas ensayando tres procesos simultáneos: equilibrio de fases, intercambio catiónico y adsorción de metales. En el equilibrio de fases se tomó como base la información proporcionada por la especiación química así como la paragénesis de minerales, es decir, se consideró cuales minerales es posible formar en ese ambiente de acuerdo a la literatura [10]. Para el equilibrio de CO_{2(g)} y O_{2(g)} se consideró un valor para log P_{CO2} = -2.3 (0.005 bar) y para log P_{O2} = -1.21 (0.06 bar) en base a la ley de Henry. El proceso de adsorción de metales pesados se ensayó mediante hidróxidos de hierro que constituyen una de las superficies adsorbentes más comunes y son empleados por el programa PHREEQC. En la etapa final se siguió un proceso iterativo hasta conseguir la mejor aproximación posible entre la solución modelada y NP2.

3. Resultados y Discusión

La tabla 1 presentan los resultados obtenidos para la modelación correspondiente a la primera campaña de muestreo, para el resto de las campañas los resultados obtenidos son esencialmente los mismos. En esta campaña se requirió modelar la evaporación de 32.4 moles de agua por kilogramo de solución. Este valor está por encima del promedio requerido en el resto de las campañas (26.7 ± 9.2 moles). Los resultados obtenidos concuerdan con el hecho de que en los meses de noviembre a abril el volumen de agua en el acuífero es mayor tal como lo evidencian los niveles estáticos. En cambio entre los meses de junio y octubre, que son los meses más cálidos en la zona los niveles estáticos del agua subterránea son más profundos y el contenido de sólidos disueltos es mayor. En los meses más cálidos se requirió evaporar menor cantidad de moles poniendo de manifiesto la importancia del proceso evaporativo en la zona. La campaña que requirió la menor cantidad de moles evaporados de agua para realizar la modelación en este modelo fue agosto de 2008 con 13.8 moles. La Tabla 1 también muestra que los procesos de intercambio iónico y de sorción entre los metales en solución y los sedimentos permite una reproducción de la química del agua del pozo NP2. Sin embargo, los resultados en la tabla 1 presentan las mismas discrepancias para el HCO₃⁻, el nitrato y el pH. Esto ocurre para todas las muestras modeladas en las diferentes fechas de muestreo. En primer lugar, la concentración de HCO₃⁻ de la solución modelada presenta un 89% de error respecto a la cantidad observada en NP2. Tanto la concentración de la solución modelada como la observada en NP2 sugieren que esta especie experimenta un proceso de evaporación, sin

embargo, el contenido de HCO_3^- en la solución modelada es 10 veces inferior lo que influye en el pH modelado ya que baja su valor a 6.8 comparado con 8.0 de la muestra real. Lo anterior puede deberse a variaciones en la presión parcial de CO_2 en el subsuelo. En estas simulaciones se mantuvo constante la presión parcial del CO_2 , lo que obligó a la solución a disminuir el contenido en moles de CO_2 en la solución al evaporarse el agua. Es posible que en la solución real la concentración de CO_2 se incremente al evaporarse el agua sin mantener el CO_2 constante, un proceso que no se ha modelado. La otra discrepancia la presenta NO_3^- , en este caso la solución modelada presenta una cantidad superior a la observada en NP2. El contenido de NO_3^- en la solución modelada y la real NP2 indican un proceso de concentración que puede atribuirse a la evaporación de agua, sin embargo la concentración de la solución modelada resultó ser mayor que la real, lo que sugiere que otras reacciones no modeladas pueden afectar el contenido de nitrato. Además, las campañas de octubre de 2008 y febrero de 2009, presentaron discrepancias en cuanto al contenido de SO_4^{2-} los errores para estos casos fueron 17.3 y 35.7%, respectivamente. En el caso de los metales pesados, en general se obtuvieron resultados satisfactorios para las seis campañas modeladas con los procesos de intercambio catiónico y de adsorción considerados. Los errores y desviación estándar promedio fueron los siguientes: Cu ($3.7 \pm 3.2\%$), Cd ($1.3 \pm 1.8\%$), Pb ($2.5 \pm 0.9\%$) y Zn ($0.6 \pm 0.7\%$).

Tabla 1. Resultados de la modelación química del agua subterránea de NP6 a NP2

1. Modelación del proceso evaporativo de agua en diez etapas						
Cantidad de agua evaporada: H ₂ O _(g) = 32.4 moles por kg de agua (26.7±9.2)						
Procesos Modelados simultáneamente	2. Equilibrio de fases			3. Intercambio catiónico		
	Fase	Índice de saturación	Moles	Intercambiador	moles	
	Calcita	0.0	0	KX	1.5x10 ⁻⁴ (1.24x10 ⁻⁴ ±6.51x10 ⁻⁵)	
	Dolomita	0.0	0	MgX ₂	6.0x10 ⁻³ (3.96x10 ⁻³ ±2.48x10 ⁻³)	
	CO ₂ (g)	-2.3	10	CdX ₂	1.4x10 ⁻⁴ (2.89x10 ⁻⁵ ±6.21x10 ⁻⁵)	
	O ₂ (g)	-1.2	10	ZnX ₂	4.1x10 ⁻⁶ (1.37x10 ⁻⁵ ±8.54x10 ⁻⁶)	
	SiO ₂	0.0	10	CuX ₂	1.1x10 ⁻² (7.3x10 ⁻³ ±7.43x10 ⁻³)	
	4. Adsorción de metales					
	Tipo de superficie	moles		Superficie	Área (m ² /g)	Masa (g)
Hfo_wOH		0.021		Hfo	600	0.01
5. Comparación química entre la solución modelada y NP2						
Parámetro	Solución inicial NP6	Solución modelada	Solución Final NP2	% Error		
HCO ₃ ⁻	1.00x10 ⁻⁰²	7.24x10 ⁻⁰⁴	9.43x10 ⁻⁰³	88.9 (64.8±13.8)		
Ca	2.33x10 ⁻⁰³	4.36x10 ⁻⁰⁴	4.01x10 ⁻⁰⁴	5.7 (4.1±3.7)		
Cd	2.50x10 ⁻⁰⁷	5.10x10 ⁻⁰⁷	5.44x10 ⁻⁰⁷	4.3 (1.3±1.8)		
Cl	9.90x10 ⁻⁰³	2.38x10 ⁻⁰²	2.38x10 ⁻⁰²	0.0 (0.11±0.10)		
Cu	7.57x10 ⁻⁰⁶	7.27x10 ⁻⁰⁶	7.58x10 ⁻⁰⁶	2.8 (3.7±4.4)		
K	1.28x10 ⁻⁰⁴	1.62x10 ⁻⁰⁴	1.62x10 ⁻⁰⁴	0.0 (2.8±3.6)		
Mg	5.98x10 ⁻⁰³	3.53x10 ⁻⁰³	3.69x10 ⁻⁰³	2.8 (4.9±3.7)		
NO ₃ ⁻	1.86x10 ⁻⁰⁴	4.47x10 ⁻⁰⁴	2.72x10 ⁻⁰⁴	35.3 (80.7±26.1)		
Na	2.36x10 ⁻⁰²	3.49x10 ⁻⁰²	3.47x10 ⁻⁰²	0.4 (3.1±3.6)		
SO ₄ ²⁻	1.00x10 ⁻⁰²	8.83x10 ⁻⁰³	8.56x10 ⁻⁰³	2.0 (18.8±19.7)		
Zn	5.83x10 ⁻⁰⁷	5.02x10 ⁻⁰⁷	5.06x10 ⁻⁰⁷	0.5 (0.6±0.7)		
pH	8.0	6.8	8.0	10.5 (2.8±3.9)		
- Los resultados corresponden a la primera campaña de muestreo (Abril, 2008). Entre paréntesis se presenta el resultado promedio y la desviación estándar para las seis campañas. - Concentración de las soluciones en moles/kg de H₂O.						

4. Conclusiones

La modelación química realizada pone de manifiesto la importancia del proceso evaporativo del agua en la zona de estudio variando de acuerdo a las condiciones climáticas de la región. El

intercambio catiónico y la adsorción tanto de cationes como metales pesados representan dos procesos naturales de atenuación de solutos presumiblemente provenientes del basurero tal como lo sugiere la dirección de flujo del agua subterránea y la mayor concentración de solutos en NP2. Las discrepancias en la modelación respecto a los aniones HCO_3^- , NO_3^- y SO_4^{2-} sugieren, la ocurrencia de otros procesos que no se han modelado en este trabajo. Finalmente, en relación con sitios de disposición final de residuos sólidos, la modelación geoquímica proporciona información valiosa que permite identificar los procesos involucrados en el transporte de contaminantes, el establecimiento de regulaciones ambientales futuras, entre otros. Sobre todo este trabajo pone de manifiesto el efecto de la evaporación en el incremento de concentración de contaminantes a lo largo del camino de aguas subterráneas someras en zonas desérticas. Por ello, es recomendable que en esta zona se realicen estudios complementarios enfocados principalmente a la caracterización de contaminantes orgánicos que puedan lixiviar o estar presentes en las emisiones resultantes de la quema de los residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Vasanthi, P., Kaliappan, S., Srinivasaraghavan, R., Impact of solid waste management on groundwater. *Environ Monit Assess.* Vol. 143. 2008. pp. 227-238.
- [2] Israde I., Buenrostro, O. y Carrillo-Chávez, A., Geological Characterization and Environmental Implications of the Placement of the Morelia Landfill, Michoacán, Central Mexico. *Journal of the Air and Waste Management Association.* 2005, ISSN 1047-3289.
- [3] Cruz Rieva, R., Orta Ledesma, M.T., Sánchez Gómez, J., Rojas Valencia, M. N., Cuantificación de efectos ambientales de un tiradero a cielo abierto, caso de estudio. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México, 27-31 de octubre 2002.
- [4] Christensen, T. H., Kjeldsen P., Bjerg, P.L., Jensen, D.L., Christensen, J.B., Baun, A., Albrechtsen, H. and Heron, G.. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry.* Vol. 16. 2001. pp. 659-718.
- [5] SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. *Diario Oficial de la Federación*, 20 de octubre de 2004, México. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-083-SEMAR-03-20-OCT-04.pdf>
- [6] Valdez-Carrillo, M., Impacto de los Residuos Provenientes de un Tiradero a Cielo Abierto Sobre la Calidad del Agua Subterránea. Tesis de Maestría. 2010. Universidad Autónoma de Baja California, México.
- [7] Gómez-Puentes, F. J., Evaluación de metales pesados en suelo y agua subterránea en un tiradero a cielo abierto en el Valle de Mexicali, B. C. Tesis de Maestría. 2010. Universidad Autónoma de Baja California, México.
- [8] Parkhurst D. L., Appelo, C.A.J., User's Guide to PHREEQC (Version 2) A computer program for speciation, batch reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. *Water Resources Investigations.* 1999. Report 99-4259. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.
- [9] Schoeller, H., Salinity of Groundwater, evapotranspiration and recharge of aquifers. In: Appelo C.A.J. & Postma O., *Geochemistry, groundwater and pollution.* 2nd Edition. 2005, CRC Press.
- [10] Pough, F.H., *Rocks and minerals*, 4th Edition, 1988, Houghton Mifflin Company, Boston, Massachusetts, USA. Pp. 317.

Modelo de flujo del agua subterránea en una zona impactada por un tiradero a cielo abierto de residuos sólidos

Guillermina Gómez Beltrán, Ángel León González, Guadalupe Macedo Miranda, Guillermo Pedro Morales Reyes, Thelma Beatriz Pavón Silva
tecnología.ambiental@utvtol.edu.mx

Resumen

El municipio de Mexicaltzingo, Estado de México, enfrenta actualmente la problemática de la disposición de los residuos sólidos derivados de las actividades de los habitantes de la zona. Esta disposición se ha venido realizando por más de 25 años en un sitio que no cuenta con las medidas de ingeniería necesarias para contener los lixiviados generados en el sitio. El presente trabajo se enfocó a la modelación del flujo de agua, tanto subsuperficial como profunda, utilizando el software Visual ModFlow ver 4.5. Para ello, se establecieron los datos geológicos, hidrogeológicos, hidráulicos, hídricos y ambientales para la malla de modelación, conformada por 2,280 celdas de 625 m² cada una. Se identificaron 11 estratos mediante un perfil estratigráfico de 24 m de profundidad, se estableció también una red de monitoreo de agua subterránea conformada por 6 piezómetros, con profundidades entre 6 y 25 m. Utilizando el Software ArcGis ver 9.3 se geoposicionó el vertedero, la red y el pozo principal de extracción de agua potable. Mediante el programa Surfer (ver 8) se obtuvo el Modelo de Elevación Digital para todos los estratos. Los resultados de la modelación del flujo a 15 años, muestran que dicho flujo se direcciona del SO al NE del tiradero, y en su trayectoria, se desvía ligeramente hacia el pozo de extracción de agua potable de la población, constituyendo un riesgo para el transporte de contaminantes contenidos en los lixiviados generados en el tiradero de basura.

304

Palabras Clave: *acuífero, vertedero, piezómetros, modelación, lixiviados*

1. Introducción

La presencia de sitios no controlados de disposición final de residuos sólidos (RS) en México, ha despertado desde hace ya algunos años la preocupación de los expertos, por el riesgo de contaminación para el agua subterránea que representan los lixiviados generados en estos tiraderos. Los flujos de agua subterránea juegan un importante papel como medio de transporte para dichos lixiviados, tanto de manera vertical como horizontal, y por lo tanto, son importantes para predecir los riesgos asociados a este flujo [1]. Las trayectorias del flujo de agua presentes en un acuífero se ven afectadas por la distribución espacial de las propiedades hidráulicas y las discontinuidades estructurales presentes en los materiales geológicos. Por tanto, para poder realizar evaluaciones confiables del recurso hídrico, es necesario tomar en cuenta estas heterogeneidades del medio geológico, ya que pueden separar sistemas acuíferos que tienen un comportamiento diferente.

2. Desarrollo

Para llevar a cabo el presente proyecto, se realizó un estudio detallado del tiradero de residuos, se posicionó en el Sistema de Información Geográfica ArcGis la poligonal del sitio así como los piezómetros que constituyen la red de monitoreo de agua subterránea y en general, los rasgos más relevantes desde el punto de vista ambiental. La caracterización del perfil estratigráfico de la zona

se obtuvo a partir de una perforación de 24 m en el sitio marcado como MPZ7. Las muestras del material sólidos se identificaron de acuerdo al Sistema de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) [2].

Para el presente estudio, se utilizó una malla de modelación discretizada espacialmente en 60 filas, 40 columnas y 11 capas, 120 celdas corresponden a celdas de potencial constante y 2,280 a celdas de potencial variable, estas últimas están asociadas a una ecuación, y el sistema de ecuaciones resultante se resolvió simultáneamente para cada paso de tiempo (15 años) utilizando el software Visual Modflow [3]. Las condiciones de frontera se encuentran limitadas en la parte norte por el río (intermitente), en la parte oeste por el vertedero, en la parte sureste por el pozo de agua potable y al sur por el panteón.

Con los datos de la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (clave 76675) se calculó el balance hídrico de la zona, asignando los valores de evapotranspiración, escorrentía, precipitación e infiltración eficaz [4], correspondientes a cada una de las celdas que conforman la malla de modelación. Se tomó en cuenta para los cálculos el uso de suelo, el tipo de cultivo, la superficie de las celdas y los doce meses del año, durante un periodo de 15 años. La conductividad hidráulica se calculó por el método de USBR [5], estimándose los valores de K_x , K_y y K_z . Por medio de Software Surfer ver 8 se elaboró el Modelo de Elevación Digital (MED) para las 11 capas que conforman la zona de estudio. Para ello se utilizó el método de interpolación Kriging. Todos estos datos sirvieron para alimentar la modelación del flujo de agua subterránea desarrollada en el entorno de VISUAL MODFLOW 2010.1.

3. Resultados y Análisis de resultados

3.1 Zona de estudio

El sitio de disposición de residuos sólidos del municipio de Mexicaltzingo, Estado de México, no cuenta con las características de un relleno sanitario como se establece en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003[6]. Esto representa un problema importante para la comunidad y para el gobierno, ya que éste no ha tomado medidas adecuadas para la clausura o remediación del sitio, lo cual potencialmente puede ocasionar la contaminación de suelo, agua y aire. Dicho tiradero comenzó a ser utilizado como tal a partir de 1985 y era antiguamente una mina de arena. En este sitio se han depositado, en varias etapas, aproximadamente 185,600 m³ de residuos, cubriendo un área de 23,200 m². Actualmente el vertedero volvió a entrar en operación a pesar de haber sido clausurado en el 2008. En esta nueva fase de operación, se está utilizando un área aproximada de 25,840 m², proyectando rellenar el socavón hasta el mismo nivel de la primera etapa (8 m aproximadamente), lo que le da una vida útil al socavón de 8.22 años tomando en cuenta una población de 16,498 habitantes, una generación *per cápita* de residuos de 0.731 kg hab⁻¹ día⁻¹ y un peso volumétrico de 175 kg por m³ [7]. A menos de un km de distancia, se ubican dos pozos de extracción de agua potable, la cual es extraída a una profundidad de 17 m. Estos pozos funcionan 16 horas al día todo el año y son operados directamente por el municipio. En este momento, el vertedero presenta una laguna de lixiviados, donde confluyen tanto los lixiviados como los aportes de agua subterránea, en una depresión en la cual se acumula y fluctúa el nivel de la laguna desde los 0.30 m hasta los 5.6 m, al paso de temporada de lluvias a estiaje y que se presume, puede encontrarse actualmente infiltrando al acuífero de la zona. En este sitio, se perforaron 6 piezómetros y tres pozos de venteo (ver Figura 1), los cuales constituyen la red de monitoreo.

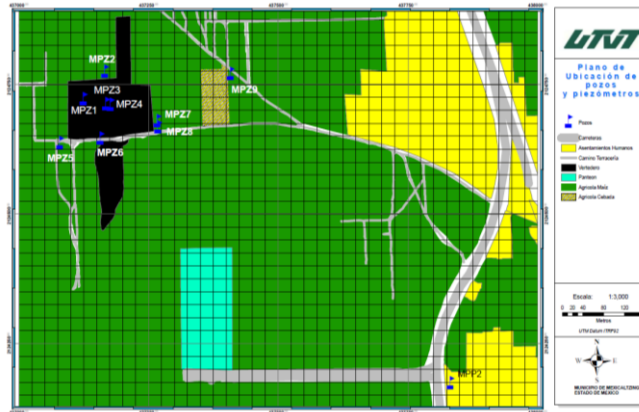


Figura 1. Localización del tiradero de residuos en el municipio de Mexicaltzingo, Estado de México.

3.2 Perfil estratigráfico

En el perfil (ver Figura 2) pudo observarse el predominio de estratos de arena bien graduada con poco o nada de finos (capas 1, 3, 5, 7, 9 y 11) lo que potencialmente permite la infiltración de los lixiviados generados en el vertedero. Se encontraron estratos alternados de arenas limosas, (capas 2, 4, 6 y 8) lo cual pudiera constituirse como una barrera al paso de contaminantes. Solo se encontró una capa formada por gravas (capa10). Este perfil es característico de la región, que está conformado por una secuencia litológica constituida por varios tipos de rocas volcánicas del Terciario, fundamentalmente basaltos y andesita. Se identifican además sedimentos lacustres y aluviales que se encuentran intercalados con materiales clásticos de origen volcánico. A estos depósitos se les asigna una edad correspondiente al Plioceno Tardío – Cuaternario. Se considera que este sistema está formado por varios niveles acuíferos superpuestos que constituyen un acuífero multicapa, pero la existencia de cierta continuidad hidráulica permiten considerarle como un sistema de flujo único [8]. En este perfil también se evidenció que la estratificación de la zona es prácticamente horizontal, los materiales puzolánicos de la región son explotados para extraer materiales para la construcción y algunas minas, que son abandonadas, se utilizan para el depósito de residuos sólidos, a falta de políticas que permitan la construcción y operación de rellenos sanitarios, como en el caso del municipio de Mexicaltzingo, Estado de México. Con estas capas, se obtuvo el modelo de elevación digital por medio de Surfer 8 para cada una de las celdas de los once estratos de la zona de estudio, mismos que se importaron a VISUAL MODFLOW.

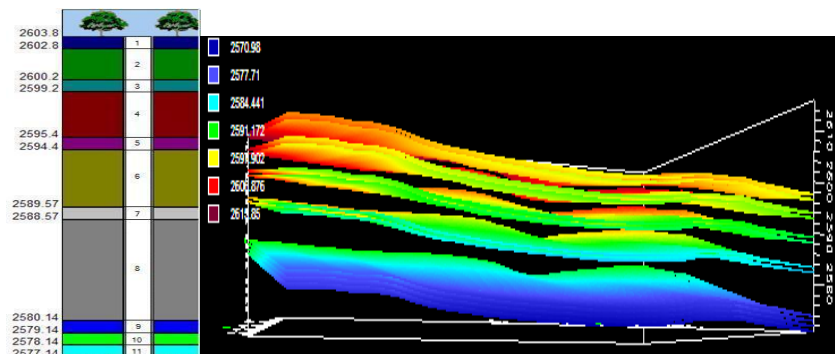


Figura 2. Estratos geológicos y MED de la Zona de Estudio

3.3 Balance hídrico

Para el año 2009, las máximas precipitaciones se ubicaron en el mes de septiembre con 238.2 mm pero existieron deficiencias de humedad en otros meses como enero con 19.4 mm y febrero con 3.4 mm. El 90% del área que abarca la malla de modelación donde se ubica el sitio de estudio está

dedicada a la agricultura de temporal, ya que el régimen de lluvias propicia los ciclos agrícolas bien diferenciados. La evapotranspiración fue calculada en base al tipo de cultivo presente en las parcelas y a los diferentes usos, se observa que cerca del 45% de la lluvia es evapotranspirada y mientras que la escorrentía oscila en un 39%. Por lo tanto, a pesar de ser esta zona, un área de recarga importante, solo se infiltra un porcentaje pequeño de la precipitación (ver Tabla 1).

Tabla 1. Balance hídrico de la zona de estudio. Datos calculados para el año 2009

Evapotranspiración	447 mm	22.3%
Escorrentía	388 mm	19.4%
Precipitación	1001 mm	50.0%
Infiltración eficaz	166 mm	8.3%

3.4 Conductividad hidráulica

Los valores de la conductividad hidráulica obtenidas para las 11 capas se muestran en la Tabla 4, y presenta valores diferenciados de acuerdo a la dirección en el espacio: K_x y K_y representan la conductividad horizontal y tienen el mismo valor numérico, mientras que K_z representa la conductividad en sentido vertical. Puede observarse que estos valores son notablemente más bajos en las capas correspondientes a los estratos de arenas limosas (capas 2, 4, 6 y 8), lo que presumiblemente podría constituir una barrera de protección a la migración vertical de los contaminantes provenientes del vertedero.

Tabla 2. Valores de la conductividad hidráulica en las capas geológicas de la zona de estudio ($m\ día^{-1}$)

Capa	Espesor	K_x	K_y	K_z
1	0.00-3.00	5.5×10^{-3}	5.5×10^{-3}	5.5×10^{-6}
2	3.00-3.60	3.9×10^{-4}	3.9×10^{-4}	3.9×10^{-7}
3	3.60-8.12	1.9×10^{-3}	1.9×10^{-3}	1.9×10^{-6}
4	8.12-8.40	4.8×10^{-4}	4.8×10^{-4}	4.8×10^{-7}
5	8.40-14.09	3.3×10^{-3}	3.3×10^{-3}	3.3×10^{-6}
6	14.09-14.23	3.7×10^{-4}	3.7×10^{-4}	3.6×10^{-7}
7	14.23-24.00	7.1×10^{-3}	7.1×10^{-3}	7.1×10^{-6}
8	24.00-24.60	2.3×10^{-4}	2.3×10^{-4}	2.3×10^{-7}
9	24.60-25.20	7.1×10^{-3}	7.1×10^{-3}	7.1×10^{-6}
10	25.20-25.66	5.1×10^{-2}	5.1×10^{-2}	5.0×10^{-5}
11	25.66-27.60	5.9×10^{-3}	5.9×10^{-3}	5.8×10^{-6}

3.6 Modelación de flujo de agua subterránea

Los resultados de la modelación, desarrollada en el entorno de VISUAL MODFLOW muestran un flujo restringido en casi todas las capas a excepción de la 9 y 10 donde la conductividad hidráulica presenta valores más altos. La circulación del agua, una vez que ha atravesado la zona del vertedero, toma una dirección hacia el oriente, siguiendo el curso del río intermitente, sin embargo, en un radio aproximado de 350 m al pozo de extracción de agua potable, este flujo se desvía ligeramente hacia dicho pozo en dirección sur oriente, producto del bombeo de $200,000\ m^3$ de agua por año (ver Figura 3).

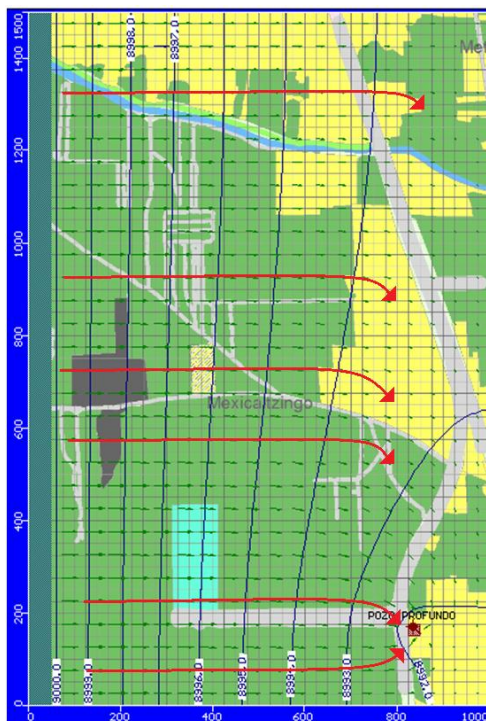


Figura 3. Estrato 10, flujo del agua subterránea en dirección sur oriente al vertedero de residuos

4. Conclusiones y recomendaciones

Los contaminantes contenidos en los lixiviados generados en el vertedero de residuos, potencialmente pueden ser conducidos por los estratos con mayor conductividad hidráulica en dirección al pozo de abastecimiento de agua potable del municipio de Mexicaltzingo, por lo cual es recomendable realizar una modelación del transporte de contaminantes y prevenir con ello dicha situación.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT, clave FECYT-2009-C02-01) por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo del proyecto.

Referencias Bibliográficas

- [1] Morales Reyes, G.P. "Evaluación de los mecanismos preferenciales de atenuación natural de una pluma de lixiviado generada en el vertedero municipal de Metepec, Estado de México". 2008. Facultad de Ingeniería. UAEMéx. Tesis de Doctorado.
- [2] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. Norma Mexicana NMX-C-416-ONNCCE-2003. "Industria de la Construcción-Muestreo de estructuras térreas y métodos de prueba." Diario Oficial de la Federación. Publicado el 10 de octubre de 2003.
- [3] Fatta, D. C., P. Naoum, P. Karlis y M. Loizidou. "Numerical simulation of flow and contaminant migration at a municipal landfill". *Journal of Environmental Hydrology*. Vol. 8. 2000. pp. 1-11.
- [4] G. Allen, R. S. Pereira, L. Raes, D. Smith, M. "Evapotranspiración del cultivo". Editorial F.A.O. FIAT PANIS. pp. 298

- [5] U.S. Department of TheInterior. “*U.S, Bureau of Reclamation. Ground Water Manual*”. U.S. Washington, DC. 1997
- [6] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales”. Diario Oficial de la Federación. 2003.
- [7] Valencia, M.G. “Caracterización de R.S.U. generados en la población de Mexicaltzingo, Estado de México” Memoria T.S.U. División de Tecnología Ambiental. 2009.
- [8] Esteller, M.G., Quentin, E. Díaz Delgado, C. “Uso de sistemas de información geográfica (SIG) para la determinación de parámetros utilizados en la construcción de mapas de vulnerabilidad de acuíferos”. *Revista Latino Americana de Hidrogeología*. Vol. 2(1) pp 17-30

Modelo experimental de difusión de biogás en raíces vegetales

Eduardo Baltierra-Trejo,* Liliana Márquez-Benavides, Juan Manuel Sánchez-Yáñez

*lmarquez@zeus.umich.mx

Resumen

La digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en los rellenos sanitarios tiene como consecuencia la emisión de biogás constituido por CH_4 45-60% y CO_2 40-55%, lo cual podría tener un impacto nocivo sobre el crecimiento de las plantas que ahí se encuentran y en sitios cercanos debido a la migración lateral de los gases en el subsuelo. Al no haber una metodología para evaluar, ni información suficiente sobre el daño que causa el biogás en el crecimiento vegetal es necesario diseñar un modelo que simule su difusión directa sobre el sistema radical vegetal para determinar si existe un efecto desfavorable en función de la concentración en el sitio de exposición. El objetivo de esta investigación fue diseñar un modelo experimental “*ex situ*” para analizar el efecto del biogás sobre las raíces de plántulas de calabaza (*Cucurbita pepo*). Para ello se construyó un reactor de digestión anaerobio de sustrato sólido que simuló la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, acoplado a un sistema para medir el volumen y contenido de CH_4 en el biogás y a la unidad que difundió el biogás en la raíz de calabaza. Con el modelo se logró la generación de biogás de manera continua con una composición de gases similar al generado en los rellenos sanitarios, el cual al difundir en el suelo provocó inhibición de la germinación y un menor crecimiento de plántulas de calabaza de 15 y 30 días comparadas con el control.

Palabras Clave: *biogás, crecimiento, plantas, relleno sanitario*

310

1. Introducción

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son comúnmente eliminados en los rellenos sanitarios (RESA) donde el principal componente es la fracción orgánica (FO) con un 40-65%, la que producto de la digestión anaerobia (DA) genera una elevada concentración de gases y lixiviados que representan un riesgo de contaminación al ambiente [1].

A la mezcla de gases generados se le denomina biogás, compuesto principalmente por metano (CH_4) 45-60% y dióxido de carbono (CO_2) 40-55%; además de cantidades menores de otros gases inorgánicos como: nitrógeno (N_2) 2-5%, sulfuro de hidrógeno (H_2S) 0-1%, amoníaco (NH_3) 0.1-1%, hidrógeno (H_2) 0-0.2 y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV) 0.01-0.6% como: etileno, cloruro de vinilo, benceno, diclorometano, cloroformo [1]-[3]. La emisión no se limita a la superficie del RESA, ocurre en los sitios adjuntos por un desplazamiento denominado “migración lateral de biogás” [1], la cual depende de la porosidad del suelo adyacente al RESA [4]. Se ha registrado concentración de CH_4 y CO_2 superior del 40% a 100 m de distancia del borde del RESA, mientras que del 5% de CH_4 a 300 m [1].

La mezcla de gases en condición natural se encuentran en el aire del suelo son principalmente: 78.5-80% de N_2 , 10-20% de O_2 y 0.1-3% de CO_2 [5]. Un incremento de los niveles de CO_2 disminuye la actividad respiratoria microbiana y de las raíces, concentración del 5% ejerce inhibición en la germinación, un nivel menor al 6.5% estimula el crecimiento de la raíz, pero superiores lo inhiben y del 15-20% son letales para la mayoría de las plantas [5], [3].

Son escasas las investigaciones sobre si existe inhibición o estimulación del crecimiento de plantas cuyas raíces fueron expuestas al flujo de biogás producto de la DA de la FO de los RSU, las cuales se han realizado directamente en RESA. Wong *et al.*, en 1992 investigaron los factores que afectan la diversidad y distribución de la vegetación en un RESA en sitios de baja emisión de biogás de hasta un 10% de CH_4 comparados con los de alta emisión de 41%. Los resultados indicaron que sitios con baja emisión tuvieron mayor cobertura vegetal con un promedio de seis herbáceas con una cobertura de 68.5% y doce arbóreas con 100%, mientras que en sitios con alta emisión hubo 6 herbáceas que cubrieron 51.2% y tres arbóreas con 7.6%, concluyeron que existe una relación entre la concentración de biogás y la cobertura vegetal de herbáceas y arbóreas [6].

Chan *et al.*, en 1991 estudiaron el impacto del biogás en las raíces de 10 especies de plantas leñosas subtropicales. Los resultados señalaron que en sitios con baja emisión en siete especies no hubo mortalidad, en tanto en áreas con alta emisión, hubo menor crecimiento de la parte aérea y disminución de la cobertura con mortalidad de plántulas de entre el 10 y 50%. En los sitios con alta emisión de biogás se determinó la composición máxima de gases: CH_4 en 41%, CO_2 en 39% y O_2 en 16.3%, mientras que en los de baja: CH_4 del 10%, CO_2 del 4.7% y O_2 del 20.3%. Concluyeron que en los sitios de mayor concentración de biogás hubo una mayor inhibición del crecimiento de las plantas leñosas subtropicales, aunque algunas especies fueron tolerantes [3].

Exponer las raíces de plántulas de calabaza a un flujo de biogás producto de la DA tendrá un efecto desfavorable en su crecimiento que dependerá de la concentración en el sitio de exposición. El objetivo de este trabajo fue diseñar un modelo experimental “*ex situ*” para analizar el efecto de biogás en el crecimiento de calabaza.

2. Materiales y métodos

Para establecer el modelo de análisis “*ex situ*” que permita probar el efecto del biogás en las raíces de vegetales se construyeron reactores de digestión anaerobia de sustrato sólido (RDASS) para la producción de biogás que simuló al generado en un RESA. Se diseñó un sistema de medición de biogás (SMB) para hacer el análisis cualitativo y cuantitativo del biogás generado. Se probó si la acidez o la alcalinidad de la solución de salmuera del SMB influyó en la composición del biogás. Por último se determinó si en una mezcla de suelo de textura media a capacidad de campo en el que creció la calabaza fluyó el biogás generado por los RDASS.

2.1 Operación de reactor de digestión anaerobia de sustrato sólido

Para la producción artificial de biogás se construyeron RDASS, cada uno consta de un frasco de vidrio de 2 L con una mezcla de 350 g de excreta fresca de vaca, 350 mL de la fase acuosa de lodos biológicos, 350 g de suelo con materia orgánica, 3 g de carbonato de sodio (NaCO_3) y 3 g de sacarosa $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$. Para la alimentar los RDASS se preparó una mezcla 60% residuos alimenticios y 40% papel, enriquecida con lodos biológicos en proporción 59:1, se deshidrataron en horno a $105^\circ\text{C}/24\text{ h}$ y se trituraron en molino con criba de 4 mm. Los RDASS se colocaron en cámaras de incubación a 35°C y fueron alimentados cada 5 días con 21 g de la mezcla de residuos orgánicos y 39 mL de H_2O ; se determinó sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV) y pH de los RDASS a lo largo del experimento.

2.2 Estandarización de la medición de biogás

El SMB estuvo formado por dos frascos de vidrio de 4 L graduados que contuvieron 3.5 L de solución salina (200 g/L). El volumen de biogás generado por el RDASS se determinó por desplazamiento de la solución salina entre los frascos, los cuales contaron con un mecanismo de llaves que permitió cambiar la dirección del flujo una vez que se desplazó el volumen total, para dirigirlo posteriormente a la unidad de crecimiento vegetal o UCV (Figura 1). Se determinó el

volumen y composición del biogás en un periodo de 45 días y si la acidez en pH 4 o alcalinidad en pH 10 de la solución de salmuera influye en la concentración del CH_4 . Para determinar el contenido de CH_4 se adaptaron sitios de muestreo en el RDASS y después de su paso por el SMB y se analizó en el cromatógrafo de gases Varian CP-3800 que funcionó con un detector FID y una columna empacada HAY-ESEP-Q-80-100-MESH, las temperaturas de operación del inyector, el detector y la columna son de 200, 210 y 90°C.

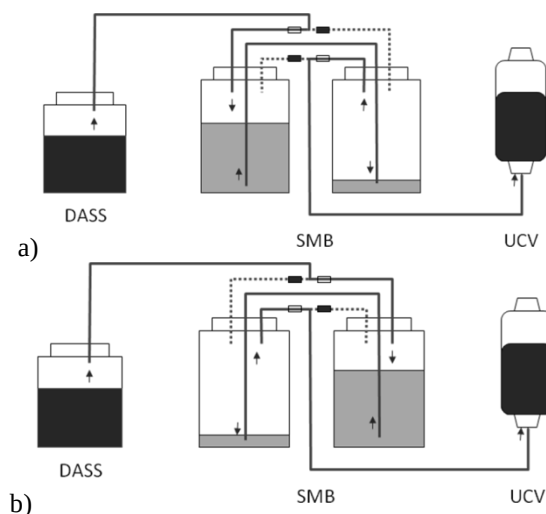


Figura 1. Esquemas del funcionamiento del sistema de medición de biogás, con sistema de llaves para cambiar la dirección del flujo, a) Flujo hacia la derecha en el SMB b) Flujo hacia la izquierda

2.3 Difusión de biogás en la raíz vegetal

Para la difusión del biogás en la raíz de calabaza se construyó la UCV con un cilindro de PET de 40 cm de altura x 11 cm de diámetro. En su interior contuvo 2 kg de la mezcla de suelo: arena 50%, arcilla 20%, y limo 30%. Se determinó si el biogás que difunde en el suelo de la UCV mantiene una composición similar a la generada en el RDASS y si en suelo a capacidad de campo es menor el flujo de biogás comparado con suelo seco.

Se sembraron 4 semillas por UCV previamente esterilizadas con solución hipoclorito de sodio 5 % por 5 min y enjuagadas con agua destilada estéril. Las plántulas crecieron bajo ciclo de iluminación 16/8 h luz/oscuridad con lámpara fluorescente a 8600 Lux y a 25° C. Se regó con solución nutritiva (NH_4NO_3 10, K_2HPO_4 2, KH_2PO_4 2.5, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1, NaCl 0.1, CaCl_2 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.001; H_3BO_3 0.00286, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.00022, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.0001, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.0001 g/L <J.T.Baker> pH 6.6). Se registró el crecimiento de las plántulas de calabaza durante la etapa temprana de su ciclo de vida, las variables-respuesta fueron: porcentaje de germinación, peso fresco y seco de la parte radical y foliar de plantas cosechadas a los 5, 15 y 30 días posteriores a la germinación.

3. Resultados

Fueron probados los 3 componentes del sistema descritos en el diseño experimental: RDASS, SMB y UCV para establecer las condiciones que permitieron estandarizar el modelo que prueba si el biogás producto de la DA tiene un efecto en el crecimiento vegetal.

El volumen de biogás producido por los RDASS fue constante en el periodo entre cada alimentación a partir del día 15 de seguimiento con una composición de 55 a 75% de CH_4 con un rango de 782 a 3200 mL/día en el periodo entre cada alimentación (Figura 2).

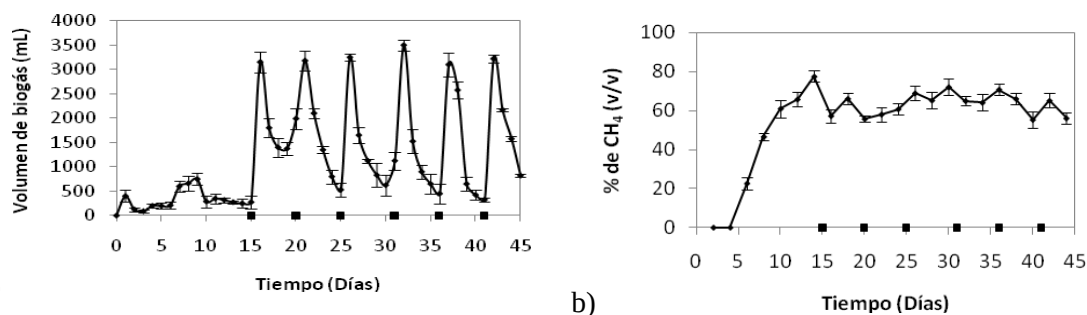


Figura 2. Dinámicas de los RDASS en un periodo de 45 días incubados a) Volumen de biogás, b) Contenido de CH₄

Se probó si la solución de salmuera que se usó en el SMB bajo condición ácida a pH 4 o alcalina a pH 10 influyó sobre el contenido de CH₄ en el biogás generado por el RDASS. La salmuera alcalina mostró aumento en la concentración de CH₄ en función del volumen de salmuera desplazada tras fluir por el SMB., inicialmente fue 8% mayor pero a partir del octavo día fue similar en los puntos de muestreo colocados antes y después del SMB. En el día 15 se midió el pH de las soluciones de salmuera la originalmente ácida subió a 4.8 y la alcalina disminuyó a 5.6 (Figura 3).

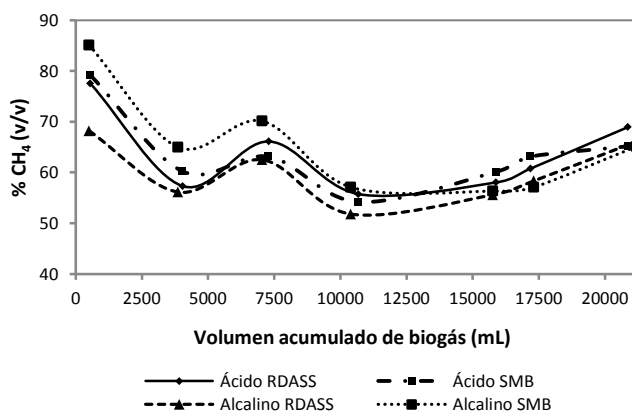


Figura 3. Contenido de CH₄ en los RDASS, los SMB ácidos y los SMB alcalinos en función del volumen acumulado de biogás

Se analizó si el biogás generado en el RDASS fluyó a lo largo del sistema y mantuvo su composición luego de pasar por el sustrato de la UCV. En suelo seco no hubo disminución significativa en la concentración de CH₄ la cual fue de 63% en el RDASS y de 58% en la UCV, en suelo a capacidad de campo fue de 46% en la UCV (Figura 4).

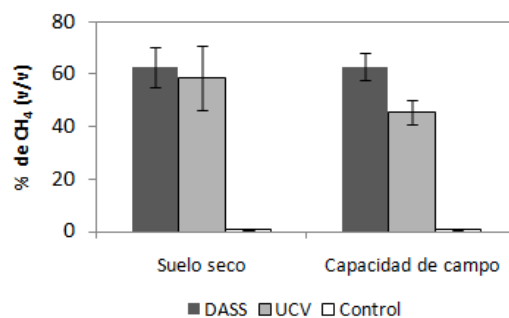


Figura 4. Determinación de CH₄ en puntos clave. Variables: suelo seco y a capacidad de campo. Sitios de muestreo: Reactor de digestión anaerobia de sustrato sólido (RDASS), unidad de crecimiento vegetal (UCV)

El biogás causó una inhibición de la germinación en un 55%, un menor crecimiento en plántulas de calabaza de 15 días el cual fue del 40% comparado con el control, mientras que en plantas de 30 días fue del 65% con respecto al control. El efecto del biogás fue mayor al incrementar el contenido de biogás en la UCV.

4. Discusión

El volumen de biogás producido por los RDASS fue constante en el periodo entre cada alimentación y con una composición dentro del rango metanogénico del 55 a 75% de CH_4 [1]. Los RDASS se pueden mantener en funcionamiento mientras sean alimentados continuamente y mantengan valores mayores de pH a 8 y de STV a 25%. La disminución de la alcalinidad en los RDASS, así como del contenido de STV y CH_4 son indicativos de que los reactores están en proceso de decadencia [7].

La solución de salmuera usada en el SMB tuvo comportamiento diferente en condiciones ácidas y alcalinas. De acuerdo con [8] la alcalinidad de una solución salina favorece la disolución del CO_2 en H_2O formando HCO_3^- , pero en el modelo experimental se observó que esta propiedad fue limitada debido a la disminución del pH de la solución de salmuera. Este conocimiento podría ser útil si desea probar únicamente el efecto del CH_4 producto de la DA de la FO de los RSU, sin embargo tendría que diseñarse un sistema que permita mantener las condiciones de pH favorables para la disolución del CO_2 a largo plazo.

El suelo fue una barrera física para el biogás generado en el RDASS por lo que al cambiar las condiciones de textura o contenido de humedad del suelo podría tenerse un efecto distinto en el crecimiento vegetal.

Como los resultados preliminares indican existe un efecto considerable en el crecimiento de plántulas de calabaza, el cual provocó una alta inhibición de la germinación, mientras que en plántulas de 15 y 30 días un crecimiento raquítrico, lo cual confirma los resultados observados en campo por otros autores.

5. Conclusiones

En el modelo experimental se logró una producción constante de biogás de característica similar al generado RESA por lo que fue factible probar su efecto en el crecimiento de plántulas de calabaza. La estandarización de la técnica permitirá además probar el efecto del biogás en las poblaciones microbianas del suelo y determinar si existen adaptaciones morfológicas y fisiológicas en plantas tolerantes al biogás.

Agradecimientos

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo gracias al financiamiento otorgado al Proyecto 5.15 y 2.7 de la CIC-UMSNH y a la beca 239180 CONACyT.

Referencias Bibliográficas

- [1] Tchobanoglous G, Kreith, F. 2005. *Handbook of Solid Wasted Management*. 2ª ed, McGraw-Hill. New York. U.S.A. Cap.14.
- [2] Flower F.B., Leone I.A., Gilman E.F., Arthur J.J. A study of vegetation problems associated with refuse landfills. *EPA U.S.A.* Vol. 600(94). 1978. pp. 78-94.
- [3] Chan G.Y.S., Wong M.H., Whitton B.A. Effects of landfill gas on subtropical woody plants. *Environmental Management*. Vol. 15(3). 1991. pp. 411–31.

- [4] Rivera de la Torre G., Sarmiento Bleicher B.C., 1994. *Programa de pruebas de campo para la utilización de biogás del Relleno Sanitario Prados de la montaña*.
- [5] Fernández, I.J., Kosian P.A. 1987. Soil air carbon dioxide concentrations in a New England spruce-fir forest. *Soil Science Society of American Journal*. Vol. 51. 1987. pp. 261-63.
- [6] Wong M. H., Cheung K. C., Lan C. Y. Factors related to the diversity and distribution of soil fauna on Gin Drinkers' Bay landfill, Hong Kong. *Waste Management & Research*. Vol. 10(5). 1992. pp. 423-34.
- [7] Gerardi. M. H. 2003. *The microbiology of anaerobic digesters. Wastewater microbiology series*. Wiley-Interscience. U.S.A. pp: 233-245.
- [8] Muñoz J.D., Camargo D.A., Gallego D. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en un Proceso de absorción del CO₂ de un biogás en una solución alcalina. *Dyna*. Vol. 76(159). 2009. pp. 135-144.

Perfil estratigráfico del suelo de dos sitios de disposición final de residuos sólidos y su influencia en la contaminación de suelo y agua subterránea

Ma. Guadalupe Macedo-Miranda, Guillermina Gómez-Beltrán, Beatriz Barrientos-Becerra, María del Consuelo Hernández Berriel, Guillermo Pedro Morales Reyes,
Blanca C. Ovando Sánchez
macedomiranda@yahoo.com.

Resumen

En el presente trabajo se determinaron los perfiles estratigráficos de dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU), localizados en los Municipios de Mexicaltzingo y Tenango del Valle, en el Estado de México. Para ello, en la zona de estudio de San Mateo Mexicaltzingo, se realizó una perforación en suelo a una profundidad de 30 m obteniéndose fracciones del mismo cada 60 cm. En la localidad de Tenango del Valle, la perforación fue de solo 7.5 m, ya que no fue posible un avance mayor debido a la presencia de material rocoso. A las muestras se les determinó la conductividad hidráulica del suelo, mediante la aplicación y comparación de 6 distintos modelos. En ambos sitios se evaluó también, el Índice de vulnerabilidad aplicando la metodología AVI, tomándose en cuenta el espesor de cada uno de los estratos que conforman la zona no saturada así como la conductividad hidráulica correspondiente. Para el sitio de Mexicaltzingo, se encontró un suelo compuesto en su mayoría por arenas correspondientes a un grupo textural grueso, lo cual favorece un flujo hidrodinámico de trayectoria vertical. Para el sitio de Tenango del Valle se encontró un suelo arenoso y arenoso franco. En relación a las conductividades hidráulicas, el valor calculado para el sitio de Tenango del Valle fue mayor que el de Mexicaltzingo, alcanzando valores superiores a los 10 m/día. Estos resultados son indicio de una alta migración al subsuelo de los lixiviados generados por los residuos y un riesgo potencial de contaminación de mantos freáticos en ambos sitios.

Palabras clave: *suelo, conductividad hidráulica, lixiviados, vertederos*

Introducción

La atención deficiente de los sistemas operadores municipales encargados del manejo de los residuos sólidos (basura) y los efectos de deterioro ambiental que produce su disposición inadecuada han ocasionado que en México existan tiraderos a cielo abierto [1].

La producción y migración de lixiviados en los rellenos se encuentran entre las mayores preocupaciones para los operadores de éstos sitios. Los lixiviados se definen como el líquido generado por la acción del agua (de lluvia o subterránea) y líquidos presentes en los mismos residuos, los cuales lixivian a través del relleno [2]. La producción de estos lixiviados va a depender de varios factores químicos, físicos y bioquímicos y la complejidad química de ellos refleja la extrema heterogeneidad de los residuos depositados [3]. La composición de los residuos generados por una ciudad dependen de la cultura, los patrones de consumo, temporada, condiciones geográficas, programas de reciclaje y programas de recolección [4]. Adicional a esto, mientras la celda de residuos envejece, las propiedades químicas de los lixiviados cambia. Otros factores que afectan la composición de los residuos son: entradas de agua (humedad), condiciones de la superficie del sitio de disposición, condiciones del suelo, clima, entre otros.

De acuerdo a la guía de cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 [5, 6], se reporta que la mayoría de los sitios de disposición final del país, aun siendo catalogados como sitios controlados, no cumplen con las condiciones para evitar la contaminación de suelos, acuíferos y aire, debido a un deficiente manejo del biogás y de los lixiviados generados por la descomposición de la basura. La disposición final en el país se encuentra aún en un estado de transición de tiradero a cielo abierto a rellenos controlados, ya que, aunque las estadísticas oficiales se refieran a rellenos sanitarios, los sitios seguros de disposición final en México son aún muy pocos. A nivel nacional, se estima que del total de los residuos generados para 2010, se recolectó el 91.56%, lo cual indica que durante ese año alrededor de 9000 toneladas diarias quedaron dispersas a lo largo del país, sin embargo, si se considera que solo el 69.63% se deposita en sitios controlados, se puede decir que el 30.37% de dichos residuos fueron depositados en sitios no controlados o tiraderos a cielo abierto, generando aun así un grave problema al medio ambiente [7]. Adicional a una inadecuada disposición de residuos sólidos, el problema aumenta debido a las actividades de la agricultura y el acelerado desarrollo industrial,

En el Valle de Toluca [8], se determinó que el transporte de lixiviados originados en el socavón de Metepec está asociado con el perfil estratigráfico de la región, considerándose que el suelo es un sistema poroso, abierto y dinámico. En volumen, la fase sólida ocupa aproximadamente el 50% del total, repartido en 45% de componente mineral y 5% de componente orgánico; mientras que las fases gaseosa y líquida se reparten el resto del espacio disponible en partes iguales [9]. El perfil del suelo permite establecer la distribución vertical del agua en profundidad, en donde se pueden distinguir la zona no saturada o de aireación y la zona saturada [10], separada una de otra por una superficie ideal denominada superficie piezométrica o freática definida como el lugar geométrico de los puntos cuya presión hidrostática coincide con la atmosférica y que constituye la superficie libre del acuífero. El agua subterránea es el resultado de la infiltración del agua bajo la acción de la gravedad y su circulación por el suelo y la roca a través de sus huecos. Los aspectos de vulnerabilidad se incorporan al tratar de garantizar no solo cantidad sino también calidad. El objetivo del presente estudio fue determinar el perfil estratigráfico de dos sitios de disposición de residuos sólidos y evaluar su influencia en la contaminación de agua y suelo.

2. Desarrollo

2.1 Descripción del sitio.

En el municipio de San Mateo Mexicaltzingo, Estado de México, existe un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) que no cumple con las regulaciones establecidas en la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 [5], el cual a la fecha continúa en operación, en donde se han depositado los residuos sólidos en varias etapas. De acuerdo a estos datos y tomando una altura media de 8 m desde el fondo del vertedero hasta la parte más alta de la basura depositada, se calcula que en el sitio se depositaron 185,600 m³ de residuos, cubriendo un área de 23,200 m². El vertedero fue clausurado en 2008, aunque fue reabierto para su operación en fechas recientes. La composición de los residuos depositados es de un 47.2% de vísceras y plumas, 27.5% de restos de alimentos y un 25.3% de otros materiales debido a que la actividad económica de la población es la de la producción de chicharrón, carnitas y otros alimentos.

En el caso del municipio de Tenango del Valle, Estado de México, los residuos sólidos urbanos son depositados en un tiradero a cielo abierto ubicado en un estrato rocoso (Figura 1). Aunque en una tercera parte de este sitio se realizaron trabajos de recubrimiento y colocación de pozos de venteo para eliminación del biogás, así como una protección para evitar que los lixiviados producidos alcancen el nivel freático, las dos terceras partes restantes no la tienen, lo cual es de suma importancia en esta zona, ya que el medio es considerado como fracturado y la población es abastecida de agua potable a través de manantiales y pozos ubicados en la dirección del flujo de

agua subterránea. Aunque existen pozos de venteo, el biogás se emite directamente al ambiente, considerándose un problema adicional.

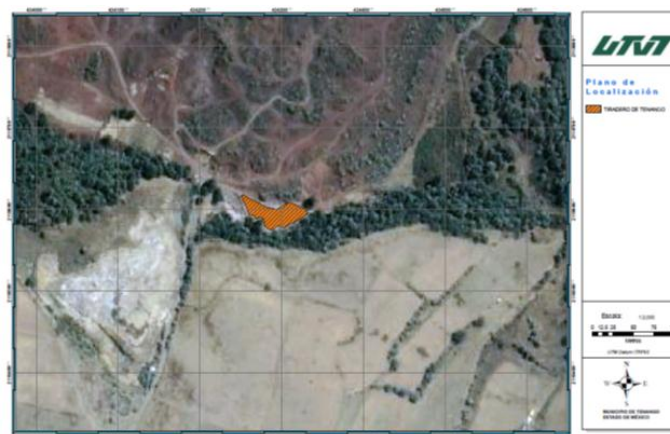


Figura 1. Vertedero de residuos sólidos de Tenango del Valle, Estado de México.

2.2 Perforación de los piezómetros y pozos de venteo.

Se definió la red de piezómetros en las inmediaciones de los tiraderos tomando en cuenta el flujo preferencial del agua subterránea. Esta dirección fue determinada mediante los datos de niveles estáticos de 5 piezómetros aledaños a la zona de estudio, utilizando el software ArcGis y con datos proporcionados por CONAGUA y el INEGI. Se realizaron las perforaciones utilizando una perforadora mecánica marca Wacker. Para Mexicaltzingo, el perfil se obtuvo a partir de la perforación profunda de 30 m utilizando la técnica de percusión hasta los 15 m de profundidad y de hidráulica rotatoria para los siguientes 15 m. Se utilizó un muestreador de barril de Denison donde se colectaron las muestras. Para el sitio de Tenango del Valle y debido al suelo rocoso solo fue posible la perforación (y la obtención de muestras) hasta 7 metros de profundidad.

2.3. Tratamiento y análisis de las muestras

Las muestras del material sólido fueron colocadas en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y llevadas al laboratorio, donde se analizaron de acuerdo al método de prueba. Para cada muestra se realizaron los análisis granulométricos con base en las normas ASTM D-421[11] y ASTM D422-63 [12] según las cuales se separan y clasifican por tamaños las partículas de un suelo, de acuerdo con su retención en una sucesión de mallas agitadas en un agitador mecánico por espacio de 10 minutos y manualmente por un minuto. Las masas retenidas se expresan como porcentajes de la muestra total. De igual forma, se realizó un perfil estratigráfico de acuerdo con los criterios del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) [13]. El cálculo de la conductividad hidráulica se realizó por medio de 6 modelos diferentes, sin embargo se utilizó la ecuación del modelo USBR [14]. La determinación de la vulnerabilidad se realizó de acuerdo al Método AVI, utilizando el promedio de las conductividades hidráulicas verticales (K_v) de los estratos así como el espesor de los mismos.

3. Resultados

En el sitio de Mexicaltzingo, se encontraron 11 diferentes capas: a) arenas con gravas en la mayor parte de los 30 metros (6 capas), b) arenas limosas (4 capas de 12 cm, aproximadamente a 3, 8, 14 y 24 m de profundidad) y c) un estrato de gravas (a 25 m de profundidad, aproximadamente). En relación al sitio de Tenango del Valle, se encontraron 2 estratos diferentes predominantes, arenas limosas (estrato más superficial) y gravas bien graduadas.

Los suelos arenosos son inertes desde el punto de vista químico, carecen de propiedades coloidales y sus reservas de nutrientes son pobres. Por otra parte, en cuanto a sus propiedades físicas, el grado de desarrollo de la estructura es muy bajo, poseen un grado de aireación muy alto, así como alta permeabilidad y muy escasa retención de agua [9]. Debido a lo anterior, es de esperarse un pobre grado de retención de agua a diferentes profundidades; por lo que el transporte de contaminantes es alto, y ya que no hay una buena retención de agua es factible que los mantos freáticos se vean afectados por la presencia de lixiviados transportados desde el sitio de disposición final hasta el acuífero.

Para el vertedero de Tenango del Valle y debido a los estratos encontrados, el transporte de contaminantes presentes en los lixiviados es mayor que para Mexicaltzingo, esperándose pobre o nula retención de ellos, originándose una mayor probabilidad de alcanzar mantos freáticos. El problema se agrava debido a que el vertedero se localiza en la parte más alta y la mancha urbana (y potenciales consumidores de agua) está concentrada en la parte baja. En la cabecera municipal es posible encontrar pozos de agua en algunas casas de la localidad, la cual es utilizada en cuando disminuye el abastecimiento de agua de la red municipal.

En relación al valor de la conductividad hidráulica vertical (Kz) se encontró que para Mexicaltzingo estuvo en el intervalo de 0.85 a 18 m/año dependiendo del tipo de estrato, mientras que para Tenango del Valle, los valores para los dos estratos encontrados fueron 3.273 y 18.087 m/año, lo cual concuerda con los tipos de estratos encontrados en este sitio. Con estos valores se calculó la vulnerabilidad.

Con los promedios de Kz de los estratos y el espesor de los mismos, se obtuvo un índice de Vulnerabilidad para Mexicaltzingo de 1.51, con lo cual se clasifica como Vulnerabilidad muy alta.

Para el sitio de Tenango del Valle, el índice de vulnerabilidad fue de 0.05, con lo cual su Vulnerabilidad es extremadamente alta. La vulnerabilidad del acuífero, depende de la inaccesibilidad a la zona saturada y de la capacidad de atenuación de los estratos encima de esta zona. La capacidad de atenuación del medio, puede ser el resultado de su retención física (conocida como retardo lineal) y a las reacciones químicas del material rocoso con los contaminantes, sin embargo, el tipo de estrato presente en los sitios no permite la retención de contaminantes. En general, el realizar la evaluación de la vulnerabilidad, conduce a determinar la probabilidad de contaminación de agua y proponer acciones de planeación o corrección.

4. Conclusiones

De acuerdo a los tipos de estrato encontrados en los sitios de estudio se determinó una vulnerabilidad muy alta para el sitio de Mexicaltzingo y una extremadamente alta para Tenango del Valle, por lo que si se incorporan al acuífero solutos provenientes de fuentes potenciales y activas de contaminación localizadas en la superficie, originaría alteraciones en la calidad del agua subterránea.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del COMECyT, proyecto FECYT-2009-CIO2-01, así como de la DGEST.

Referencias Bibliográficas

[1] Pérez L. M., Vicencio R. M., Alarcón H. M. T., Vaca M. M. "Influencia del basurero municipal en la calidad del agua del acuífero de la ciudad de Durango, México". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 18(3). 2002. pp. 111-116.

- [2] Kulikowska, D. and Klimiuk, E. "The effect of landfill on municipal leachate composition". *Bioresource Technology*. Vol. 13. 2008. pp. 5981-5985.
- [3] Al-Mefleh, L., Nader, M. *Investigación Relativa a la Minimización de Lixiviados y su Depuración*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 2003. pp. 222.
- [4] Mahvi, A. H. and Roodbari, A. A. "Survey on the effect of landfill leachate on Shahrood city (Iran) on groundwater quality". *Proceedings of the 26th International Conference on Solid Waste Technology and Management*. Philadelphia. Widener University. 2011. pp. 271-285.
- [5] Norma Oficial Mexicana. *NOM-083-SEMARNAT-2003*. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura, y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- [6] GTZ. *Guía de cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003*. 2004. México.
- [7] INEGI. 2010. Estadísticas ambientales, Residuos Sólidos. [En línea Octubre 13, 2010]. [Citado: Marzo 17, 2011.] <http://www.inegi.org.mx/est/>.
- [8] Moreno, A. "Transporte de lixiviado proveniente de un basurero en un acuífero superficial areno-arcilloso". *Tesis Doctoral*. 2007. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- [9] Jordán, A. *Manual de Edafología*. Universidad de Sevilla, España. 2010
- [10] Drever, J.I. *The Geochemistry of Natural Waters*. Upper Saddle River, USA. Prentice Hall. 1997. ISBN: 0-13-272790-0.
- [11] ASTM D421- 85. *Standard practice for dry preparation for particle-size analysis and determination of soils constants*. 2002. USA.
- [12] ASTM D422-63. *Standard test method for particle-size analysis of soils*. 2002. USA.
- [13] NMX-C-416-ONNCCE-2003. *Industria de la Construcción – Muestreo de estructuras térreas y métodos de prueba*.
- [14] Vukovic, M. and Soro, A. "Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition". *Water Resources Publications*. Littleton: Water Resources Publications. ISBN: 0-918334-77-2. 1992. pp. 3 - 40.

Propuesta metodológica para medir el comportamiento de las temperaturas de suelos en tiraderos municipales

O. Rafael García Cueto*, Néstor Santillán Soto, Sara Ojeda Benítez
rafaelcueto@uabc.edu.mx

Resumen

El clima de cualquier región es afectado por influencia antropogénica cuando se cambia el uso de suelo nativo, lo cual se realiza, por ejemplo, cuando se establecen tiraderos de basura en las periferias de las ciudades. La respuesta térmica de esta modificación es el resultado de la composición de suelo heterogéneo del sitio que se integra a los procesos de la baja atmósfera al interactuar con el ambiente. Como resultado se promueven la generación de microclimas, no siempre deseables, dentro de la región. En esta investigación se realiza una propuesta metodológica para la medición del comportamiento de la temperatura del suelo cubierto por residuos sólidos en las afueras de la ciudad de Mexicali, B.C., México. La propuesta consiste en realizar barridos térmicos con una cámara de imagen infrarrojo siguiendo transectos determinados previamente. Los resultados se comparan con los datos obtenidos del suelo circundante sin perturbación por el basurero y se discuten las diferencias encontradas. Las campañas de medición se llevaron a cabo en dos períodos del día, el primero durante un horario matutino con el fin de obtener el comportamiento sin ganancia solar y el otro cuando se tiene la máxima ganancia solar, es decir, en las primeras horas del mediodía. Los resultados obtenidos muestran diferencias importantes las cuales pueden ser atribuidas al cambio local en el uso del suelo, las propiedades biofísicas de los materiales y el poder calorífico de los residuos depositados en el vertedero.

Palabras Clave: *Mexicali, B.C., temperaturas de suelo, tiraderos municipales, transectos térmicos*

321

1. Introducción

El desarrollo de la urbanización durante el siglo pasado y lo que va de este siglo XXI ha contribuido de manera importante a un gasto considerable de energía y también a un incremento en la generación de desechos, producto de las diversas actividades del hombre. Esto ha ocasionado la alteración del medio ambiente contaminando suelo, agua y aire, que afecta negativamente a todos los seres vivos. Uno de los problemas ambientales más serios de las ciudades en todo el mundo, es la disposición final de la basura [1], actividad que usualmente se hace en tiraderos a cielo abierto y con una mezcla muy heterogénea de los residuos sólidos [2]. Por otra parte, la temperatura de superficie del suelo es un factor clave en la determinación del intercambio de materia y energía entre la superficie terrestre y la atmósfera. Entre otras cosas modula la temperatura del aire en la capa más baja de la atmósfera, es crucial en el balance de energía de la atmósfera baja, ayuda a determinar los climas internos de las construcciones y afecta los intercambios de energía que se relacionan con la comodidad de los sujetos. Las modificaciones a la cobertura del suelo nativo de una región generalmente conducen a un clima térmico modificado, lo cual se ha estudiado ampliamente en las ciudades [3], [4]. En particular el estudio de la temperatura superficial se ha realizado con sensores remotos (imágenes de satélite) en áreas relativamente extensas, ya sea en ciudades o en terrenos cultivados, sin embargo poco se sabe del comportamiento de las temperaturas de superficie en un basurero a cielo abierto. La heterogeneidad de los materiales de desecho seguramente afecta la distribución térmica, lo que a su vez podría ser un indicativo de modificaciones en otros parámetros climáticos. En muchas zonas urbanas se tiene la costumbre de almacenar temporalmente la basura en terrenos baldíos o en lugares que habitualmente es transitado por personas o algún tipo de fauna doméstica con potenciales daños a la salud. Esta motivación impulsó la actual investigación que consiste básicamente en realizar una propuesta metodológica de

medición de las temperaturas de suelo en tiraderos a cielo abierto, y en un suelo sin basura, para mostrar las diferencias y las posibles implicaciones que esto conlleva.

2. Lugar de estudio y equipo utilizado

El lugar de estudio fue el basurero ubicado en el ejido Hipólito Rentería, situado a 20 km al sur de la zona urbana de Mexicali, B.C., México. Este lugar, que hasta el año 2010 recibía enormes volúmenes de basura, actualmente está en etapa de clausura. Las mediciones de temperatura de suelo en el basurero se realizaron con una cámara infrarroja FLIR i5 cuya resolución de imagen es de 80 x 80 píxeles, las imágenes infrarrojas instantáneas se almacenan en una tarjeta de memoria mini SD-estándar y se realiza la transferencia de archivos vía USB a una computadora. En el suelo sin basura se midió la temperatura con el termómetro IR 403265 de Extech. Este termómetro provee medidas de temperatura mediante un puntero láser integral. Su escala de medición es de -20°C a 550°C; su resolución es de 0.5°C, y su tiempo de respuesta es de 1 segundo. El factor de emisividad del suelo se consideró de 0.94.

3. Propuesta Metodológica

En estudios relacionados con la medición de temperaturas de suelo generalmente se utilizan bandas espectrales adecuadas, medidas por sensores remotos los cuales son transportados en satélites o aviones [5]. Este es el caso de las imágenes Landsat, Modis, NOAA-AVHRR, ATLAS, etc.; estas imágenes son útiles cuando se desea caracterizar superficies relativamente homogéneas, o cuando, si bien las superficies muestran heterogeneidad, se tiene información relativa a la emisividad térmica, albedo, etc., que permiten realizar correcciones a lo estimado por el sensor. En el caso bajo estudio, la heterogeneidad de los materiales que cubren la superficie del suelo en muy cortas distancias, y la falta de información concerniente a las propiedades biofísicas de los materiales, invitó a proponer una metodología sencilla que consistió en realizar mediciones “in situ” de las temperaturas de superficie del suelo, con los instrumentos ya descritos, en recorridos lineales imaginarios, llamados transectos. Las campañas de medición se realizaron en dos días representativos de la primavera del 2011; el primer día, el 14 de abril, se realizó cuando se tiene la máxima ganancia solar, es decir, en las primeras horas después del mediodía (13:45 a 15:35); el segundo día, el 15 de abril en un horario matutino (7:30 a 9:30) con el fin de obtener el comportamiento en las primeras horas de la mañana, lo que permitió contrastar las diferencias en pérdidas radiativas; en este punto cabe hacer la aclaración que ningún intento se hizo para evaluar las pérdidas por efectos convectivos. Para realizar la evaluación comparativa, se hicieron otras mediciones en forma sincronizada en un lugar sin basura a 150 metros de distancia entre uno y otro sitio; el área seleccionada de medición en ambos lugares fue un cuadrado de 4x4 m. Para las mediciones en el sitio con basura se diseñaron ocho transectos térmicos, tres en dirección oeste-este (WE1, WE2, WE3), tres en dirección norte-sur (NS1, NS2, NS3), y dos en diagonal, en sentido noroeste-sureste (NW-SE), y en sentido noreste-suroeste (NE-SW), efectuándose éstas cada 20 minutos. En el sitio sin basura, dada su homogeneidad en las características de la superficie del suelo se realizaron solo dos transectos, uno en el sentido noroeste-sureste, y otro en el sentido noreste-suroeste, efectuándose éstas cada 10 minutos con el objetivo de obtener un valor representativo de los períodos de mediciones dado que las intensidades de los vientos estuvieron en la categoría de débiles a moderados; ya en una experiencia anterior se había observado que el calor ganado por la superficie del suelo por la radiación solar, se pierde rápidamente en condiciones de vientos de las magnitudes presentes. Una vez obtenidos los datos de las temperaturas de superficie de suelo en ambos lugares se procedió a realizar estadística básica y elaboración de gráficas comparativas, que son los resultados que a continuación se presentan.

4. Resultados y Discusión

Se tomaron en total 552 imágenes infrarrojas en el suelo con basura y 300 mediciones con el termómetro IR en el suelo sin basura. Una imagen infrarroja, ejemplo característico del lugar con basura se presenta en la Figura 1; la temperatura de 68.6°C, mostrado en la esquina superior izquierda es el valor registrado en el círculo central de la misma figura. En ella se puede observar la amplia variabilidad térmica (obsérvese la escala en la parte inferior de la figura), que en este caso es de 43°C, producto de la heterogeneidad de los materiales de desecho, Figura 2.

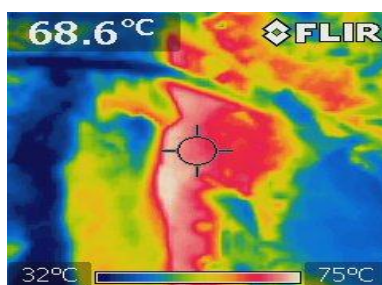


Figura 1. Imagen infrarroja del lugar con basura



Figura 2. Asociación de basura a temperaturas mostradas en la Figura 1

El comportamiento de las temperaturas de suelo en todos los transectos muestra una gran variabilidad, Figura 3. Una comparación de las temperaturas de suelo con basura, respecto a las temperaturas del suelo sin basura se muestra en la Figura 4. De aquí se destaca que: 1) la variabilidad térmica en un suelo sin basura es mucho menor, y 2) el comportamiento temporal de las temperaturas de suelo parece seguir el ángulo de inclinación del sol (obsérvese la Figura 4 al inicio de las mediciones, y al final de ellas), ya que en esta época del año por la latitud a la que se encuentra Mexicali (32°27') el sol se inclina rápidamente en el horizonte.

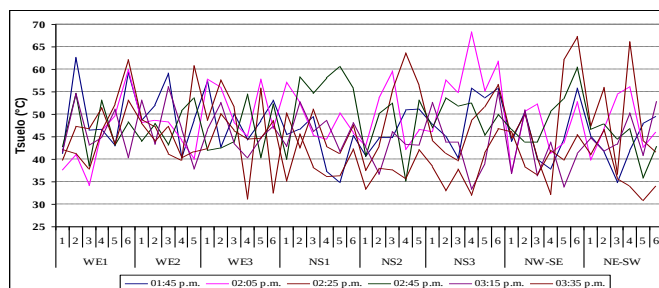


Figura 3. Comportamiento de temperaturas de suelo con basura, 14-abril-2011 (1:45pm-3:35pm)

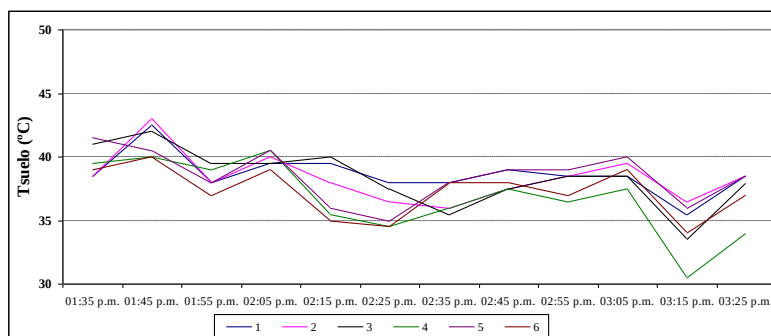


Figura 4. Comportamiento de temperaturas de suelo sin basura, 14-abril-2011 (1:35pm-3:25pm)

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los estadísticos básicos de la campaña vespertina del 14 de abril de 2011. El valor más alto que se registró fue de 68.6°C, y el valor más bajo de 30.9°C. La desviación estándar, en las diferentes horas de mediciones presenta valores altos, lo cual puede deberse a que la imagen térmica tomada, no siempre correspondió exactamente al mismo punto, y dada la diversidad de residuos que había en el suelo, el hecho de un desplazamiento de unos centímetros entre las tomas de mediciones en el *mismo* punto, da una lectura de temperatura sensiblemente diferente, dependiendo del material visto por la cámara. El comportamiento de las temperaturas promedio de suelo con basura se presenta en la Figura 5. Se observa una amplia variación diurna. Un análisis comparativo con el lugar sin basura indica que, tanto en las condiciones matutinas como vespertinas, los valores medios son más altos en el lugar con basura que sin basura. Este resultado no es inesperado, dado que el suelo desnudo de los alrededores del basurero debe tener una capacidad calorífica más baja que el lugar con basura.

Tabla 1. Estadísticas básicas de temperaturas de suelo en basurero, 14-abril-2011, 1:45pm-3:35pm

Variable (°C)	Simbología	1:45	2:05	2:25	2:45	3:15	3:35
Temperatura máxima	TMAX	62.7	68.6	67.3	60.6	56.2	53.2
Temperatura media	TMED	47.2	49.1	47.8	48.2	44.9	41.3
Temperatura mínima	TMIN	34.8	34.2	31.2	35.1	33.3	30.9
Desviación estándar	DESVEST	6.5	7.3	9.1	6.3	5.7	5.5

Otros factores que pueden contribuir a esta diferencia son la emisividad térmica, el albedo y otros a micro-escala como la conducción térmica y el ángulo con que los rayos solares inciden en cada material de desecho. La *superficie activa*, que se usa en estudios de clima urbano para explicar los balances de energía [6], se puede usar aquí también para explicar las diferencias en las temperaturas de suelo. Para esta superficie, la homogeneidad o heterogeneidad, en cuanto a las temperaturas medidas podría ser vista en función de la desviación estándar: un valor pequeño indicaría una superficie activa homogénea, mientras que un alto valor daría la idea de una superficie activa heterogénea. En la Tabla 2 se muestran los valores de temperatura promedio de temperatura de suelo y las desviaciones estándar promedio de cada período de medición para ambos lugares.

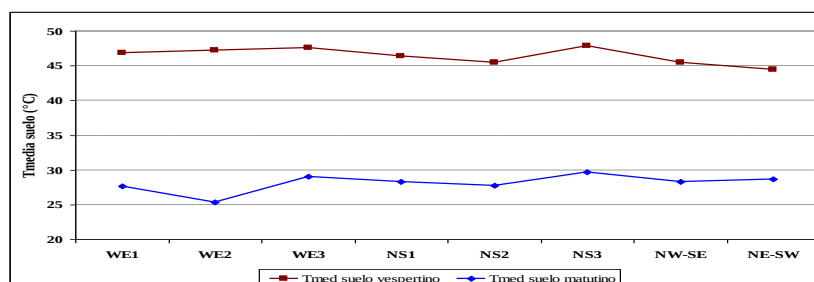


Figura 5. Comportamiento de temperaturas de suelo con basura, 14-15 de abril de 2011

Tabla 2. Comparación de temperaturas promedio (°C) de suelo con basura (scb) y suelo sin basura (ssb)

Período	TMAX (scb)	TMAX (ssb)	TMED (scb)	TMED (ssb)	TMIN (scb)	TMIN (ssb)	DESVEST (scb)	DESVEST (ssb)
Matutino	36.3	22.8	28.1	21.5	21.6	20.0	5.5	0.4
Vespertino	55.5	40.3	46.4	38.1	38.2	31.3	6.5	0.5

En la Tabla 3 se presentan los valores extremos para los sitios de suelo con basura y sin basura.

Tabla 3. Valores extremos de temperatura (°C) de suelo con basura (scb) y suelo sin basura (ssb)

Período	TMAX (scb)	TMAX (ssb)	TMIN (scb)	TMIN (ssb)
Matutino	52.8	28.5	16.0	16.0
Vespertino	68.4	44.5	42.8	30.5

4. Conclusiones

La contribución de los materiales de desecho a la modificación térmica del suelo es puesta de manifiesto, y la propuesta metodológica desarrollada cumple el cometido de evidenciar este aporte. La diferencia térmica encontrada en el tiradero a cielo abierto y de un suelo sin basura, separados una distancia de 150 m, exhibe que el cambio local provocado por ese particular uso del suelo puede ser, en algunos momentos de por lo menos 20°C. Esta diferencia es importante para la puesta en marcha de una circulación de viento que puede acarrear sustancias peligrosas y olores no deseables a la población cercana con consecuencias importantes para la salud. Las diferencias encontradas pueden ser explicadas en función de la desigual capacidad calorífica del suelo sin basura y de los materiales de desecho, y también de algunas otras propiedades biofísicas como podría ser el albedo (o múltiples albedos), emisividad térmica, conductividad térmica y almacenamiento de calor. A pesar de presentar resultados interesantes, esta propuesta metodológica está aún inacabada, los puntos que necesitan corregirse son: a) las mediciones en cada punto de los transectos deben ser realizadas exactamente en el mismo lugar, b) realizar una corrección de temperatura por emisividad de material medido, c) realizar una clasificación de material de desecho e investigar la capacidad calorífica de cada uno de ellos, d) realizar mediciones en un período de, al menos, un ciclo de 24 horas, y e) enlazar estos resultados a un balance de energía.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ojeda-Benítez S. and Beraud-Lozano J.L., "The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 39. 2003, pp. 239-250.
- [2] Sharholly M., Ahmad K., Basilla R.C. and Gupta R.D., "Municipal solid waste characteristics and Management in Allahabad, India". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 39. 2007, pp. 490-496.
- [3] Voogt J.A. and Oke T.R., "Thermal remote sensing of urban climates". *Remote Sensing of Environment*. Vol. 86. 2003, pp. 370-384.
- [4] Picón-Feliciano A. J., Vásquez R., González J., Luvall J. and Rickman, D., "Use of Remote Sensing Observations to Study the Urban Climate on Tropical Coastal Cities". *Revista Umbral*. Vol. 1. 2009, pp. 218-232.
- [5] Nichol J., "Remote Sensing of Urban Heat Islands by Day and Night". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 71(5). 2005, pp. 613-621.
- [6] Grimmond C.S.B & Souch C. "Surface Description for Urban Climate Studies: A GIS Based Methodology". *Geocarto International*. Vol. 1. 1994, pp. 47-59.

Restauración ambiental y paisajística de un vertedero incontrolado en Castellón (Este España)

Francisco Pardo Fabregat; David Blanco Fernández; Sergi Meseguer Costa; ¹Teófilo Sanfeliu Montolio; *Manuel Miguel Jordan Vidal
*manuel.jordan@umh.es

Resumen

Este estudio describe la clausura, restauración y valoración ambiental y paisajística de un vertedero incontrolado en el interior de la provincia de Castellón (España). Se formó aproximadamente hace 20 años en el municipio de Sant Mateu y en 2008 se procedió a la clausura y restauración ya que apenas se sitúa a 2 Km. de un lugar emblemático y protegido de la comarca, como es el Paraje Natural Municipal del Racó del Frare. La superficie afectada en dicho estudio es de 144.150 m². Dicho vertedero era de tanto residuos sólidos urbanos (RSU) como de restos inorgánicos. Una vez clausurado, se procedió a la eliminación de los RSU, al sellado y a la restauración y revegetación de dicho enclave con el fin de mejorar la calidad ambiental y paisajística del entorno. El área de estudio tuvo un cambio de uso, lo que produjo una mejora de la calidad paisajística del área de estudio ya que aumenta la valoración en todos sus atributos. En los atributos físicos se mejora la vegetación, fauna y uso del suelo. Los elementos que alteran el paisaje se reducen y, por tanto, producen un aumento de la calidad paisajística. Los atributos estéticos y psicológicos mejoran en su forma, color y estructura, ya que da la sensación de estar en un entorno rural, poco modificado por el hombre desde hace siglos y con una masa arbórea centenaria. La valoración del paisaje antes de la actuación se triplicó ante la restauración y cambio de uso.

326

Palabras Clave: *área forestal, cambio de uso, degradación suelo, restauración paisajística, vertedero incontrolado*

1. Introducción

La restauración ambiental y paisajística de un espacio que se puede considerar un ecosistema natural (forestal o agrícola) que la acción humana ha alterado, permite la recuperación de un paisaje denostado y devolverle la vida con un consiguiente beneficio para el ecosistema y para el hombre [1] y mejorar la calidad del suelo ante un cambio de uso. Los vertederos incontrolados e ilegales de RSU pueden producir lixiviados y contaminación del suelo. La producción de residuos en la Comunidad Valenciana, aumento un 143% entre 1997 y 2006 [2]. En base a la minimización en la producción de residuos, la máxima valorización y la eliminación segura de los residuos no valorizables, se creó el Decreto 317/1997 [3], más conocido como el Plan Integral de Residuos o PIR solucionándose el problema con una normativa para los vertederos controlados conjuntamente con el RD 1481/2001 [4] que establece las prescripciones técnicas para vertederos [5], [6] y [7] pero los vertederos ilegales siguen siendo un problema sanitario, ambiental y paisajístico.

2. Desarrollo

2.1 Descripción del área de estudio

En el interior de la provincia de Castellón se localiza San Mateu, una población a 325 m sobre el nivel del mar, que se localiza en la depresión de la Barona_Sant Mateu que se intersecta con el corredor de Villafames- Sant Mateu_tortosa [8]. Hace aproximadamente 20 años se creó un

vertedero incontrolado (Coord. X. 257.713, Y: 4.482.622; Huso 31) en suelo propiedad del ayuntamiento de Sant Mateu, que hace apenas dos años se decidió a clausurar, limpiar y restaurar. La parcela del área de estudio tiene una superficie restaurada de 144.150 m², siendo 1.860 m² los más afectados por los residuos sólidos urbanos (RSU) y restos inorgánicos tal y como se puede observar en la figura 1.



Figura 1. Superficie afectada con residuos sólidos urbanos

2.2 Desarrollo del cambio de uso

Después de valorar las distintas alternativas para tratar los restos de RSU, restos de escombros y piedras procedentes de parcelas agrícolas de alrededor, se determinó el sellado del vertedero. Se procedió a la recogida, transporte y almacenamiento de los restos anteriormente comentados, tanto en el hueco del vertedero como en el resto del área de estudio que se cuantifican en 120 m³. Estos restos se transportaron en camiones hacia un vertedero controlado en la localidad de Villena (Alicante). Posteriormente se rellenó con materiales inertes no contaminantes. Tras esta fase, se realizó la restauración edáfica mediante sus diferentes capas estratificadas, ya que cada una de ellas tiene una función diferente. La finalidad de dichas capas son varias, entre las que destacan el aislamiento de los residuos superficiales de las condiciones climáticas externas, protección contra la erosión y sustento de la capa vegetal de regeneración. Las características más importantes que deben tener estas capas son:

- Disponer del grosor suficiente para permitir el enraizamiento de la vegetación
- Disponer de una porosidad adecuada para permitir la oxigenación de la capa radicular
- La capa debe permitir un buen drenaje que permita la infiltración del agua
- Fertilización adecuada para mantener el sustrato vegetal con unas condiciones de crecimiento
- Las capas mas profundas han de ser impermeables frente a las aguas superficiales para evitar los lixiviados

La capa de clausura esta formada por una serie de subniveles de diferentes materiales (Tabla 1).

Tabla 1. Diferentes subniveles de la capa de clausura

SUBNIVELES	ESPESOR	
Capa de vegetación (suelo orgánico con un mínimo de M.O del 2%):	20 cm	120.4 cm
Capa de suelo similar al de la zona	75 cm	
Capa aislante "Geotextil permeable"	0.2 cm	
Capa de drenaje de arena	15 cm	
Capa de baja infiltración para prevenir la infiltración del agua al suelo que pudiera estar contaminado	10 cm	
Geomembrana impermeable	0.2 cm	
Material de relleno	-	-
Suelo original de la base del vertedero	-	-

2.3 Características del Medio Natural

Una vez se ha realizado la restauración edáfica, se procede a la restauración vegetal y paisajística del área degradada. Previamente se ha realizado el análisis del estado natural para determinar algunas características como son la fisiografía, estudio climático, los modelos fitoclimáticos, edafología y la vegetación entre otros teniendo en cuenta los factores limitantes:

- Fisiografía: El área de estudio se encuentra en superficie de solana, a una altitud media de 385 m, siendo la mínima y máxima respectivamente (378 y los 394 msnm) y presenta una pendiente media de 4.57% por lo que la pendiente no cuestiona ninguna técnica para la restauración de la cubierta vegetal aunque debido a la exposición la vegetación debe adaptarse al grado de insolación.
- Estudio climático: La estación termopluviométrica mas cercana fue la de Sant Mateu, que ha medido unas precipitaciones medias anuales son de 661.65 mm., siendo otoño la estación mas lluviosa (244 mm) y el verano la menos lluviosa con 102 mm. Las temperaturas medias anuales son de 14.07 °C y la del mes mas calido y menos cálido respectivamente son de 22.11 °C y 7.51 °C.
- Modelo fitoclimático: Se calcularon los diagramas de Montero de Burgos y González Rebollar considerando la capacidad de retención de agua (CR) y la escurritía (W). Se determinó que la hipótesis de CR = 100 y W = 0 que representa buena profundidad y poca pendiente siendo la mas representativa del área de estudio. Los índices bioclimáticos secos y frío obtenidos muestran que no existe ninguna limitación de parada vegetativa por frío o por déficit hídrico. No existe un déficit hídrico estival pero los niveles están cercanos a posibles sequías si en el futuro las precipitaciones estivales se reducen [9], [10] y [11]. El índice bioclimático libre indica que no hay ninguna limitación sobre precipitación-temperatura en la vegetación.
- Edafología: Los suelos más representativos del área de estudio son los regosoles que se caracterizan por un escaso desarrollo edafogénico formado a partir de materiales no consolidados, excluyendo a los de textura gruesa o que presentan propiedades flúvicas. Las características de este tipo de suelo vienen determinadas por un sustrato litológico presentando escasa incidencia de procesos edafogénicos. Hay una presencia de pedregosidad inferior al 2 %, su pH es alcalino (8) y su contenido en sales bajo teniendo en cuenta la conductividad eléctrica.
- Vegetación: En el área de estudio se puede considerar que predominan en el estrato herbáceo la *Brachypodium phoenicoides* seguido de *Allium resem*, *Artemisa campestris*, *Calendula arvensis*, etc.

En el estrato subarborescente y arbustivo predominan la *Ulex parviflorus* y el *Quercus coccifera* seguidos de *Brachypodium retusum*, *Carex hallenara*, *Dianthus broteri*, etc

El *pinus halepensis* domina el estrato arbóreo rodeado de los arbustos y herbáceas anteriormente nombradas.

2.4 Valoración paisajística del cambio de uso y costes

El método de valoración del paisaje utilizado [12] tiene como objetivo la determinación del impacto visual de los proyectos de ingeniería determinando los atributos físicos (agua, forma del terreno, vegetación, nieve, fauna, uso del suelo, vistas, sonidos, olores, recursos culturales, elementos que alteran el paisaje), atributos estéticos (forma, color, textura) y los atributos psicológicos (unidad, expresión). El presupuesto utilizado en la extracción de los residuos y la posterior restauración edáfica y vegetal es de 137.021 euros impuestos incluidos. A continuación se detallan algunos de los costes más significativos:

- Recogida, carga y traslado de RSU: 2.701,85 euros
- Movimiento de escombros y piedras: 1.297,95 euros
- Geomembrana barrera impermeabilización: 17.614,37 euros
- Transporte, realización huecos y vegetación: 55.700 euros
- Capa de baja infiltración: 5.250,73 euros
- Capa drenante de protección: 3.919,00 euros
- Geotextil permeable: 9.726,76 euros
- Tierras seleccionadas sin compactación: 31.556,05 euros
- Tierras vegetales: 8.478,15 euros

3. Resultados y discusión

El cambio de uso produce una mejora de la calidad paisajística del área de estudio ya que aumenta la valoración en todos sus atributos. En los atributos físicos se mejora la vegetación, fauna y uso del suelo. Los elementos que alteran el paisaje se reducen y, por tanto, producen un aumento de la calidad paisajística. Los atributos estéticos y psicológicos mejoran en su forma, color y estructura, ya que da la sensación de estar en un entorno rural, poco modificado por el hombre desde hace siglos y con una masa arbórea centenaria. La valoración del paisaje antes de la actuación se triplica ante la restauración y cambio de uso.

4. Conclusiones

La clausura y la posterior restauración edáfica del vertedero solucionó la problemática creada en muchas zonas rurales de la provincia de Castellón donde aparecen vertederos incontrolados y de materiales que pueden contaminar tanto el suelo como los acuíferos. Posteriormente se realizó una restauración vegetal siguiendo unos criterios de eficiencia hídrica y sostenibilidad. La valoración paisajística del vertedero mostró una mejora de la calidad paisajística triplicando su valor.

Referencias Bibliográficas

- [1] García-Piñón, F; Sanfeliu, T; Meseguer, S, Jordán, M.M; Pardo, F. La restauración de las canteras y sus oportunidades. IV Simposio sobre control de la degradación de los suelos y cambio climático. I.S.B.N. 978-84-613-4144-3. (Valencia) Pp 295. 2009.
- [2] Gestión de Residuos. Datos de Sostenibilidad en la Comunitat Valenciana (2006). Pág. 10

- [3] Decreto 317/1997, de 24 de diciembre, del Gobierno Valenciano, por el cual se aprueba el Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana.
- [4] Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero
- [5] Del Río, J.L. (1999) Aspectos legislativos referentes a las canteras. Espeleolex, marzo 1999:1.
- [6] García-Piñón, F.; Sanfeliú, T. Meseguer, S.; Jordán, M.M. Análisis de la Normativa de Vertederos, Ingeniería de residuos. Hacia una gestión sostenible, I Simposio Iberoamericano sobre Ingeniería de Residuos, 2008
- [7] Blanco, D; Pardo, F; Sanfeliu, T. 2010. Minimización de los efectos del cambio climático en la Restauración edáfica y de la vegetación en un vertedero. 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Brasil.
- [8] Canerot, J. A., et al. (1973): Mapa Geológico 1:50.000 de Vinaroz (segunda serie, primera edición). Hoja nº 571, IGME 1973.
- [9] IPCC . Climate Change 2007: Impacts, adaptación and vulnerability. Contribution of working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC). Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., Van der Linden, P. J. and Hanson, C. E. Eds. Cambridge University Press, Uk, 976 pp. 2007.
- [10] Pardo, F; Sanfeliu, T; Jordan M.M. Modelización de La degradación del suelo ante un cambio climático en un monte en proceso de mediterrización. IV Simposio sobre control de la degradación de los suelos y cambio climático. I.S.B.N. 978-84-613-4144-3. (Valencia) Pp 45. 2009.
- [11] Pardo, F.; Blanco, D.; Meseguer, S.; Jordán, M. M.; Sanfeliu, T. 2010. Restauración edáfica y vegetal de una cantera: nociones para minimizar el cambio climático. 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Brasil.
- [12] García Asensio, J. M & Cañas, I. 2001. Gestión sostenible de paisajes rurales: técnicas e ingeniería / Francisco Ayuga Téllez. ISBN 84-7114-985-0

Restauración de una cantera de áridos mediante cambios de uso: extractivo-vertedero de residuos de construcción y demolición (RCD)-forestal

* David Blanco Fernández, Francisco Pardo Fabregat, Sergi Meseguer Costa, Teófilo Sanfeliu Montolio, Antonio Gallardo Izquierdo
*al096776@alumail.uji.es

Resumen

El emplazamiento de la zona de estudio está situado junto al Barranco de Benet, en el valle delimitado por la Sierra de la Vall d'Ángel, en el término municipal de Coves de Vinromá (Castellón, este de España). Se ha realizado un estudio sobre la degradación y posterior recuperación del suelo existente en una zona, inicialmente de Uso Forestal, en la cual se ubica una explotación de extracción de áridos (Uso Extractivo). El hueco generado por dicha explotación minera será rellenado por residuos de Construcción y Demolición (Uso de Vertedero). Una vez finalizada la vida útil del vertedero, éste será sellado y restaurado, restituyendo y mejorando el suelo inicial del área, volviendo al Uso Forestal inicial del suelo de la zona objeto de estudio. En este estudio se analizan la situación actual del suelo, las causas de la degradación en cada uno de los casos, y la restauración final del mismo, teniendo en cuenta tanto la litología del sustrato, como la vegetación existente en la zona y su entorno, así como los impactos que se producen en el paisaje. Es importante considerar que el emplazamiento es un área, en cierta medida, ya degradada antrópicamente, con escasa cobertura edáfica. Por tanto, la restauración final, posterior al cese de la actividad de vertido, producirá un impacto positivo, puesto que supondrá una recuperación o un acondicionamiento de la parte superior del suelo para que sirva de sustrato a la vegetación. Además, no se afectará al ecosistema general, sino exclusivamente a la zona de actuación.

Palabras clave: cambio de uso, extracción minera, impacto ambiental, mejora ambiental, mejora edáfica

1. Introducción

La construcción es una actividad que genera importantes flujos de materiales, tanto en las actividades de obtención de las materias primas como en la elaboración de materiales constructivos y en la ejecución de las obras, donde se produce un elevado volumen de residuos. Esta actividad, que no suele ser muy contaminante en comparación con otros sectores industriales, puede generar importantes impactos al medio natural, en general, y a los suelos en particular, si no se gestiona correctamente en todos sus aspectos.

El emplazamiento de la zona de estudio está situado junto al Barranco de Benet, en el valle delimitado por la Sierra de la Vall d'Ángel, en el término municipal de Coves de Vinromá, en la provincia de Castellón (España).

Las coordenadas U.T.M. de un punto central, representativo de la zona se pueden observar en la Tabla 1:

Tabla 1. Coordenadas U.T.M. del área de estudio

X	Y	Z
767.046	4.469.433	326

Como se puede observar en la Figura 1, debido a la existencia de una cantera de áridos de roca caliza, el uso actual del suelo es extractivo.



Figura. 1. Vista aérea de la zona de estudio

2. Desarrollo

El objetivo del presente trabajo es el de diferenciar y detallar pormenorizadamente todas las etapas y cambios de uso que ha sufrido y sufrirá el suelo, prestando especial importancia al desarrollo y las características específicas de todas y cada una de las mismas desde el punto de vista medioambiental, geológico, forestal, económico y social.

2.1 Estado del suelo inicial (Uso Forestal)

Se definen en la zona de estudio suelos de tipo Cambisol cálcico – Fluvial calcáreo según la clasificación taxonómica F.A.O. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) – UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).

Los Cambisoles que aparecen son tipo cálcico, se caracterizan por tener un horizonte de acumulación de carbonatos muy variable según la litología y la fisiografía. Aparecen sobre materiales de naturaleza aluvial o coluvial, evolucionados a partir de los fluvisoles. Son suelos de escaso espesor. Aparecen, mayoritariamente, asociados a fluvisoles cálcicos.

Las litologías que aparecen en este emplazamiento son muy homogéneas, de origen detrítico continental, constituida por gravas calizas, arenas y areniscas. Las gravas calizas son de edad Cuaternario y presentan un espesor variable. Los resaltes más importantes están formados por bancos de arenisca de hasta 1,5 m de potencia. Las arenas son de color beige y presentan niveles ferruginizados, de edad Albiense (Cretácico Inferior).

El estudio de la vegetación se puede realizar considerando de forma separada la vegetación climatófila de la vegetación edafófila. En este caso, se tratan los dos tipos de vegetación por separado, ya que la zona mantiene las características de una vegetación climatófila, dándose el coscojar (*Quercus coccifera*), y vegetación propia de comunidades nitrófilas y ruderal-arvenses, que agrupan la vegetación propia de caminos, márgenes y zonas de actuación del ser humano [1]. La

vegetación de este tipo encontrada en la zona corresponde a vegetación de origen antropozógeno o nitrófila, que surge como consecuencia de la alteración de los ecosistemas vegetales por la actividad del hombre y los animales. Las plantas que colonizan estas zonas actúan como las últimas etapas degradativas de las formaciones nobles del territorio, tanto climáticas como edáficas.

2.2 Estado del suelo intermedio (Uso Extractivo-Vertedero-Industrial)

Durante esta fase se produce una disminución o enterramiento de los suelos como consecuencia de los movimientos de tierra, explanaciones, desmontes y terraplenados que se realizarán para el acondicionamiento de accesos y zonas de instalación [2], [3], [4].

Por otro lado, el suelo puede contaminarse químicamente por causa de los posibles lixiviados o del vertido de aguas residuales sin tratar si no se recogen adecuadamente o no se realiza una adecuada impermeabilización.

Los movimientos de tierras y los vertidos pueden ocasionar que se pongan al descubierto, o se cubran, afloramientos de materiales geológicos.

Las principales ventajas de la conservación del suelo original son:

- Crea a la superficie de la zona restaurada una capa de propiedades muy favorables para el nacimiento de las plantas, lo que acelera el proceso de revegetación.
- Las semillas, rizomas y bulbos que contiene la capa del suelo posibilitan que se implanten rápidamente muchas de las plantas que actualmente se encuentran en la zona, lo que conlleva la mayor riqueza en especies de la vegetación inicial, ya que muchas de las plantas presentes en el entorno no se encuentran comercialmente [5].
- Disminuye los gastos en materia orgánica y abonos, ya que el material edáfico los contiene.
- Disminuye la pedregosidad superficial.
- Aminora la erosión superficial ya que al crecer con mayor rapidez la vegetación evitará el impacto de las gotas de lluvia, aumentando la capacidad de infiltración.
- La disponibilidad de agua para las plantas es mayor desde el principio al existir mayor capacidad de retención [6].

El impacto sobre el paisaje se produce principalmente por la modificación de la topografía, la destrucción de la vegetación, la creación de zonas con fuerte pendiente, la denudación superficial y la creación de zonas susceptibles de ser erosionadas.

La eliminación de la vegetación debe valorarse, además de su capacidad de retener el agua de un menguado suelo, por su efecto sobre el paisaje y por la desaparición de las especies protegidas.

En el entorno de la infraestructura en estudio, los principales impactos sobre la vegetación serán consecuencia del polvo producido por el transporte y el depósito de los materiales. El polvo producido afectará a la vegetación y frenará, en cierto grado, su evolución reconstructiva.

Teniendo en cuenta la implantación de la infraestructura en una zona con escasa cobertura vegetal o formada por cultivos antrópicos, este impacto no es tan severo como cabría esperar si la vegetación estuviera en buen estado de conservación, aunque la vegetación desaparezca de la zona durante las labores de acondicionamiento y explotación.

2.3 Estado del suelo final (Uso Forestal-Didáctico-Agrícola)

El impacto producido sobre el suelo se convertirá en positivo durante la fase de restauración final, puesto que la revegetación del emplazamiento con vegetación autóctona mejorará e integrará en el paisaje el aspecto actual del área en estudio [7].

Una vez clausurado el vertedero y alcanzadas las cotas previstas en la explotación del mismo se procederá a su sellado mediante el extendido de las capas que a continuación se especifican [8], [9], [10]:

Capa de regularización. Capa de tierras o material seleccionado de espesor variable entre 0.30-0.50 metros de espesor.

Capa de impermeabilización. Capa de arcillas de 0.50 metros de espesor, compactadas como mínimo al 95 % de la densidad máxima del ensayo Próctor normal.

Capa de drenaje. Para evacuar las posibles aguas de escorrentía se extenderá una capa de gravas de 0.30 metros de espesor.

Capa de tierra vegetal de 0.70 metros de espesor.

3. Alternativas propuestas

El desarrollo de la explotación y las características geotécnicas de los materiales vertidos rigen obligatoriamente los perfiles definitivos recomendados partiéndose, por este motivo, de perfiles similares para todas las alternativas posibles.

Será con estos materiales vertidos con los que nos aproximaremos a la topografía definitiva teniendo en cuenta por un lado el factor de integración ambiental y por otro las características geotécnicas de los suelos.

Pueden considerarse distintas alternativas para la rehabilitación del área degradada, en función de los distintos usos posibles del espacio. Todas ellas parten de la correcta ejecución de los perfiles finales con la adecuada repoblación previo establecimiento de las condiciones necesarias para el arraigo y desarrollo de las especies implantadas [11].

Dentro de este criterio general se plantean tres alternativas en función de los distintos usos para la amplia superficie que quedará en la plaza de cantera:

Uso forestal. El anterior uso de la zona era de crecimiento espontáneo de vegetación natural muy afectada por la presión antrópica con series botánicas y en consecuencia zoológicas muy degradadas. Esta restauración implica la adecuación de todo el espacio impactado para la implantación de especies vegetales adecuadas al medio natural en que nos encontramos, para permitir la progresiva evolución hacia la vegetación climatófila de la zona [12].

Uso didáctico. Parte de la creación de similares condiciones a las de la primera alternativa, pero adecuando el espacio para el uso didácticas y pedagógicas, mediante la colaboración de los entes administrativos implicados, creando un paraje idóneo para las actividades escolares de repoblación, tipo día del árbol, en las que la ordenada introducción de especies valiosas permita con el tiempo la creación de un entorno evolucionado. Mediante una adecuada planificación de la repoblación con especies de calidad, se conseguiría en el futuro un bosque evolucionado, que podría constituir un área de uso didáctico como jardín botánico de especies autóctonas, a corto plazo.

Uso agrícola. Constituye la alternativa más rentable desde el punto de vista socio-económico, cumpliéndose mínimamente los objetivos de restauración y reintegración ambiental con el aprovechamiento agrícola de la amplia superficie resultante tras el cese de la actividad del vertedero.

4. Resultados y discusión

El área de estudio sufrirá un cambio de uso y una degradación de la calidad del suelo que posteriormente será corregida y mejorada mediante la tierra original y un aporte de materia

orgánica, ya que se considera necesario para adicionar a los suelos existentes, de carácter carbonatado, de escaso espesor y bajo contenido en materia orgánica.

La vegetación a plantar será fundamentalmente a base de especies autóctonas de la zona, ya que se pretende la integración paisajística del área degradada en el entorno, minimizando el impacto producido por las actividades desarrolladas anteriormente.

5. Conclusiones

El cambio de uso del suelo del área de estudio de uso forestal a uso extractivo y posteriormente a uso vertedero, merma la calidad del suelo existente, haciéndolo incluso desaparecer; mientras que, una vez producida la restauración del vertedero de RCD y vuelto el suelo a uso forestal, se repone y mejora dicho suelo inicial, revegetándolo con especies autóctonas, reintegrándolo así paisajísticamente en el entorno.

Referencias Bibliográficas

- [1] Resco de Dios, V. Fischer, C. Colinas, C. (2007). *Climate changes effects on Mediterranean forest and preventive measures*. New forests 33: 29 – 40
- [2] Orche, E., Amaré, M.P., García-Taboada, I. *Metodología para la utilización de canteras abandonadas como vertederos de residuos sólidos urbanos*. Universidad de Vigo (1999).
- [3] Pividal, A.J., (1999) *Condicionantes Geomorfológicos e hidrogeológicos para el emplazamiento de vertederos de residuos sólidos*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- [4] Del Río, J.L. (1999) *Aspectos legislativos referentes a las canteras*. Espeleolex, marzo 1999:1.
- [5] García-Piñón, F.; Sanfeliú, T. Meseguer, S.; Jordán, M.M. *Aportación al conocimiento de los vertederos de la Provincia de Castellón, Ingeniería de residuos. Hacia una gestión sostenible*, I Simposio Iberoamericano sobre Ingeniería de Residuos, 2008
- [6] *Datos de Sostenibilidad de la Comunidad Valenciana*. Gestión de residuos (2006).
- [7] García-Rodríguez, J.J., Murais, J., Osborne, J. *Guía para la restauración del medio natural afectado por la explotación de canteras*. IGME, Madrid (1985).
- [8] Melo, A.L.O. Calijuri, M.L., Duarte, I.C.D., Azevedo, R. F.Lorentz, J.L. (2006) *Strategic decision analysis for selection of landfill sites*. *Journal of Surveying Engineering*, 132-2 : 83-92.
- [9] Sharma, H.R., Lewis, S.P. *Waste containment systems, waste stabilization, and landfills*. Wiley-Interscience, 1994.
- [10] Jones D.R.V., Dixon, N., *Landfill lining stability and integrity: the role of waste settlement. Geotextiles and Geomembranes*, 23 – 1: 27-53
- [11] Bovea M.D., Ibáñez V., Gallardo A., Colomer F.J., Carlos M., *Evaluación ambiental de alternativas de gestión de residuos: aplicación a Castellón de la Plana (España)*. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos. Barranquilla, Colombia, septiembre 2009
- [12] Blanco Fernández, D., Pardo Fabregat, F., Sanfeliú Montolio T., *Minimización de los efectos del cambio climático en la Restauración edáfica y de la vegetación en un vertedero*. 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Brasil 2010.

RECUPERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS

Biocombustibles: una alternativa para la disposición de residuos del cultivo de trigo en el Valle de Mexicali

Conrado García González, Gisela Montero Alpírez, Marcos Alberto Coronado Ortega, Marcela Acosta Gómez
cnrdgarciag@gmail.com

Resumen

El trigo es uno de los granos que más se cultiva en el mundo debido a su relevancia para la alimentación humana. En México, el trigo es de gran importancia para la dieta de poco más de 112 millones de habitantes. En el año 2009 la superficie sembrada con trigo grano, a nivel nacional fue del orden de 705,678 hectáreas, con una producción de 3,515,392 toneladas. Con ello el trigo se encuentra entre los principales granos cultivados con mayor superficie sembrada en el país. En el 2009 el cultivo de trigo en Baja California representó el 13.5 % de la superficie cultivada de trigo a nivel nacional y el 48 % la superficie agrícola del Valle de Mexicali, Baja California, es decir 88,439 hectáreas. Como remanente principal de la cosecha se obtiene la paja de trigo, de este remanente solamente el 15% tiene aplicaciones diversas y el 85% restante es considerado como residuo sólido cuya disposición es la quema *in situ*; esta práctica inapropiada, es utilizada para disponer de 548,764 toneladas de paja de trigo. Tales valores representan una opción de biomasa residual que resulta atractiva, desde el punto de vista energético, debido a los grandes volúmenes disponibles y alto contenido energético de la paja de trigo generada. Por ello, en este trabajo se presenta la estimación del uso de la paja de trigo como fuente de energía calorífica para la generación de electricidad, o su transformación en diversas formas de biocombustibles como biogás o bioetanol.

Palabras Clave: *biomasa, energía renovable, paja de trigo, quemas agrícolas*

1. Introducción

Mexicali es la ciudad capital del Estado de Baja California, colinda al norte con Estados Unidos de América; al este con Estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el municipio de Ensenada; al oeste con los municipios de Ensenada y Tecate [1].

Entre las principales actividades económicas figura de manera relevante la agricultura, la cual se desarrolla en la zona agrícola del Municipio de Mexicali, denominada Valle de Mexicali que está ubicada al este del municipio y una parte del mismo se encuentra dentro del delta del río Colorado.

Esta zona agrícola, forma parte de una unidad geográfica compartida con el Valle Imperial del vecino Estado de California, Estados Unidos de América, separados artificialmente por la división política entre ambos países [2], como se ilustra en la Figura 1.

Entre los principales cultivos del Valle de Mexicali, destaca el trigo. Éste se aprovecha en menor proporción y previo al espigamiento, como forraje para el ganado, y de manera extensa en la obtención del grano para diversas aplicaciones, siendo los residuos de este cultivo el objeto de este estudio.



Figura 1. Localización geográfica del Valle de Mexicali [3]

El cultivo de trigo se realiza en el periodo denominado “otoño-invierno”. La siembra se efectúa en diciembre y a principios de enero. La madurez fisiológica del trigo llega a los 125 días después de su siembra [4] y la cosecha tiene una duración aproximada de 2 a 3 semanas.

El 85% restante es quemado *in situ* a cielo abierto [5]. La quema de los residuos del cultivo de trigo, es una práctica común que utilizan los agricultores del Valle de Mexicali, en Baja California, para disponer de tales residuos, puesto que reduce los costos en la preparación de la tierra para el próximo ciclo agrícola y además evita la propagación de plagas y enfermedades en futuros cultivos.

Desde el punto de vista técnico y dependiendo de sus características, los residuos agrícolas pueden ser convertidos en energía útil a través de procesos termoquímicos o bioquímicos; su porcentaje de humedad y su contenido de lignina en cada caso determinan el proceso más conveniente. [6]

2. Materiales y Métodos

Para el desarrollo del presente trabajo, se consultó el sistema de información estadística de los cultivos agrícolas, disponible en la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS) denominada Anuario Estadístico de la producción Agrícola [7]. La búsqueda se limitó a los cultivos cíclicos y perenes con modalidad de riego temporal, para los años comprendidos desde 2002 al 2009.

2.1 Disponibilidad de biomasa y contenido de energía

El cultivo de trigo para grano en el Valle de Mexicali ocupa alrededor de la mitad de la superficie agrícola del Valle y representa el 13.5 % de la producción nacional [7]. Presenta un rendimiento promedio de trigo cosechado de 6.3 ton/ Ha [8], destacando su calidad reconocida nacionalmente como una de las más sanas del país, libre de enfermedades.

La zona agrícola del Valle de Mexicali, contaba en 2009 con una superficie cosechada de 88,439 hectáreas [7]. En esta zona se practica la agricultura de riego abastecida por el río Colorado y mediante los denominados pozos de riego agrícola.

Los cálculos del presente trabajo, se basan en la quema a cielo abierto del 85% de la paja de trigo, lo cual equivale a 548,764 toneladas [5]. A pesar de las distintas variedades que se cultivan en el Valle de Mexicali, se aplicó un índice de generación de paja de trigo de 7.3 ton/Ha [9]; el poder calorífico inferior de la paja de trigo se ha estimado en 17.3 MJ/kg [10]. En el presente trabajo se

consideró un poder calorífico inferior de 12.5 MJ/kg, teniendo en cuenta que la paja de trigo generada en el Valle de Mexicali no ha sido caracterizada.

Una de las aplicaciones potenciales de la energía contenida en la paja de trigo, es su aprovechamiento mediante una planta de ciclo combinado para la generación de electricidad por medio de vapor. La eficiencia reportada en la literatura varía de 33 a 34% para procesos que utilizan residuos de madera como combustible de plantas de potencia [11]. Sin embargo, en la presente estimación se consideró, de manera conservadora, una eficiencia de conversión del 30%.

2.2 Transformación de la biomasa en bioetanol y biogás

Además de la posibilidad de obtener energía térmica mediante la combustión directa de la biomasa residual del trigo, existe la posibilidad de extraer otras formas de combustibles mediante tratamiento bioquímico, esto es:

- a) Bioetanol: También denominado bioetanol celulósico o lignocelulósico. Para obtenerlo, se requiere separar, mediante enzimas, la lignina de la celulosa y posteriormente hidrolizar las moléculas de celulosa para romperlas y obtener los carbohidratos que serán fermentados y convertidos en bioetanol mediante la destilación [12]. Para este proceso se consideró un rendimiento de transformación de bioetanol 0.270 t por tonelada de paja de trigo procesada, con un poder calorífico del bioetanol de 26.8 MJ/kg [9]
- b) Biogás: El mecanismo predominante para la conversión de la biomasa en biogás es la conversión bioquímica o digestión de biomasa orgánica que debe entenderse como un proceso natural que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente. El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado 'biodigestor'. El biogás obtenido en esta transformación lo constituye una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones de operación de los reactores donde ocurre la transformación [13]. El rendimiento de transformación para la obtención de biogás es de 0.29 t por tonelada de paja de trigo, y el poder calorífico promedio del biogás es de 23.8 MJ/Kg. [14] considerando una relación 60 % metano y 40 % anhídrido carbónico.

3. Resultados y Discusión de Resultados

Se analizó la información estadística de producción agrícola nacional, para identificar la participación del cultivo de trigo, además se realizó una búsqueda por municipio en Estado de Baja California. Los datos obtenidos se procesaron y los resultados se presentan en la Figura 2.

La Figura 2 destaca la participación del cultivo de trigo a nivel nacional para el año 2009, en ese año se cosechó una superficie de 705,678 Ha lo que representa el 3 % de la superficie agrícola total.

En el año 2009, Baja California se ubicó en el tercer lugar de los estados de México con mayor superficie de trigo cultivada, con el 13.5 %, según se ilustra en la Figura 3.

El Valle de Mexicali, principal productor de trigo en el Estado de Baja California, con 88,439 Ha cultivadas, seguido por el municipio de Ensenada con 10,934 Ha, según se aprecia en la Figura 4. El resto de los municipios Tecate, Rosarito y Tijuana cuentan con superficies cultivadas de trigo, poco significativas respecto a Mexicali y Ensenada.

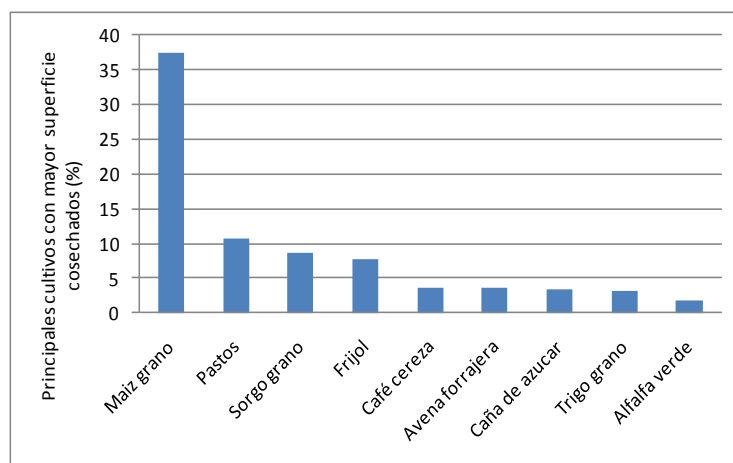


Figura 2. Distribución de la superficie agrícola cosechada en México por cultivo en el año 2009

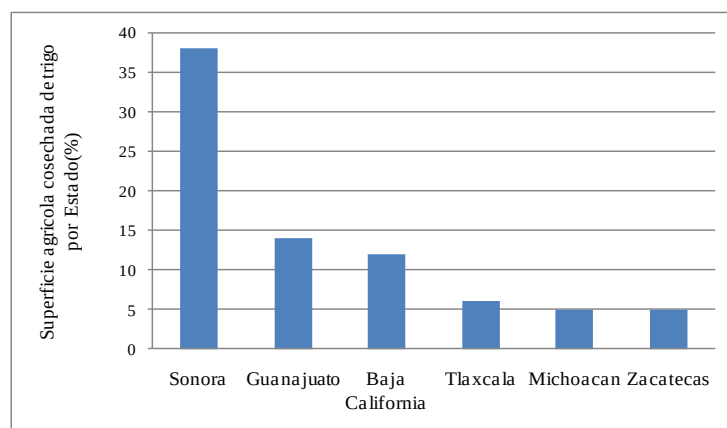


Figura 3. Distribución de los Estados de México con mayor superficie cosechada de trigo

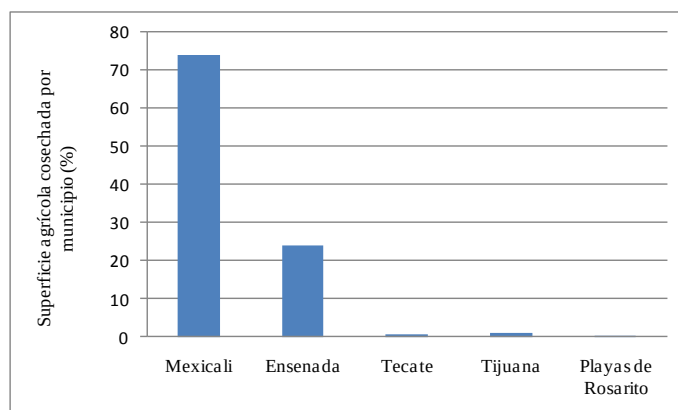


Figura 4. Superficie sembrada (Ha) de trigo por municipio en Baja California

3.1. Potencial energético de la paja de trigo

A partir de la cantidad de paja de trigo estimada para la cosecha del año 2009 y considerando las características propias de cada proceso de conversión de energía, se obtuvieron las cantidades de energía disponible según el tipo de proceso, las cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Disponibilidad de formas de energía partir de la paja de trigo

Proceso de conversión	Producto	Relación de rendimiento de biocombustible	kg de biocombustible/t de paja de trigo	PCI (MJ/kg)	Energía disponible (PJ)	Barriles equivalentes de petróleo
Tratamiento	Biomasa	1:10	1000.00	12.5	6.86	1,074,996
Fermentación alcohólica	Bioetanol	1:0.27	272.21	26.8	4.00	666,215
Biodigestión anaerobia	Biometano	1:0.29	296.90	23.8	3.88	645,313

3.2. Potencial de generación de energía eléctrica

Al final de cada ciclo agrícola, se dispone de 6.86 PJ de energía contenida en la biomasa generada. Esta energía podría ser aprovechada para su transformación en energía eléctrica, mediante una planta de ciclo combinado con una capacidad instalada de 65.6 MW. Esta planta representaría el 9% de la capacidad instalada del parque geotérmico Cerro Prieto (720 MW) ubicado en el Valle de Mexicali y 6.6 veces la capacidad instalada del parque eólico La Rumorosa (10 MW), localizado en el municipio de Tecate.

4. Conclusiones

El residuo agrícola generado en el Valle de Mexicali resulta atractivo, desde el punto de vista energético, debido a los grandes volúmenes disponibles y al elevado contenido energético de este material, considerando que anualmente se queman más de 548,764 toneladas de paja de trigo.

La bioenergía y las tecnologías que hacen posible el aprovechamiento de los residuos agrícolas, tienen un gran potencial para satisfacer las necesidades energéticas de los seres humanos y para contribuir a la sustitución de las fuentes energéticas fósiles y nucleares. Por ello, se requiere que su disposición se haga en términos sustentables, evitando las quemadas *in situ*, y que se aproveche su alto contenido energético.

Todas las opciones analizadas, de utilización de la biomasa residual de trigo como biocombustible, tienen en común que no compiten con alimentos, lo que significa que pueden ser clasificados como procesos de biocombustibles de segunda generación.

Referencias Bibliográficas

- [1] INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía. “Marco Geoestadístico”, 1995.
- [2] Moreno Mena J., López Limón, M. “Desarrollo agrícola y uso de agroquímicos en el Valle de Mexicali”. 2005.
- [3] Anuario Estadístico Municipal de Mexicali, 2008.
- [4] INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. “Estudio estadístico-documental sobre variedades, grupos y calidad de trigo del Valle de Mexicali” 2008.
- [5] Moncada A, Quintero N. “Contaminación y control de las quemadas agrícolas en Imperial, California y Mexicali, Baja California”. Región y Sociedad. Septiembre-Diciembre, año/ vol. XX, Número 043, El Colegio de Sonora, Sonora, México, 2008.
- [6] Coordinación de Energías Renovables Dirección Nacional de Promoción Subsecretaría de Energía Eléctrica, Secretaría de Energía Argentina. Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa, 2008.
- [7] SFA. Secretaría de Fomento Agropecuario, “Anuario Estadístico de la producción Agrícola para el Estado de Baja California” www.sfa.gob.mx, (05.08.2008)
- [8] INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. “Estudio estadístico-documental sobre variedades, grupos y calidad de trigo del Valle de Mexicali, 2008.

- [9] SENER. Secretaria de Energía. “Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México”. Noviembre, 2006.
- [10] McKendry P. “Energy production from biomass (part 1): overview of biomass”. Bioresource Technology 83 (2002) 37–46.
- [11] IEA. International Energy Agency. “Biomass for power generation and CPH” OECD/IEA. 2007.
- [12] González, J. “La nueva generación de combustibles: los biocombustibles”, Fundación Global Nature, 2007.
- [13] Vinasco S. “Tecnología del biogas” www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf (05.08.09)
- [14] Donald L. “Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals”. 1998. Academic Press. San Diego California. 447-448.

El potencial de generación de energía eléctrica empleando biosólidos como fuente de materia prima: El caso de la ciudad de Ensenada, Baja California.

¹Rebeca Rojas Remis, ²Leopoldo G. Mendoza Espinosa
reberemis@hotmail.com

Resumen

Como consecuencia del tratamiento del agua residual se producen lodos residuales, también llamados biosólidos, que pueden utilizarse como fertilizante, estabilizador de suelos e incluso para generar energía. El manejo y disposición ineficiente de estos, representa un problema para el medio ambiente y la sociedad, por las cantidades que se generan y los volúmenes que ocupan. En México se estima que los lodos residuales generados por las 2.029 plantas de tratamiento de agua residual, generan 640 millones de toneladas por año, de los cuales el 64% se dispone como relleno en tierra. La planta de tratamiento de agua residual (PTAR) más grande de la ciudad de Ensenada, Baja California, operada por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), denominada “El Naranja”, maneja 30.000 toneladas de lodos al año provenientes de las 5 PTAR de la ciudad, los cuales desde hace 12 años han sido depositados como relleno en tierra. Dicha actividad representa un peligro latente al medio ambiente, por lo que es necesario encontrar maneras de tratar eficientemente estos lodos. Se realizó una estimación sobre el potencial de generación de biogás mediante la instalación de un sistema de digestión anaerobia utilizando como materia prima lodos residuales, así como el potencial de generación de energía eléctrica y sus diferentes usos en beneficio de la PTAR CESPE “El Naranja”. Adicionalmente se hicieron estimaciones sobre los impactos ambientales y sociales benéficos que conlleva el reuso de biosólidos y se hizo una revisión y propuesta de mejora sobre la legislación mexicana vigente para su clasificación y aprovechamiento.

Palabras Clave: biosólidos, gas metano, lodos residuales, producción de energía

1. Introducción

El proceso de tratamiento de agua residual implica la generación de lodos residuales, compuestos por materia orgánica y por elementos contaminantes que fueron removidos del agua tales como metales pesados, materiales inorgánicos y contaminantes emergentes (productos de limpieza, plaguicidas, medicamentos y productos de cuidado personal). De ahí que los lodos residuales también deban ser tratados para eliminar o transformar sus elementos contaminantes y que no representen un riesgo a la salud o al ambiente, ya que se estima que los lodos residuales generan el 2,8% de los gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial [1].

En el presente artículo se propone la digestión anaerobia como alternativa de tratamiento de lodos residuales para capturar el gas metano y usarlo como fuente de generación de energía eléctrica, disminuyendo los GEI y los riesgos a la salud. Se calcula la energía que se pudiera producir como resultado de esta actividad, sus posibles usos, se comenta sobre la legislación mexicana aplicable para uso y aprovechamiento de lodos residuales y se sugieren adecuaciones para fomentar la generación de energía empleando biosólidos como materia prima.

2. Desarrollo

2.1 Lodos residuales, biosólidos, manejo y reuso

Aunque los lodos residuales son un problema a nivel mundial debido a los gases que desprenden, los malos olores y los patógenos que pueden llegar a generarse, no se consideran, controlan y tratan adecuadamente; incluso en algunos países no son tratados, convirtiéndose en un problema de contaminación ambiental y de salud pública importante [1].

Existen diferentes tratamientos para reducir el volumen de lodos residuales generados y estabilizarlos volviéndolos biosólidos, es decir, un producto que pierde sus propiedades contaminantes y que pueda ser reutilizado como: composta, fertilizante, mejorador de suelos, reutilización en procesos industriales y generación de energía eléctrica [4].

Los tratamientos para la reducción de volumen son: deshidratación (para quitar la humedad mediante aplicación directa de calor) e incineración (realizar la combustión mediante quemadores). El problema que se presenta con estos tratamientos es que la deshidratación únicamente reduce en un 20% el volumen y la incineración, aunque reduce el volumen en un 80% eliminando los compuestos orgánicos tóxicos; destruye las bacterias y nutrientes que pudieran ser útiles para usarlo como fertilizante. Además el proceso genera dióxido de carbono, provocando contaminación ambiental considerable y altos costos de operación [2].

Por su parte, los procesos de estabilización son: digestión anaerobia, la cual se realiza en ausencia de oxígeno desprendiendo gas metano y disminuyendo la cantidad de materia orgánica por lo que pierde en gran porcentaje sus propiedades contaminantes; digestión aerobia, que en contraste al proceso anterior, se realiza en presencia de oxígeno provocando que se reduzca la materia orgánica presente y tratamiento químico el cual consiste en añadir cal a los lodos con la finalidad de oxidarlos y evitar su fermentación [3].

Es importante que tanto los lodos residuales como los biosólidos sean sometidos a un análisis para determinar las características de corrosividad, radioactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infecciosos (CRETIB), con la finalidad de establecer su peligrosidad y poder determinar el manejo y disposición final adecuado [2].

2.2 Panorámica mundial de generación de lodos residuales y biosólidos

En todos los países del mundo se generan lodos residuales, en mayor o menor escala, dependiendo del tratamiento que reciba el agua residual.

En el Atlas Global para el Manejo de Excreta, Lodos Residuales y Biosólidos publicado en el 2008 por United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT) y en la Comisión Canadiense para el manejo de lodos, se especifica que los países desarrollados son los que invierten en infraestructura para la reducción y estabilización de lodos residuales, cuentan con un control sobre su cantidad y calidad, así como con estadísticas sobre su disposición final y/o aprovechamiento. En contraste, los países en vías de desarrollo no consideran los lodos residuales como un residuo a tratar, por lo que no invierten en infraestructura para su tratamiento, ni cuentan con un control y estadísticas sobre las cantidades generadas y su disposición final [5].

Es importante mencionar que en promedio los países desarrollados utilizan un 15% de los lodos residuales generados para la recuperación energética por medio de digestores anaerobios. La energía producida es utilizada para abastecer los requerimientos eléctricos de la PTAR donde se encuentra instalado el sistema de digestión [1].

Estados Unidos genera alrededor de 7,2 millones de toneladas por año de lodos residuales, sus PTAR cuentan con sistemas de reducción de volumen y estabilización, por lo que el 49% de los biosólidos se utilizan benéficamente para aplicación en la agricultura, silvicultura o mejorar de suelos, el 45% es dispuesto como relleno en tierra, confinamientos o simplemente es incinerado y el 6% en otros usos [1].

Canadá estabiliza el 100% de sus lodos, de los cuales el 52% es utilizado como fertilizante en agricultura, 22% es incinerado (en algunos casos el vapor generado es utilizado para recuperación de energía), el 17% se deposita como relleno en tierra y el 9% restante en otros usos [1].

La Unión Europea constituida por 27 países genera 9 millones de toneladas por año y destina el 45% a la agricultura, el 23% a la generación de energía térmica (por medio de la incineración), el 18% como relleno en tierra y el 14% restante a elaborar composta y otros usos particulares [1].

Los tratamientos de lodos más utilizados en China son la deshidratación y la digestión anaerobia para reducción de volumen y estabilización respectivamente, para posteriormente aplicar el 45% en la agricultura, 34,4% como relleno en tierra, 3,5% en la ganadería, 3,5% es incinerado y el porcentaje restante en otros usos [1].

En América Latina, Brasil dispone el 45% como relleno en tierra, el 5,6% en la agricultura y el porcentaje restante es indefinido [1].

2. 3 Lodos residuales en México: manejo y reuso

En México no se tiene un dato oficial sobre la cantidad de lodos generados; sin embargo la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) estima que se generan alrededor de 640 millones de toneladas por año provenientes de las 2,029 PTAR que tiene registradas la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La UN-HABITAT estima que un 64% de estos lodos son depositados como relleno en tierra (a cielo abierto) generando problemas de contaminación ambiental y salud pública. En la Figura 1 se presenta un gráfico donde se comparan los porcentajes de los tipos de reuso que se les da a los lodos residuales en México y otros países.

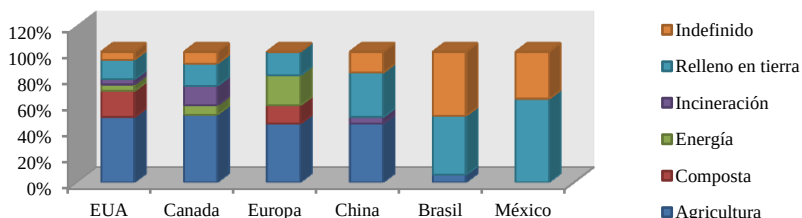


Figura 1. Gráfico de estadísticas sobre el reuso de lodos residuales en México y otros países. Elaboración propia a partir de datos del Atlas mundial del manejo de excreta, lodos residuales y biosólidos publicado por UN-HABITAT en 2008

Es importante mencionar que la mayoría de las PTAR en México no realizan un tratamiento de reducción de volumen y de estabilización de lodos, por lo que la cantidad de lodos residuales dispuestos anualmente es mucho mayor a la cantidad generada en países desarrollados.

Las PTAR en México que utilizan el proceso de digestión anaerobia, son la PTAR de la ciudad de La Paz, Baja, California, Sur y la de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, que además de utilizar los digestores como método estabilizador, son utilizados para aprovechar parte del gas metano como combustible para calentar los digestores y el resto del gas es incinerado [6].

Un problema con la instalación de digestores anaerobios en México es que el gas metano capturado suele ser incinerado mediante equipos quemadores, transformándolo en dióxido de carbono, con la finalidad de obtener bonos de carbono [7] que se traduce en un ingreso para la planta. Sin embargo, aunque lo anterior disminuye las emisiones de gas metano que es más dañino que el dióxido de carbono no soluciona el problema de contaminación ambiental y salud pública.

2.4 Caso de la ciudad de Ensenada, cantidades generadas de lodos residuales, manejo y reuso

La PTAR “El Naranjo” es la más grande de la ciudad de Ensenada, Baja California, es operada por la CESPE y se estima que maneja un promedio de 83 toneladas diarias, es decir 30.000 toneladas de lodos al año provenientes de las 5 PTAR de la ciudad, los cuales desde hace 12 años han sido depositados en terrenos posteriores de la planta como relleno en tierra [8], incrementando su altura sobre el terreno natural en 12 metros. Debido a lo anterior, es importante considerar su reutilización como composta, fertilizante o como fuente de generación de energía mediante la instalación de un digestor anaerobio que capture el gas metano y disminuya la generación de GEI y los riesgos a la salud pública.

Las 2.500 toneladas mensuales promedio de lodos residuales generadas en la PTAR “El Naranjo” son mezcladas con poliacrilamina con la finalidad de reducir el porcentaje de humedad y evitar la atracción de vectores [8]. Es importante mencionar que de las 2.500 toneladas de lodos residuales generadas por mes únicamente 30 toneladas son aprovechadas para hacer composta mezclándolas con tierra y residuos de madera (aserrín proporcionada por madererías locales). La composta es regalada a instituciones o empresas para que la utilicen como fertilizante natural en sus jardines.

2.5 Estimación del potencial de producción de biogás y de generación de energía eléctrica a partir de lodos residuales en Ensenada

La implementación de un sistema de digestión anaerobia, reduce en 24% el volumen de lodos residuales, produce un 25% adicional de energía y representa una reducción del 30% del costo anual de manejo y disposición de lodos residuales, el cual se estima que es de aproximadamente el 45% del gasto anual de una PTAR [9].

De acuerdo con el reporte técnico [10] el potencial de generación de biogás es de 0,31 metros cúbicos por kilogramo de lodos residuales, lo que quiere decir que el potencial de generación para la PTAR de la CESPE “El Naranjo” es de 775.000 metros cúbicos de biogás por mes.

Con la captura del biogás por medio de un sistema de digestión anaerobia se estima que 1 metro cúbico de biogás tiene el potencial de generación de 1,6 kilowatt hora [11], por lo que el reuso de lodos residuales para la PTAR de CESPE “El Naranjo” tiene el potencial de generación de 1.240 millones de kilowatt hora por mes. El consumo mensual de la PTAR CESPE “El Naranjo” es de 649.511 kilowatt hora, por lo que la energía generada al aprovechar el biogás alcanzaría para abastecer los requerimientos energéticos de la planta y del sistema de digestión.

Cabe mencionar que la capacidad de generación de biogás depende del pH, cantidad de metales pesados y concentración de materiales tóxicos en los lodos residuales, por lo que deben analizarse, con la finalidad de determinar su potencial de generación real [4]. Asimismo el potencial de generación de energía eléctrica dependerá del porcentaje de gas metano que contenga el biogás, por lo que es necesario analizar el biogás para conocer los porcentajes de composición [10].

2.6 Estimado de disminución de GEI

La contribución de México a la generación de GEI en el mundo es del 1% del cual se estima que el 9% es por lodos residuales [7]. De acuerdo con el biogás que se pretende capturar con el sistema de digestión anaerobia en Ensenada se estima dejar de emitir el 0,0044% del total de GEI generados por lodos residuales en México.

2.7 Legislación Mexicana sobre reuso de lodos residuales y generación de energía eléctrica

En México, la NOM-004-SEMARNAT-2002, publicada el 15 de Agosto de 2003 en el Diario Oficial de la Federación, establece las especificaciones y límites máximos permisibles de

contaminantes (metales pesados, patógenos y parásitos) en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final [12].

Gracias a esta normatividad oficial es posible analizar los biosólidos y determinar su calidad así como el nivel de aprovechamiento y frecuencia con la que deben muestrearse para garantizar la salud humana y la disminución del impacto ambiental. En la Tabla 1 se presentan los criterios de clasificación de lodos y biosólidos para su aprovechamiento establecidos en la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tabla 1. Tabla de clasificación de lodos y biosólidos para su aprovechamiento [12]

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	• Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. • Los establecidos para clase B y C.
Excelente o bueno	B	• Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. • Los establecidos para clase C.
Excelente o bueno	C	• Usos forestales. • Mejoramiento de suelos. • Usos agrícolas.

Aunque la norma especifica la calidad de lodos y biosólidos para su aprovechamiento, no define los aprovechamientos detalladamente y omite las regulaciones que se deben de considerar en el momento de realizar el aprovechamiento, así como el control que se debe de tener para evitar riesgos a la salud o contaminación. México no cuenta con regulaciones para la construcción de digestores anaerobios y su operación.

Es importante mencionar que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) permite generar energía eléctrica para consumo propio pero no es posible venderla, la energía excedente debe ser reincorporada a las líneas eléctricas propiedad de CFE, sin beneficios económicos para la institución o empresa generadora de energía eléctrica, sin embargo el incentivo económico para los organismos operadores de agua es que disminuirán sus gastos energéticos por operación, en el caso de la ciudad de Ensenada la PTAR de CESPE “El Naranjo” gasta \$5.737.130 pesos en energía al año [8].

3. Conclusiones

México no cuenta con datos oficiales sobre la cantidad de lodos generados, ni sus tratamientos y aprovechamientos.

Se debe de realizar una revisión sobre la legislación Mexicana aplicable que permita regular claramente el aprovechamiento y disposición final de lodos residuales, así como la construcción de sistemas de digestión anaerobia.

Es importante el desarrollo de proyectos enfocados al tratamiento y reuso de lodos residuales con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental y los riesgos a la salud pública.

El presente proyecto permite disminuir en un 0,00044% los GEI generados en México por lodos residuales y su aprovechamiento permite capturar 775.000 metros cúbicos de biogás por mes, lo que se traduce en una generación de energía eléctrica de 1.240 kilowatt hora mensualmente, representado un ahorro de \$5.737.130 pesos anuales para la PTAR “El Naranjo” de la ciudad de Ensenada, Baja, California.

Referencias Bibliográficas

- [1] United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). Comisión Canadiense para el manejo de lodos, Greater Moncton Sewerage Commission. *Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource*. Segunda edición. 2008. United Nations Human Settlements Programme. Canada. 632.
- [2] Oropeza N. “*Lodos residuales: estabilización y manejo*”, *Caos Conciencia* Vol.1(5). 2006. pp.51-58.
- [3] Mahamud, M. “*Biosólidos generados en la depuración de aguas (i): planteamiento del problema*”, *Ingeniería del Agua*. Vol. 3(2). 1996. pp.47-62.
- [4] Water environment federation American society of civil engineerings. *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants ASCE Manuals and Reports on engineering practice* No. 76, *WEF Manual of practices* No.8 Volume III. Cuarta Edición. 1998. Water environment federation preserving & embracing the global water environment. EUA. 280.
- [5] Cardoso L, “*Manejo de lodos residuales en México*”, *XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitará y Ambiental*. Vol. 1. 2000. pp. 1-7.
- [6] Cruz, A. 2011 (13 de Abril). <http://www.ai.org.mx/archivos/talleres/aprovechamiento-lodos>.
- [7] Naciones Unidas. 2011 (15 de Abril). <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- [8] Vargas Pelayo, L.M. Octubre 2010. *Comunicación personal*.
- [9] Onyeche T. “*Economic benefits of low pressure sludge homogenization for wastewater treatment plants*”. *CUTEC-Institute*. Vol.1. 2010. pp. 417-422.
- [10] Infantes, P. 2011 (25 de Marzo). <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/biodigestores-tabla-valores-ts-t1237/p0.htm>
- [11] Guardado, J. 2011 (20 de Mayo). <http://www.ecovida.pinar.cu/energia/Documentos/Publicaciones/Tecnologia%20del%20biogas.pdf>
- [12] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2011 (18 de Abril). <http://www.semarnat.gob.mx>

Estimación de las constantes de la tasa de generación de biogás en sitios de disposición final en Baja California, México

Quetzalli Aguilar-Virgen, Sara Ojeda-Benítez, Paul Taboada-González, Margarito Quintero-Núñez,
Carolina Armijo-de Vega
qaguilarv@gmail.com

Resumen

La estimación de las emisiones de biogás en sitios de disposición final de residuos sólidos, con fines de extracción y utilización como fuente renovable de energía y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, ha sido analizada por diversos investigadores. El objetivo de esta investigación fue determinar en cuatro comunidades (dos urbanas, Mexicali y Ensenada; y dos rurales, San Quintín y Vicente Guerrero) de Baja California, México, el índice de generación de metano (k) y el potencial de generación de metano (L_0) para proyectar con mayor precisión la generación de biogás. Se realizaron estudios de caracterización de residuos durante un año, se utilizaron como base algunas constantes del Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0, y se siguieron los lineamientos del Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). Los resultados muestran que el 64% de los residuos generados son orgánicos, lo cual influye en el valor de los parámetros k y L_0 . Los valores de los parámetros promedio obtenidos en los cuatro sitios de estudio son similares a los rangos establecidos por la IPCC y el World Bank Group ($k = 0.0404$ por año y $L_0 = 73.645 \text{ m}^3/\text{Mg}$ de residuo). En algunos modelos los parámetros k y L_0 ya están preestablecidos, sin embargo, se sabe que la determinación de estos parámetros *in situ* otorga una mayor certidumbre a la estimación de la generación de biogás.

Palabras Clave: *energías renovables, generación de energía, metano, residuos sólidos urbanos, vertederos*

1. Introducción

La estimación de las emisiones de biogás en los sitios de disposición final (SDF) ha sido fuertemente analizada por diversos investigadores en todo el mundo, principalmente para conocer su potencial como fuente renovable de energía y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Como resultado se han generado diversos modelos para predecir la generación de biogás y, aunque algunos de ellos proveen automáticamente valores para k y L_0 [1], se considera que la determinación de dichos valores *in situ* proporciona una menor incertidumbre en las proyecciones. Por ello, el objetivo de esta investigación fue determinar estos dos parámetros fundamentales (k y L_0) para calcular el potencial de generación de biogás en los SDF en dos comunidades urbanas (Mexicali y Ensenada) y dos comunidades rurales (San Quintín y Vicente Guerrero) de Baja California, México.

Mexicali (MXL), capital política del estado de Baja California, y cabecera municipal del mismo nombre, se ubica al noroeste de la República Mexicana en la latitud norte del paralelo $32^\circ 39'$ y en la longitud oeste del meridiano $115^\circ 28'$. Presenta un clima cálido-seco con muy poca precipitación anual. Alcanza temperaturas desde -5°C en el invierno hasta 50°C a la sombra en el verano. La ciudad de Ensenada (ENS) es la cabecera municipal del municipio del mismo nombre y se localiza en los $31^\circ 52'$ de latitud norte y los $116^\circ 36'$ de longitud oeste. La precipitación promedio anual histórica es de 250 mm, con un clima mediterráneo, temperatura templada la mayor parte del tiempo y lluvias principalmente en invierno. Las comunidades de San Quintín (SQ) y Vicente Guerrero (VG) se ubican a 195 km y 170 km hacia el sur de ENS. La precipitación total anual en la

región oscila entre los 100 y 200 mm, con una temperatura media anual de 16.61 °C y lluvias principalmente en diciembre y enero. La principal actividad en estas comunidades es la producción agrícola, lo que provoca una población migratoria (principalmente de estados del sur de México) que fluctúa dependiendo de la época del año y la cantidad de trabajo en los campos agrícolas [2].

2. Metodología

2.1 Caracterización de residuos

Los estudios se realizaron en el 2009 en MXL (en tres periodos estacionales), ENS (en dos periodos estacionales), SQ y VG (ambas en dos periodos estacionales). Debido a la disponibilidad de información e infraestructura, la duración y el tamaño de muestras fueron distintas en las cuatro comunidades. En MXL, el análisis de residuos se realizó en los camiones que recorren una ruta en un día de recolección durante tres días. Las muestras fueron de aproximadamente 450 kg/día. En ENS, SQ y VG, el análisis se realizó durante cinco días consecutivos en cada comunidad. Las muestras en cada sitio se tomaron de los residuos depositados por los camiones recolectores municipales en los SDF y fueron de aproximadamente 260 kg/día en ENS, y de 100 kg/día en SQ y VG. El tamaño de las muestras en las cuatro comunidades fueron cantidades mayores a la propuesta en la norma mexicana NMX-AA-015-1985, pero acorde con otras investigaciones [3], [4]. Los residuos de las muestras se clasificaron, pesaron y registraron. Para el registro de los subproductos se utilizó la ficha de registro indicada en la norma mexicana NMX-AA-022-1985. Los subproductos se agruparon en 14 categorías de acuerdo con lo propuesto por SCS Engineers [1].

2.2 Determinación de parámetros *in situ* (k) y L_0

- Índice de generación de metano (k)

Para cada una de las cinco regiones climáticas de México, el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 tiene asignado valores de k para las cuatro categorías de degradación de residuos: muy rápida (DR), moderadamente rápida (DMR), moderadamente lenta (DML), y muy lenta (DL). Estos valores varían en base a la precipitación promedio anual en el clima de la región donde está ubicado el relleno sanitario (RESA), tipo de residuo y clima [1]. Los valores correspondientes a la región climática donde se realizó el estudio (Región 5: Noroeste & Interior Norte) son: DR $k=0.10$, DMR $k=0.05$, DML $k=0.20$, DL $k=0.10$. Estos valores se multiplicaron con la composición de los residuos sólidos domésticos (RSD) para obtener un valor de k por año ponderado del sitio.

- Potencial de generación de metano (L_0)

Se siguieron los lineamientos marcados en las Directrices del IPCC de 2006 [5] para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, en los cuales se menciona que si se cuenta con información del sitio se puede estimar L_0 empleando la ecuación 1[5], [6].

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad (1)$$

donde L_0 es el potencial de generación, MCF es el factor de corrección para el metano, DOC es el carbono orgánico degradable (fracción), DOC_F es la fracción de carbono orgánico degradable asimilado, F es la fracción de CH_4 en el biogás y $\frac{16}{12}$ es la constante estequiométrica.

3. Resultados y Discusión

3.1 Caracterización de residuos

En la Tabla 1 se muestra la composición de los RSD de MXL, ENS, SQ y VG. Se pudo apreciar que el porcentaje de componentes orgánicos promedio total de las comunidades estudiadas es de

aproximadamente 64% y los componentes inorgánicos es de 36%. ENS presenta el de mayor porcentaje de residuos orgánicos con 68.57%, posteriormente MXL con 66.43% y por último las dos comunidades rurales SQ y VG con 62.42% y 58.15% respectivamente.

Tabla 1. Composición de los RSD en porcentaje (%) de los sitios de estudio de Baja California, México

Subproductos de los RSD	MXL	ENS	SQ	VG
Comida	7.64	36.20	30.15	26.54
Papel y Cartón	21.37	11.36	10.33	8.59
Poda (jardines)	20.48	3.20	4.12	8.48
Madera	1.70	0.35	0.46	0.28
Caucho, Piel, Huesos y Paja	0.14	0.22	0.40	0.46
Textiles	9.70	6.24	8.98	5.78
Papel Higiénico	4.30	10.72	7.79	8.03
Otros Orgánicos	1.10	0.28	0.17	0.00
Pañales	3.18	5.83	8.93	14.07
Metales	2.95	2.56	2.98	2.33
Construcción y Demolición	1.79	0.72	1.47	0.24
Vidrio y Cerámica	6.04	4.73	3.41	4.88
Plásticos	15.50	12.34	15.31	14.60
Otros Inorgánicos	4.11	5.26	5.48	5.73

3.2 Índice de generación de metano (k)

Se obtuvo un k promedio para Baja California de 0.0404 por año (MXL $k=0.0307$, ENS $k=0.0482$, SQ $k=0.0420$, VG $k=0.0408$), la obtención de estos valor se puede observar en la Tabla 2. Cabe señalar que los subproductos con categorías de degradación inerte (metales, construcción y demolición, vidrio y cerámica, plásticos y otros inorgánicos) no fueron manejados en la determinación de k .

Tabla 2. Determinación de k en los sitios de estudio de Baja California, México

Subproductos de los RSD	Categoría de degradación	Valor k^a Región 5	Valor de k^b modificado			
			MXL	ENS	SQ	VG
Comida	DR	0.10	0.0076	0.0362	0.0302	0.0265
Papel y Cartón	DML	0.02	0.0043	0.0023	0.0021	0.0017
Poda (jardines)	DMR	0.05	0.0102	0.0016	0.0021	0.0042
Madera	DL	0.01	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Caucho, Piel, Huesos y Paja	DL	0.01	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Textiles	DML	0.02	0.0019	0.0012	0.0018	0.0012
Papel Higiénico	DMR	0.05	0.0022	0.0054	0.0039	0.0040
Otros Orgánicos	DR	0.10	0.0011	0.0003	0.0002	-
Pañales ^c	DR	0.10	0.0032	0.0012	0.0018	0.0028
k ponderada			0.0307	0.0482	0.0420	0.0406

^a Valores que son determinados por el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0

^b Valores calculados de acuerdo con los porcentajes obtenidos en la Tabla 1

^c En los pañales se asume 20% orgánico y 80% inorgánico

Los valores de k obtenidos se encuentran dentro de los rangos mencionados en otras investigaciones y concuerdan con las características de los sitios, principalmente MXL ($k=0.0307$) y ENS ($k=0.0482$), para los cuales, de acuerdo con el World Bank Group [7] y ETEISA [8], el valor va de 0.02 para sitios secos a 0.047 para sitios húmedos.

3.3 Potencial de generación de metano (L_0)

El valor promedio de L_0 para Baja California es de 73.645 m³/Mg de residuo (ver Tabla 3). Se sabe que a mayor contenido de celulosa le corresponde un mayor valor de L_0 . Sin embargo, en el caso de MXL cuyos RSD presentan el mayor contenido de celulosa, no se puede considerar el mayor valor de L_0 debido al manejo que tienen los residuos.

Tabla 3. Determinación de L_0 en los sitios de estudio de Baja California, México

Sitio de estudio	MCF ^a	DOC ^b	DOC _F ^c	F ^d	Constante	L_0 (m ³ /Mg)
MXL	0.8	0.1930	0.77	0.5	16/12	79.529
ENS	1	0.1741	0.77	0.5	16/12	89.371
SQ	0.8	0.1620	0.77	0.5	16/12	66.528
VG	0.8	0.1447	0.77	0.5	16/12	59.423

^a MXL, SQ y VG se consideran sitios sin manejo y ENS con manejo, todos con una profundidad ≥ 5 m

^b Valores calculados de acuerdo con los porcentajes obtenidos en la Tabla 1

^c Valor predeterminado utilizado por la IPCC [6]

^d Valor asumido en 0.5 [5], [6]

Otros estudios en México han utilizado diferentes metodologías para obtener estos parámetros, a pesar de ser realizados por la misma empresa consultora ambiental. Tales son los casos de Ensenada, Chihuahua y Querétaro. En Ensenada en el 2006 se realizó un estudio en el antiguo vertedero controlado, utilizándose un estudio de caracterización de residuos de ocho años atrás para ajustar el resultado de los parámetros k y L_0 , 0.05 por año y 60 m³/Mg respectivamente [9]. En Chihuahua y Querétaro, el ajuste de los valores se realizó de acuerdo a la composición de residuos de Estados Unidos de América (EUA) y se obtuvieron tres niveles de k de acuerdo con el grado de degradación (DR, degradación rápida; DM, degradación mediana; y DL, degradación lenta). En Chihuahua los valores de k fueron: 0.100, 0.020, y 0.005 por año y L_0 de 63.2 m³/Mg [10]. En Querétaro los valores de k fueron: 0.140, 0.028 y 0.007 por año y L_0 de 73.1 m³/Mg [11].

En un estudio en Monterrey, Nuevo León, México, se siguió una metodología diferente para estimar los parámetros k y L_0 . En el caso de k (0.066 por año) se utilizó el Método 2E de la USEPA y para L_0 (95.4 m³/Mg) se utilizó la precipitación anual de la ciudad y la relación existente entre los datos del flujo de operación de proyectos de EUA y su precipitación anual [12].

En América Latina (AL), se encontraron diversos estudios donde se basan principalmente en la composición de EUA para hacer los ajustes a los parámetros del modelo. Tales son los casos de Lima, Perú [13], Guatemala, Guatemala [14], Manizales, Colombia [15], Montevideo, Uruguay [16], en donde los valores para L_0 oscilaron entre 68 y 91 m³/Mg y para k en DR estuvieron entre 0.1 y 0.4, DM de 0.02 a 0.08, y DL de 0.005 a 0.02 por año. No obstante, estos valores pudieran diferir con los valores *in situ* debido a que el manejo y la composición de los residuos generados en EUA es diferente a los de AL, aunado a las características propias del lugar (clima, hidrología y otros).

4. Conclusiones

A pesar de que existen modelos que proporcionan valores establecidos de k y L_0 , utilizar valores *in situ* reduce la posibilidad de sobreestimar o subestimar el potencial de generación de biogás. Para ello, se debe de conocer la composición de residuos. En la presente investigación se reporta un alto grado de componentes orgánicos (64% en promedio) dispuestos en cuatro SDF de Baja California.

La composición de residuos orgánicos en ENS y MXL son muy similares (68.57% y 66.43% respectivamente). No obstante, la distribución de porcentajes de residuos en las diferentes categorías (principalmente en residuos de comida y poda) marco diferencias en los valores de k . Ahora bien, el SDF cuyos RSD contienen una mayor cantidad de celulosa es el de MXL, pero el

hecho de no cumplir con los requisitos necesarios para ser considerado un RESA, afecta la producción de metano, disminuyendo el valor de L_0 .

Es importante recalcar que estas cuatro comunidades pertenecen a una misma región de México, por lo que de acuerdo con los modelos preestablecidos tienen un mismo valor de k y L_0 , sin embargo de acuerdo a las características propias del lugar se demostró que no es posible generalizar dichos valores. Los países de América Latina deben de comenzar a desarrollar sus propios parámetros de ajuste, con métodos y criterios estandarizados para que la información generada pueda ser comparada entre países que comparten similitudes en composición y manejo de residuos, clima, culturas, entre otros. La utilización de información proveniente de países que presentan notables diferencias respecto a los países latinoamericanos, como EUA, puede conducir a errores.

Referencias Bibliográficas

- [1] SCS Engineers. 2009 (7/Dic/09). "Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0" http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/manual_del_usuario_modelo_mexicano_de_biogas_v2_2009.pdf
- [2] IMIP (Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada). 2007. "Programa de Desarrollo Regional, Región 'San Quintín' " Ensenada, B.C. México.
- [3] Zeng Y., Trauth K.M., Peyton R.L., Banerji S.K., "Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri". *Waste Management Research*. Vol. 23(1). 2005. pp. 62-71.
- [4] Chung S.-S., Poon C.-S., "Characterisation of municipal solid waste and its recyclable contents of Guangzhou". *Waste Management Research*. Vol. 19(6). 2001. pp. 473-485.
- [5] IPCC, "Waste," in *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds), vol. 5, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.
- [6] IPCC, "CH₄ Emissions from Solid Waste Disposal," in *Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2002, pp. 419-439.
- [7] World Bank Group. 2004 (2/Abr/10). "Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean" http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_access_008.htm
- [8] ETEISA. 2006 (2/Abr/10) "Estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento del biogas generado en el relleno sanitario 'Don Juanito', Municipio de Villavicencio, Colombia" <http://www.bioagricoladellano.com.co/website/documentos/?C=M;O=A>
- [9] SCS Engineers. 2007. "Informe de la prueba de extracción y estudio de pre-factibilidad para recuperación y utilización de biogás en el relleno sanitario de Ensenada, México"
- [10] SCS Engineers. 2005 (15/Jun/08). "Estudio de pre-factibilidad para la recuperación y utilización en el relleno sanitario de Chihuahua, Chihuahua, México" http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Chihuahua_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf
- [11] SCS Engineers. 2005 (15/Jun/08). "Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía en el relleno sanitario de Querétaro, Querétaro, México" http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Chihuahua_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf
- [12] LFG Consult. 2007 (16/Jun/2008), "Case studies of CDM - Landfill Gas Projects Monterrey, Mexico (Benlesa)" <http://siteresources.worldbank.org/INTLACREGTOPURBDEV/Resources/840343-81178120035287/ModelMonterrey.pdf>
- [13] SCS Engineers. 2005 (14/Jun/08). "Report of the pump test and pre-feasibility study for

landfill gas recovery and energy production at the Huaycoloro landfill Lima, Peru” http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/English/Huaycoloro_PreFeasibility_Study_English.pdf

[14] SCS Engineers. 2005 (14/Jun/08). “Informe de la prueba de extracción y estudio de pre-viabilidad para la recuperación de biogás en el relleno sanitario de El Trébol, Ciudad de Guatemala, Guatemala” www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/el_trebol_report_sp.pdf

[15] SCS Engineers. 2005 (14/Jun/08). “Estudio de pre-factibilidad de recuperación y utilización de biogás en el relleno sanitario de La Esmeralda Manizales, Colombia” http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/La_Esmeralda_PreFeasibility_Spanish.pdf

[16] SCS Engineers. 2005 (14/Jun/2008) “Reporte de prueba de bombeo y estudio de pre-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía en el relleno sanitario de Montevideo, Montevideo, Uruguay” http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Montevideo_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf

Evaluación del potencial de generación de electricidad con residuos sólidos. Caso: Estado de Hidalgo

Hipólito Romero Tehuitzil, Ubaldo Miranda Miranda, Ricardo Saldaña Flores
hrt@iie.org.mx

Resumen

Se presenta un estudio para la evaluación del potencial de biomasa para el Estado de Hidalgo, México. Con el objetivo de analizar la posibilidad de generar electricidad a partir de la biomasa disponible en el estado de Hidalgo. Se considero la evaluación de 3 tipos de biomasa: residuos agrícolas, residuos forestales y los residuos sólidos municipales. Se elaboro el mapa con localización de los recursos biomásicos y las posibles tecnologías para la conversión de la biomasa a energía. En el caso de los residuos agrícolas y forestales el potencial se estimo en 80.54 MW, usando para su conversión a energía la tecnología de gasificación. El potencial energético de los residuos sólidos municipales se estimo de la producción de gas por fermentación, la cantidad de basura reportada a nivel municipal y una tasa de generación de gas por tonelada de basura. Un total de 9.54 MW pueden ser generados a nivel estatal, de estos 4.34 MW son de rellenos sanitarios y 5.23 MW de tiraderos a cielo abierto. Una estimación más precisa del potencial de residuos sólidos municipales se realizo con el modelo mexicano de generación de gas de rellenos sanitarios, Methane to Markets de la United States Environmental Protection Agency. De la aplicación de este método se obtuvo que los sitios con posibilidad de realizar proyectos de generación de electricidad son los rellenos sanitarios de Pachuca (0.817 MW) y Tula (0.661 MW).

Palabras Clave: *residuos sólidos municipales, residuos agrícolas, residuos forestales*

1. Introducción

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía (BNE, 2008) de México, la producción de energía primaria sumo 10,500.16 (PJ), el 89.1% corresponde a Hidrocarburos y el resto se distribuye de la siguiente manera, el 5.4% a electricidad primaria, biomasa el 3.3% y carbón el 2.2%. De las estadísticas anteriores, se puede deducir que la economía mexicana es dependiente de los hidrocarburos. Y la participación de las energías renovables en la producción de energía primaria es apenas perceptible [1]. Sin embargo diversos factores como la disminución de la reserva nacional de hidrocarburos y la reciente crisis financiera mundial han motivado que se mire hacia la utilización de energías renovables. Por ejemplo, en el caso de la energía eólica en el año 2008 se observo un incremento de 3.1% con respecto al año 2007, con tendencia de crecimiento en forma continua durante los próximos años [2]. Con respecto al uso de la biomasa, la principal participación que se registra en el BNE es del bagazo de la caña de azúcar, la cual es utilizada como combustible en los ingenios para los mismos procesos de producción de azúcar. Sin embargo, otra fuente importante de biomasa constituida por: residuos sólidos municipales, agrícolas y forestales no está siendo aprovechada como materia prima para obtener energía. El presente trabajo analiza la posibilidad de generar electricidad a partir de la biomasa disponible y es parte de un estudio completo sobre energías renovables para el Estado de Hidalgo [3,4].

2. Metodología

Para evaluar el potencial de los residuos agrícolas, forestales, y municipales se emplearon las estadísticas oficiales del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) [5].

2.1 Residuos sólidos municipales

El cálculo del potencial de generación eléctrica para residuos sólidos municipales (RSM) se realizó adoptando la relación presentada por la USEPA [6], considerando para ello la cantidad de basura en toneladas (CB) y multiplicada por un constante de generación de gas de relleno sanitario (CGRS) [7], el contenido de energía del gas de relleno sanitario (CE) es aproximadamente 500 BTU/ft³, la tasa calorífica (TC) se consideró en 12,000 Btu/kWh para motores de combustión interna.

$$Kw = CB * CGRS * 500 * (1/TC) * (1/24) \quad (1)$$

2.2 Residuos Agrícolas

Para el cálculo del potencial de generación de electricidad para residuos agrícolas se consideraron los datos reportados en el último censo agropecuario del INEGI [5]. A partir de la producción anual de productos cosechados por especie se estima la generación de residuos de acuerdo a las constantes de generación de residuos reportadas para México [7], Tabla 1.

Tabla 1. Generación de residuos agrícolas

Productos	Tasa de producción de residuos (kg bs)
Avena	1.3
Cebada grano	2.3
Frijol	1.5
Maíz	1.5
Otros	1

$$Kw = \sum_{i=1}^n MRA * (kWh/1.5kg) / (7000 \text{ horas/año} * 0.75) \quad (2)$$

Donde MRA es la masa de residuos agrícolas, i= la especie agrícola. Se considera una planta de generación trabajando 7000 horas al año con una eficiencia del 75%, el consumo de biomasa promedio para generar 1 kWh de electricidad es 1.5 kg [8]. En el caso de la MRA de maíz se ha considerado el 40% de la cantidad total estimada como generación de residuos factible de ser convertida a electricidad. Debido a que se estima que un 60% de los residuos de maíz son usados en la nutrición animal [9].

2.4 Residuos forestales

Para el cálculo del potencial de generación de electricidad para residuos forestales se considera lo siguiente: 1) el volumen de producción maderable total (M) incluye las actividades industriales y comerciales que generan productos como madera en rollo, de aserradero, para postería, leña, celulosa, carbón y otros usos. Se estima que la generación de residuos maderables de estas actividades es equivalente al 45% [10] del volumen de la producción maderable total. 2) se considera el volumen de producción total no maderable recolectado (NM) para la venta principalmente como leña susceptible de ser convertida a energía por medio de tecnología de gasificación. Para obtener la masa de residuos forestales por año (MRF) se multiplica el volumen de M+NM y se multiplica por una densidad de madera promediada ($\rho_{mp} = 53 \text{ ton/m}^3$) [11]. El potencial de electricidad en kW se calcula con la relación (2).

2.5 Mapa del Potencial del Generación Eléctrica con Biomasa.

Con los resultados de la evaluación del potencial de generación eléctrica con los residuos agrícolas, forestales y municipales, se elaboró un mapa de información geográfica para el estado de Hidalgo. Se utilizó el sistema de información geográfica, ARCINFO [12].

3. Resultados

3.1 Residuos agrícolas y forestales

De acuerdo con la Tabla 2, el potencial de generación eléctrica con residuos agrícolas y forestales se estima en 80.544 MW usando tecnología de gasificación.

Tabla 2. Generación de energía a partir de residuos agrícolas y forestales

Cultivo	Residuos (ton /año)	Fracción aprovechable (%)	Residuos para energía (ton)	Generación de energía (MW)
Cebada grano	494768.20	0.40	197907.30	25.13
Frijol	23720.60	1.0	23720.60	3.01
Maíz Amarillo	110093.80	0.40	44037.50	5.59
Maíz Blanco	721632.60	0.40	288653.0	36.65
Otros (agrícolas)	190507.90	0.40	76203.20	9.68
Forestal	9 336.2	0.50	4668.10	0.48
Totales	1550059.3		634288.70	80.54

3.2 Residuos sólidos municipales

De acuerdo con la Tabla 3, los RSM tienen un potencial estimado de 9.58 MW, sin embargo la mayoría de los sitios donde se deposita la basura son tiraderos a cielo abierto y no cumplen con los criterios técnicos para el desarrollo de un proyecto de recuperación de biogás a electricidad. De 83 sitios donde se deposita la basura 3 municipios (Pachuca, Tulancingo y Tula) concentran la mayor cantidad de basura y el mayor potencial de aprovechamiento del gas metano. Para validar la información estadística, se realizó una visita a estos sitios y se aplicó un cuestionario de acuerdo al Modelo Mexicano M2M para evaluación de RSM [13]. En las Figuras 1a, 1b y 1c se muestran fotografías aéreas de los rellenos sanitarios de Hidalgo evaluados. La Figura 1a, corresponde al RSM de Pachuca, se observa un polígono color café claro característico del recubrimiento de la basura con arcilla, la mancha en color blanco indica el área de operación donde se deposita la basura. La figura 1b, muestra el RSM de Tulancingo, se observa la superficie en blanco característica de la basura expuesta a cielo abierto, sin cubierta impermeable. En la Figura 1c, se muestra el RSM de Tula actualmente clausurado y con cubierta impermeable.

Tabla 3. Generación de energía con residuos sólidos municipales

	Numero de sitios	Cantidad de basura (Ton)	Potencial (MW)
Relleno sanitario	5	258,785	4.35
Tiradero a cielo abierto	79	311,615	5.24
Total	84	570,400	9.58

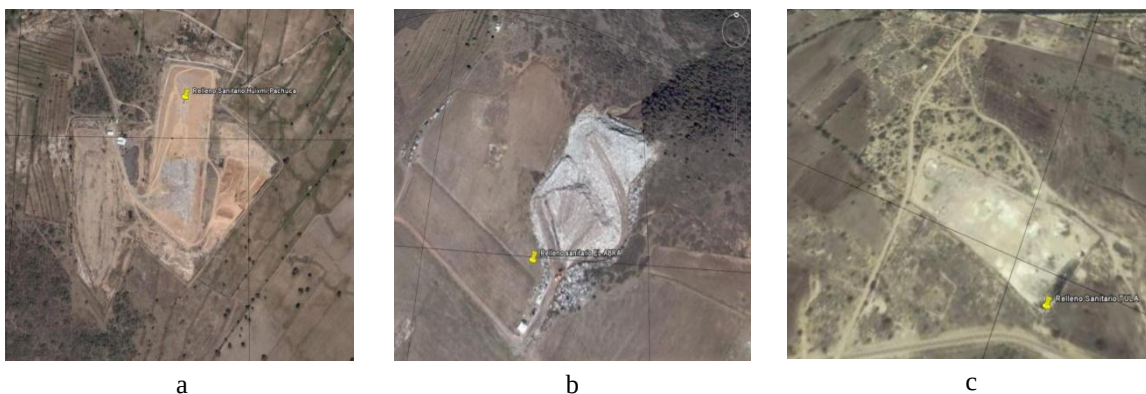


Figura 1. a) Relleno sanitario de Pachuca b) Relleno sanitario de Tulancingo c) Relleno sanitario de Tula

En la Tabla 4, se muestran los datos que se ingresaron al software M2M, para la evaluación técnica de los RSM.

Tabla 4. Características de los RSM de Hidalgo

	Pachuca	Tulancingo	Tula
Año de apertura y de depósito de basura	1996	2003	1993
Profundidad promedio (m)	19	14	18
Cantidad actual de basura en el sitio (Ton)	2,219,200	381,150	650,000
Constante R (Ton)	138,700	62,050	36,500

En la Figura 2 se resume el potencial de generación de metano estimado con el software M2M. En todos los casos las curvas de la gráfica muestran el potencial de generación de biogás con 50% de metano y el año 2009 como fecha de inicio de un proyecto de recuperación y aprovechamiento del biogás. Para el RSM de Pachuca la curva considera el 87% de recuperación de gas generado de acuerdo al confinamiento adecuado de la basura establecido por el Software M2M. Para el RSM de Tula el software M2M estima un 89% de recuperación del gas generado. Y para el RSM de Tulancingo considera un 47% de la recuperación del gas de relleno sanitario, debido principalmente a la falta de recubrimiento final, tal y como se puede observar en las fotografías aéreas (Figuras: 1a, 1b, 1c) y otras buenas prácticas para el confinamiento de la basura. En la Tabla 5, se presenta el promedio de la capacidad de generación eléctrica durante un tiempo de vida promedio de 30 años. Como se puede observar, los RSM de Pachuca y Tula ofrecen la mayor posibilidad de aprovechamiento de metano para convertirse a electricidad. El RSM de Tulancingo tiene el potencial de aprovechamiento más bajo, debido a la cantidad de basura confinada a cielo abierto.

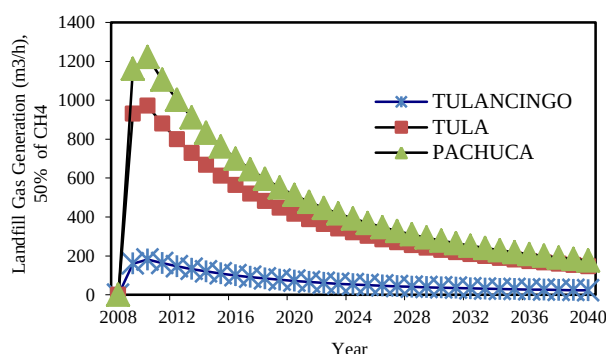


Figura 2. Proyección de recuperación de gas en los rellenos sanitarios seleccionados

Tabla 5. Resultados de Evaluación Técnica

RSM	Pachuca	Tulancingo	Tula
Capacidad de generación eléctrica (MW)	0.817	0.661	0.134

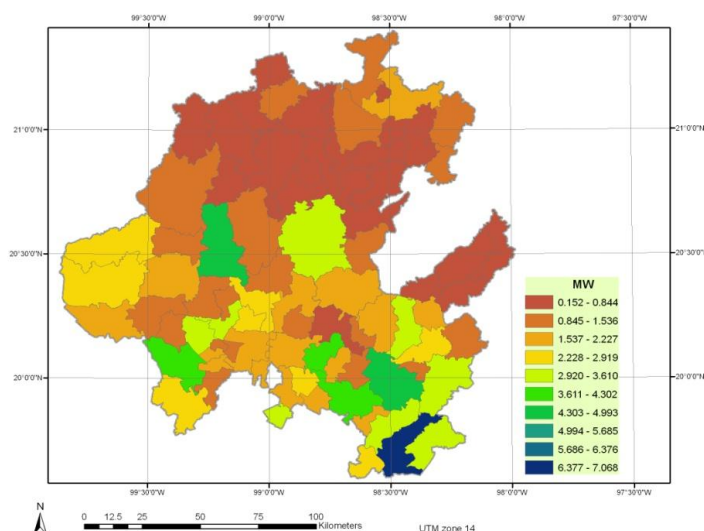


Figura 3. Mapa de bioenergía para el Estado de Hidalgo

3.3 Mapa de bioenergía y conclusión

En la Figura 3, se representa el potencial energético proveniente de sumar el potencial estimado para residuos agrícolas, forestales y de residuos sólidos municipales de las secciones anteriores. Existen varios municipios clasificados en color verde a azul donde se podría generar de 2.9 a 7.0 MW de electricidad. Desde el punto de vista energético esto resultaría de gran utilidad para la poblaciones que tienen esos recursos, pues podría utilizarse para realizar actividades que actualmente demandan el consumo de combustibles fósiles, o que aún no cuentan con la distribución de electricidad de la red nacional. De aplicarse tecnologías de conversión de residuos sólidos se obtendrían beneficios económicos, y de impacto social.

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría de Energía. *Balance Nacional de Energía 2008*. Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Secretaría de Energía, México, 2009.
- [2] Secretaría de Energía. *Perspectivas del sector eléctrico 2009-2024*. Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico, México. Ediciones: 2009. www.energiagob.mx
- [3] Saldaña-Flores, R et. al., *Estudio del Potencial Energético de los Recursos Renovables en el Estado de Hidalgo y Evaluación del Potencial de Generación Eoloeléctrica en el Municipio de Tizayuca*. Mayo 2009. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México.
- [4] Romero-Tehuiztil, H. *Estudio de Prefactibilidad Técnico-Económica de la Generación Eléctrica en Tres Rellenos Sanitarios del Estado de Hidalgo*, Proyecto: FOMIX-HGO-2006-C01-48987. Mayo 2009. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México.
- [5] INEGI, *Censo Agrícola y Ganadero*, 2007. www.inegi.gob.mx
- [6] Environmental Protection Agency. *Turning a Liability Into an Asset: A landfill gas-to-Energy Project Development Handbook*. United States. EPA 430-B-96-0004. September, 1996.
- [7] Comisión Nacional Forestal. SEMARNAT. *La Bioenergía en México*. Grupo Mundi Press. México. 2006. p.28.
- [8] Das S., Jash T. District-level biomass resource assessment: A case study of an Indian State West Bengal. *Biomass and Bioenergy*. 33 (2009) p.137-143.

- [9] Villegas-Durán G., Bolaños-Medina A., Olguín Prado L. *La ganadería en México*. Editado por el Instituto de Geografía, UNAM, 2001. México.
- [10] Gerencia de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. Comisión Nacional Forestal. Octubre 2010. México. *Comunicación vía E-mail*.
- [11] Brown S. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer*. 1997. W4095/E. Number in series 134. FAO Forestry Papers. Department of Natural Resources and Environmental Sciences University of Illinois Urbana, Illinois, USA. A Forest Resources Assessment publication. FAO Forestry paper 134.1997.
- [12] *Software ArcGIS*. ArcInfo v. 9.2 .ESRI. USA.
- [13] U.S. Environmental Protection Agency. *Methane to Markets Software y User's Manual Mexico Landfill Gas Model V.2*. SCI- USEPA. Washington, D.C. Landfill Methane Outreach Program. Marzo, 2009.

Viabilidad de la valorización energética de los RSU que se generan en el vertedero el Iztete, de Tepic-Nayarit.

Claudia E. Saldaña Durán, Paz Hernández Rosales, Sarah Messina Fernández, José A. Pérez Pimienta
cesduran@uan.edu.mx

Resumen

La producción de residuos sólidos urbanos (RSU) ha aumentado en todo el mundo como consecuencia del incremento de la población, las actividades humanas y el desarrollo de la tecnología. Adicionalmente, la gestión en el manejo y la disposición final de los residuos es compleja debido a la variedad y cantidad de desechos, a un sistema de recolección ineficiente, a la inadecuada disposición final, a bajos presupuestos asignados al manejo de los residuos, impactos al ambiente, falta de participación ciudadana, y a los patrones de consumo de la sociedad. En Tepic-Nayarit, los residuos sólidos urbanos son depositados en el Vertedero Municipal El Iztete, el cual no cuenta con la infraestructura necesaria para llevar un control del manejo de los residuos que ingresan, el promedio por mes de residuos recolectados es de 19, 852 toneladas. De donde se deriva el objetivo de este trabajo en una primera etapa, analizar la viabilidad de la valorización energética de las 238, 224 toneladas anuales de RSU que se generan en el vertedero. Para ello primero se caracterizó físicamente por el método del cuarteo a los RSU y se estimó el potencial energético teórico para su utilización como combustible en un incinerador.

Palabras clave: *caracterización física, disposición final, potencial energético, tratamientos*

1. Introducción

La producción de RSU en Tepic ha aumentado como consecuencia del incremento de la población, las actividades humanas y el desarrollo de la tecnología. El método más común de eliminación de RSU utilizados en los países en vías de desarrollo, es el tiradero a cielo abierto. Este método de eliminación plantea en la salud pública y el ambiente, impactos graves y negativos.

La cantidad diaria de los RSU en Tepic ha aumentado de 300 toneladas en el 2003 a 600 toneladas en el 2011 y se espera que aumente a 800 toneladas en el 2015 [1]. Tepic, no tiene un relleno sanitario para la eliminación adecuada de los residuos, se entierran en el sitio el Iztete, la recogida se distribuye a nivel municipio en 239 colonias populares, servicios a 44 poblados, 31 edificios públicos, 5 mercados municipales, 160 escuelas públicas y privadas, 147 convenios [1]. Se observó en el sitio, que los pepenadores separan de forma manual materiales en pequeños porcentajes como plástico PET, HDPE, aluminio, metales, madera, papel y cartón que se destinan a la comercialización. Los pepenadores, y recolectores no cuentan con equipos para la clasificación de materiales, por desgracia sufren de problemas de salud y lesiones debido al polvo y objetos punzocortantes. El proceso de la mezcla de los residuos que no se alcanzan a separar, se entierran con pala mecánica.

El problema de saneamiento es deficiente y constituye una amenaza para la salud de la población y el ambiente debido al crecimiento de la zona urbana. El volumen de basura en la ciudad ha llegado a niveles elevados que hoy plantea serios problemas en la recogida y disposición final; las prácticas de manejo de residuos que se llevan a cabo en la actualidad no bastan para la generación diaria de 600 toneladas.

1.1 Viabilidad de la valorización energética de los residuos sólidos urbanos

En el último siglo la basura ha sido considerada como un recurso energético, ya que por un lado cuando es depositada en rellenos sanitarios o basureros, ésta produce biogás con un contenido de 50% de metano, y por el otro puede someterse a procesos termoquímicos de incineración o gasificación, dando lugar a la generación de energía, ya sea vía generación de vapor en el caso de la incineración, o una mezcla de gases compuesta por CO, H₂ y CH₄ en el caso de la gasificación, que también puede ser empleado para generar vapor, como combustible en motores de combustión interna o en celdas de combustible en el futuro cercano.

Un factor importante de la basura como insumo energético es el referente a su poder calorífico, ya que de este depende la cantidad de energía que se pueda generar, así como de su contenido de humedad. El poder calorífico de la basura típico oscila entre 4.2 hasta 21.2 MJ/kg dependiendo del contenido de humedad que contenga.

En esta investigación se consideró al proceso térmico de la incineración como la alternativa más viable, para solucionar rápidamente el problema que tiene el tiradero el Iztete. Debido a que la incineración es un proceso que en presencia de aire en exceso, transforma la basura a cenizas y gases de combustión a temperaturas del orden de los 800 a los 1,000°C. La basura puede producir entre 250 y 750 kWh/ton, dependiendo del poder calorífico de la misma y del pretratamiento a que sea sometida. Y por ser la tecnología más estudiada y económica.

Por otro lado está la producción de energía con biogás utilizando basura. El biogás de relleno sanitario es una mezcla de gases, compuesta por metano en una proporción del 55% y bióxido de carbono con un 35%, el resto es nitrógeno, hidrógeno y otros gases en cantidades traza. El biogás tiene un poder calorífico medio de aproximadamente 4,500 Kcal/m³, se puede emplear en motores de combustión interna, turbinas de gas, y celdas de combustible.

En México existe una planta de 7.4 MW instalada en el relleno sanitario del Salinas Victoria en la zona conurbada de Monterrey, está instalada en una celda que contiene 7 millones de toneladas de basura municipal. La energía generada es enviada por la red eléctrica de CFE hasta la zona metropolitana de Monterrey para ser usada en alumbrado público, bombeo de agua y transporte colectivo de la ciudad.

2. Metodología

En la primera fase del estudio, se tomaron 8 muestras de los RSU en el sitio de disposición final el Iztete, (durante 3 semanas, se escogieron los días y las rutas de recogida al azar) que corresponden a las 49 rutas de recogida del ayuntamiento, suficiente para el periodo a estudiar. Cada día de muestreo se observó que el camión recolector estaba lleno de su capacidad de 8 toneladas. La toma de muestras se llevaron a cabo según los procedimientos establecidos en la norma NMX-AA-015-1985 [2], el camión seleccionado para su estudio descargó los residuos en una zona asignada para la realización de los cuarteos. Sobre la mezcla descargada por el camión se realizaron cuarteos sucesivos mediante pala cargadora hasta obtener de forma manual una muestra cuyo peso oscilara entre 100 y 50 kg.

Una vez separada la muestra a estudiar, se pesó en un contenedor de 120 l obteniendo así una estimación de la densidad media (ver Figura 1).



Figura. 1 Cuarteo y toma de la muestra de la mezcla de los residuos de la ruta seleccionada en el vertedero el Iztete en Tepic.

Seleccionada la muestra y pesada se procedió, al análisis físico. Para la determinación de las clasificación, se efectuó el proceso sobre una superficie limpia. Se realizó diferentes cribados y los residuos se clasificaron en categorías, se describió los componentes individuales que constituyen los residuos en masa, y su distribución relativa en porcentajes en peso (ver Figura 2).



Figura. 2 Proceso para la determinación de la caracterización física de los RSU en Tepic.

La identificación de cada uno de los materiales para la determinación de la caracterización física de los RSU, es muy importante en los estudios de residuos para determinar el potencial de cada uno de los materiales en los procesos de reciclaje.

3. Resultados y discusión

Para establecer la composición de los residuos sólidos se tomaron muestras diariamente entre 50-100 kilogramos de residuos vertidos durante ocho días en el Iztete. Para su determinación se tomo en cuenta las siguientes categorías [3], (ver la Tabla 1). Los resultados de los análisis de los RSU, muestran los componentes y sus porcentajes. La Figura 3 muestra los valores en porcentajes de las 14 categorías principales, como restos de comida y poda, celulosa sanitaria, papel y cartón, plásticos, vidrio, tetrapack, madera, calzado, textiles, goma, caucho y cuero, metales, RP, tierra, cenizas, cerámica, y otros. También se representa las categorías de residuos en sub-categorías, que pueden ser importantes para futuras aplicaciones como programas de separación selectiva en el origen, y un potencial para el mercado del reciclaje. Los datos recogidos y la evaluación efectuada determinan medidas de mejora en el manejo de los RSU, indican planes de acciones específicas para las ciudades [4].

Tabla. 1 Categorías para la determinación de la caracterización física de los RSU en Tepic.

Categorías	Residuos
Fracción orgánica:	Alimentos, residuos de jardinería
Celulosa sanitaria	Pañales, toallas sanitarias, compresas de algodón
Papel y cartón	Periódico, revistas, hojas, papel de envoltura de alimentos, servilletas, cajas de cartón
Plásticos:	PET (1), PEAD (2) o HDPE, PVC (3) o V, PEBD (4) o LDPE, PP (5), PS (6), Envolturas, Bolsas, Desechables, Otros plásticos

Vidrio	Transparente y de color
Tetrapack	Envases
Madera	Residuos de cajas, materiales
Calzado	En general
Textiles	Retazos de tela y ropa de vestir
Goma, caucho y cuero	Guantes, globos, cuero, residuos de neumáticos, tubos
Metales:	Metales ferrosos, Metales no ferrosos, Papel de aluminio
RP	Medicamentos envases, pilas, cartuchos de tinta, radiografías
Tierra, cenizas, cerámica	Tierra y residuos de azulejo y vajilla
Otros	Material eléctrico y electrónico, productos multi-material

La composición de los residuos depende de una amplia gama de factores como los hábitos alimenticios, la cultura, estilos de vida, clima y ingresos, etc. [5]. La materia orgánica representa la mayor generación de residuos con el 37,01 %, se compone de restos de comida y jardinería. Los volúmenes de residuos orgánicos aumentan en muchos países y existe la necesidad urgente de manejos sostenibles para su disposición, tienen el potencial de desempeñar un beneficio en la rehabilitación de suelos de sitios contaminados y sitios postindustriales [6] - [7] - [8].

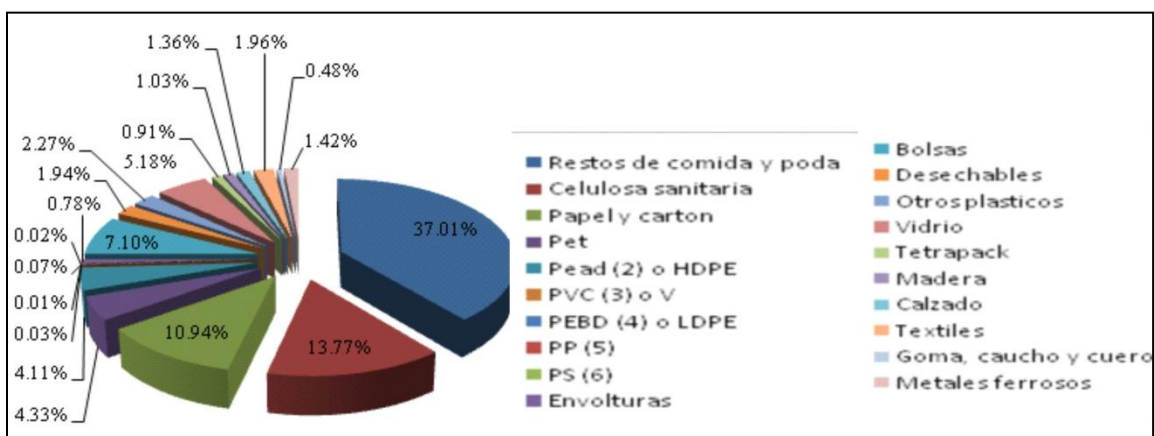


Figura. 3 Composición del material mezcla de los RSU distribuidos en porcentaje en peso.

La categoría de residuo de celulosa sanitaria (pañales, toallas y compresas sanitarias en general) representa el segundo lugar de producción con un 13,77 %, lo que permite una opción de incineración como eliminación. Por otra parte la suma de las subcategorías de plásticos con un 20.66 % contribuye significativamente a la producción, al volumen y espacio en la disposición final de los residuos. Las categorías de menor aportación de porcentajes, pero significativas para el reciclaje como: papel y cartón con un 10,94 %, vidrio con 5,18 %, metales con 2.94 %, tetrapack con 0,91 %, madera, calzado, textiles, goma, con 1.00 %. Componentes que determinan específicamente futuros programas de separación selectiva. La generación de los RSU contienen en promedio hasta el 24% de materiales reciclables: papel, cartón, metales, vidrio, plásticos y textiles [9].

3.1 Poder calorífico del material mezcla de los residuos sólidos urbanos

Con base en la caracterización física de los RSU se utilizaron los modelos empíricos de Dulong, Steuer y Scheurer-Kestner [10] para la estimación del contenido de energía de los residuos. Así, se determinó el valor calorífico CV (por sus siglas en inglés) utilizando la sumatoria del producto de los valores genéricos del contenido energético de cada componente de la muestra que contiene residuos de comida, papel, cartón y plásticos a la que se denominará “OPCP” multiplicado por su fracción de la muestra de RSU, de acuerdo con lo establecido en los cálculos de Tchobanoglous [11].

Tabla. 2 Valor calorífico de la muestra OPCP de los RSU.

Modelo	Valor calorífico CV (kcal/kg)
Modelo Dulong	2052.86
Modelo Steuer	2285.47
Modelo Scheurer-Kestner	2506.19

Con base en los datos de recolección de RSU de la Tabla 2, se obtuvo el valor promedio mensual de 19858.66 Tm, de los cuales sólo podría utilizarse el 81.13% para su incineración (16,111.334 Tm de OPCP/mes). De acuerdo con el CV obtenido por el Modelo de Dulong, la incineración de la muestra OPCP nos proporciona 33074.32 Mcal/mes lo que equivale a 38.44MWh/mes. Considerando el factor de conversión de rendimiento eléctrico equivalente de una planta incineradora de España de 50.5% se tiene una producción de 19.41MWh/mes (0.64MWh/día) [12]. Adicionalmente, se utilizaron las equivalencias de energía producida en relación al combustible usado [13]. Con base en éstos se logró que con la incineración de la porción OPCP de los RSU se obtuvo la energía térmica suficiente para sustituir 55kg de petróleo o 64m³ de gas natural al día.

4. Conclusiones

Se evaluó la composición y características físicas de los RSU, se determina que un alto porcentaje de materiales deben ser separados en el origen y transferidos a un centro de reciclaje de recuperación para aumentar su potencial económico. El 37% de los residuos es materia orgánica, por lo que el compostaje es buen método para el tratamiento de suelos contaminados. Este tipo de análisis proporciona a los responsables de las decisiones locales en el manejo de los residuos, una oportunidad de promover alternativas de gestión y políticas a nivel local y estatal. La separación de residuos en el origen y los programas de reciclado o reutilización de materiales, reducen su cantidad en la disposición final y ofrece materia prima para los fabricantes. En el vertedero actual el Iztete, la recuperación de los materiales plásticos, metales, papel y cartón se lleva a cabo de forma primitiva y su valor económico es bajo debido a lo contaminado, algunos no pueden ser reciclados del resto porque deben ser tratados para su transformación, lo que aumenta el costo en el proceso. Este sitio debe ser cerrado y rehabilitado para una planta de transferencia y preparar un relleno sanitario para la eliminación de los residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] DAP. H. XXXVII AYUNTAMIENTO DE TEPIC. *Informe de la Dirección de Aseo Público*. 2010.
- [2] NMX-AA-015-1985, Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-muestreo-método del cuarteo. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- [3] Gallardo, A., Bovea, M.D., Ochera, M., Beltrán, M. "Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos de Onda (Castellon) (I)". *Revista técnica de medio ambiente Residuos*. Vol. 90. 2006. pp. 52-60.
- [4] Kumar, S., Bhattacharyya, J. K., Vaidya, A. N., Chakrabarti, T., Devotta, S, Akolkar, A.B. "Assessment of the status of municipal solid waste management in metro cities, state capitals, class I cities, and class II towns in India: an insight". *Waste Management*. Vol. 29.2009. pp. 883–895
- [5] Gupta, S., Mohan, K., Prasad, R., Gupta, S., Kansal, A. "Solid waste management in India: options and opportunities". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 24. 1998. pp. 137-154.
- [6] Farrel, M., Jones, D.L. "Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets". *Bioresource Technology*. Vol. 100. 2009. pp. 4301-4310.

- [7] Fernández-Gómez, M., Nogales, R., Insam, H., Romero, E., Goberna, M. "Continuous-feeding vermicomposting as a recycling management method to revalue tomato-fruit wastes from greenhouse crops". *Waste Management*. Vol. 30. 2010. pp. 2461-2468.
- [8] Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, S., Jamroz, E., Kocowicz, A. "Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts". *Soil Biology & Biochemistry*. Vol. 39. 2007. pp. 1294-1302.
- [9] Serkan Nas, S., Bayram, A. "Municipal solid waste characteristics and management in Gümüşhane, Turkey". *Waste Management*. 28. 2008. pp. 2008.
- [10] Abu-Qudais, M., Abu-Qdais, H. "Energy content of municipal solid waste in Jordan and its potential utilization". *Energy Conversion and Management*, Vol.41. 2000. pp 983-991.
- [11] Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. 1ª Ed. 1997. McGraw-Hill. México. pp. 800.
- [12] Rubio Martín, A. 2003 (10.01.11): <http://cde05.etse.urv.es/pub/pdf/477pub.pdf>
- [13] Asociación para el estudio de los recursos energéticos de España (aeren-ASPO-SPAIN) (20.03.11): http://www.crisisenergetica.org/ficheros/boletin_ASPO_mayo_2008.pdf

RELLENOS SANITARIOS Y VERTEDEROS

Efectos del tratamiento mecánico biológico en las emisiones de vertedero – Revisión bibliográfica

Ancella Molleda Riaño, Ana López Martínez, Amaya Lobo García de Cortázar
molledaa@unican.es

Resumen

Los residuos tratados mecánico-biológicamente son materiales que hoy en día llegan a los vertederos de residuos urbanos, fundamentalmente en Europa, pero de los cuales todavía no se conocen en profundidad sus potenciales impactos o aprovechamiento. Tanto las emisiones contaminantes de estos residuos, como su comportamiento hidráulico y geotécnico, entre otros, varían respecto a lo conocido hoy día para los residuos convencionales. Este trabajo se centra en la revisión en detalle de la literatura existente sobre las emisiones potenciales (lixiviados y biogás) de los residuos sometidos a tratamiento mecánico biológico. Analizados críticamente los resultados publicados hasta el momento, se cuantifican las consecuencias del tratamiento respecto a la reducción de las emisiones y se identifican las áreas que requieren una mayor investigación para confirmar los datos actuales.

Palabras Clave: *biogás, lixiviado, pretratamiento, residuo, TMB*

1. Introducción

Hoy en día en Europa la mayor parte de los vertederos son instalaciones controladas, pero que siguen constituyendo un problema debido al gran espacio que ocupan y a su potencial contaminante (emisiones de gas y lixiviado). El pretratamiento mecánico-biológico (TMB) de los residuos se propone como un método para reducir este problema y para cumplir con la normativa vigente en Europa (Directiva 1999/31/CE) que limita la cantidad de residuos urbanos biodegradables que pueden llegar a vertedero y establece obligatorio el tratamiento del material previo a su vertido.

El objetivo principal del TMB es mejorar el aprovechamiento del residuo recogido mezclado urbano o asimilable a urbano, y minimizar el impacto ambiental que supone su disposición en vertedero. El proceso comprende varias etapas de separación de materiales mediante medios físicos (separación manual, trómeles, separadores magnéticos, electromagnéticos...) y al menos una etapa de tratamiento biológico (compostaje o digestión anaeróbica seguida de compostaje). El resultado son varias corrientes de materiales reciclables tales como plásticos, papel y cartón o metales y una corriente de residuo orgánico estabilizado que puede emplearse como mejorador de suelos (si sus características son adecuadas), además de corrientes de materiales rechazados.

El trabajo se centra en el estudio de las propiedades de los residuos orgánicos estabilizados que son depositados en vertedero. Su objetivo es revisar el estado del conocimiento sobre las emisiones en vertedero de los residuos previamente sometidos a tratamiento mecánico biológico. Después de una revisión bibliográfica en detalle, en los siguientes párrafos se han recogido, presentado y discutido los cambios de los residuos TMB respecto a los residuos no tratados.

2. Principales efectos del TMB en la degradación de los residuos

Es bien conocido que el TMB, como uno de sus principales objetivos, reduce la degradación potencial de los residuos y acorta las fases no metanogénicas de descomposición [2]-[4]. En [1] atribuyen esta alteración a que las fases I y II han sucedido ya durante el tratamiento aeróbico, y tras el vertido se producirán casi directamente las reacciones anaeróbicas. La magnitud de la reducción

de la duración de las fases depende del grado de estabilización de los residuos: por ejemplo en [4] tras un tratamiento aeróbico de los residuos de 8 y 15 semanas, la reducción de la duración respecto a los residuos no tratados es del 67% y 82% respectivamente. Como se verá en las siguientes líneas, esto afecta al gas de vertedero y al lixiviado de varias maneras.

3. Efectos sobre el gas de vertedero

Los autores coinciden en que la generación potencial de gas disminuye a menos del 10% de la generación potencial de los residuos urbanos (RU) no tratados, dependiendo de la duración del tratamiento al que se somete a los residuos. Según muestra la Figura 1 la reducción no es lineal sino que en sistemas de aireación forzada se frena con el tiempo tratamiento, de modo que no se lograrían reducciones significativas a partir de las 8 semanas de tratamiento.

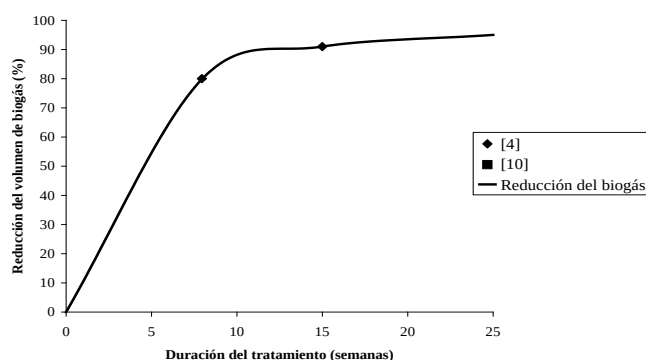


Figura 1. Reducción del volumen de biogás en función de la duración del tratamiento de aireación forzada aplicado

Además, como resultado de la reducción de la duración de las fases no metanogénicas la generación de gas comienza y alcanza su máximo antes. A pesar de estos hechos, la evolución de la generación de gas a través del tiempo es similar a la observada en residuos no tratados durante la fase metanogénica: dos etapas consecutivas con cinéticas de primer orden que se distinguen porque la velocidad de degradación de la inicial es mayor que la de la final. En concreto en [4] encontraron que los valores de la constante cinética de la primera etapa varían en torno a los $0,0803 \text{ años}^{-1}$ de los residuos con tratamiento biológico de 8 semanas y los $0,0773 \text{ años}^{-1}$ de los residuos con tratamiento biológico de 15 semanas. Según los mismos autores los valores obtenidos para esta etapa son similares a los asociados a RU convencionales. Los valores de la constante de la segunda etapa se encuentran en torno a $0,035 \text{ años}^{-1}$, similares resultados obtienen en [3] para distintos tiempos de tratamiento, ya que, para una duración del proceso biológico de 8 semanas el valor de la constante cinética es de $0,0348 \text{ años}^{-1}$ y cuando éste es de 15 semanas de $0,0347 \text{ años}^{-1}$. Según estos resultados el valor de la constante cinética de la segunda etapa es independientemente del tiempo de tratamiento. Además ambos trabajos, [3], [4], coinciden en que es similar al de la fracción lentamente biodegradable de los RU.

Por su parte la composición del biogás que emiten los residuos TMB no está clara: los resultados difieren de unos trabajos a otros. Mientras que en [17] se recoge que la proporción metano-dióxido de carbono se invierte respecto a los residuos no tratados, obteniendo relaciones 40/60 y 24/73, en [1] y [2] se establece que la proporción del conjunto metano-dióxido de carbono disminuye, hasta estabilizarse en gran parte de los distintos residuos TMB en valores del 40% y 10% respectivamente, mientras que el resto del gas estaría formado por nitrógeno. Por el contrario, en [5] o [9] se aportan medidas distintas, recogiendo respectivamente, que la composición del gas es

similar a la que se produce en vertederos convencionales. Es necesaria por tanto, una mayor investigación en el tema.

4. Efectos en el lixiviado

De acuerdo con los cambios observados en varias propiedades relacionadas con la conductividad hidráulica (aumento de la densidad, baja permeabilidad o escorrentía superficial), la generación de lixiviado disminuiría en los residuos pretratados [11], [12]. Sin embargo, las observaciones de campo de los diferentes autores revelan que el volumen de lixiviado depende más de las condiciones locales (meteorológicas) que del tratamiento aplicado. Así, mientras que en [7] se obtiene que el lixiviado acumulado de Julio de 2003 a Noviembre de 2005, en un vertedero de Sri Lanka, es mayor en residuos tratados biológicamente que en residuos no tratados; en la experiencia en [5] se alcanza un valor de lixiviado acumulado respecto a la lluvia recogida del 31%, valor que entra dentro del rango inferior de los valores que presentan los RU convencionales. Se necesitan por tanto investigaciones futuras para fijar las conclusiones en este campo.

En cuanto a la calidad del lixiviado, las medidas de campo muestran que el lixiviado generado por los residuos TMB en las primeras fases tras el vertido, presenta características similares al lixiviado procedente de los RU convencionales en fase metanogénica (ver Tabla 1), es decir, bajas concentraciones de sustancias orgánicas, especialmente de la DBO₅, y pH básico [3], [15]. La DQO recalcitrante es una excepción ya que aparece en concentraciones más altas en el lixiviado de residuos TMB ‘jóvenes’, lo que conduce a relaciones DQO/DBO₅ más altas.

Tabla 1. Comparación entre la de DQO y la DBO₅ de lixiviados de residuos TMB y de lixiviados de residuos urbanos sin tratar en vertedero

	Residuos TMB (Compostaje bajo-medio)*	Residuos TMB (Compostaje alto)*	RU convencional (menos de 2 años)**	RU convencional (mayor de 10 años)**
pH	8,0	7,5	6,0	7,1
DQO (mg/l)	3.000	2.000	18.000	300
DBO₅ (mg/l)	110	50	10.000	150

*Valores típicos para la fase inicial [3]. **Valores medios tomados de la bibliografía [16].

Por otro lado, varias experiencias miden la carga orgánica en pruebas de laboratorio (lísímetros). El lixiviado se extrae después de ciertos periodos de tiempo del lísímetro y se analiza. Normalmente los autores presentan los resultados del análisis en forma de curvas frente al tiempo. Sólo en [15] se recogen valores de carga orgánica para residuos TMB y residuos tratados mecánicamente, obteniendo una diferencia en los valores de DQO (soluble) acumulada del 97%. Otros autores consultados presentan valores de concentración frente al tiempo, de los cuales se puede extraer tomando la media (ver Tabla 2), una aproximación de la reducción de la carga lixiviable que, en todo los casos, toma valores altos que confirman que los residuos pretratados pueden reducir la lixiviación de sustancias orgánicas (COT, DQO) en más de un 95%.

Tabla 2. Reducción de la lixiviación de sustancias orgánicas en residuos TMB respecto a residuos no tratados, en ensayos con lísímetro

		Concentración _{no tratados} (mg/L)	Concentración _{TMB} (mg/L)	Reducción (%)
[8]	COD	37.000	1.000	97
	TOC	10.000	500	95
[14]*	TOC	15.000	700	95
[13]	COD	50.000	500	99

* Reducción respecto a residuos tratados mecánicamente.

De forma habitual también se suele caracterizar el potencial contaminante de los residuos mediante una prueba de lixiviación previa a los ensayos en los que se simula su vertido. En esta prueba se

determinan parámetros como el COT, la DQO o la DBO₅ del lixiviado generado después de cierto tiempo de agitación de una muestra en contacto con el líquido. Se observa en la Figura 2 que la reducción tanto del COT, como de la DQO y la DBO₅ no es lineal sino que sigue una curva exponencial con la duración del tratamiento y no depende del tipo de estabilización aplicada. Si bien hasta la semana 10 de tratamiento la reducción de las sustancias orgánicas es significativa, desde ese punto el descenso es más gradual: mientras que a las 10 semanas las reducciones de COT, DQO y DBO₅ son alrededor del 85%, 85% y 94% respectivamente, las disminuciones a las 20 semanas son del 95 %, 92% y 99%.

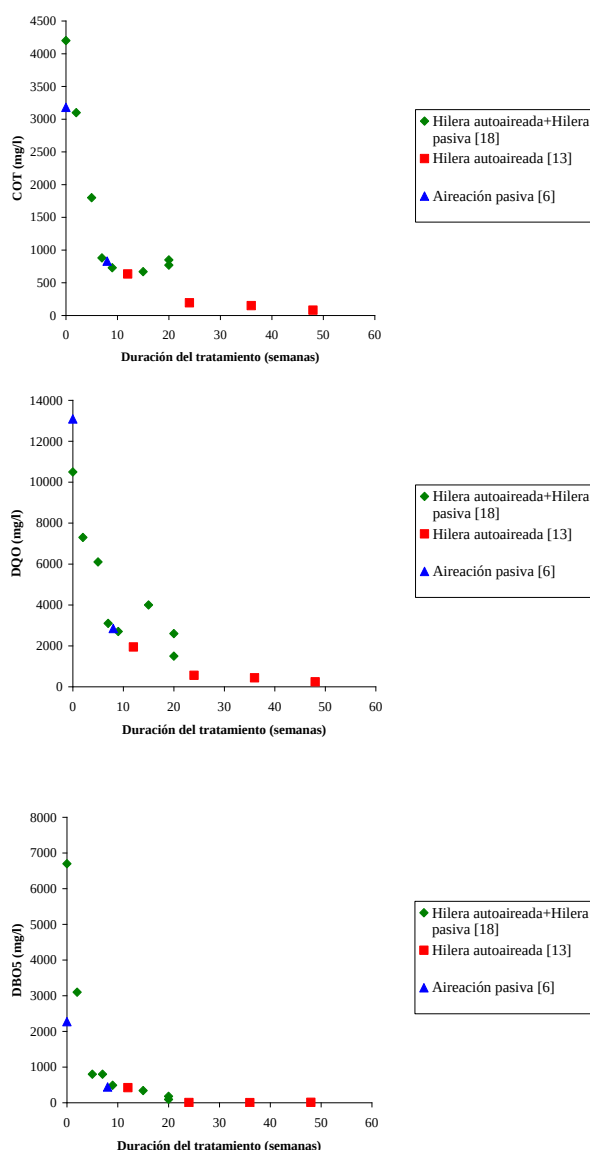


Figura 2. Evolución del COT, la DQO y la DBO₅ del ensayo de lixiviación en función de la duración del tratamiento para tres tipos de estabilización aeróbica

El TMB de los residuos también produce en los compuestos nitrogenados descensos similares a los observados para las sustancias orgánicas. En este caso las reducciones se deben principalmente a procesos de volatilización y humificación.

5. Conclusión

Dada la heterogeneidad y distinta naturaleza de los residuos TMB, tal y como ocurre con otros residuos, es difícil extraer conclusiones generales válidas para todos los casos. Más aún en este caso, en el que también puede variar el tipo de tratamiento, su modo de aplicación (tecnología) y duración. A pesar de ello, los trabajos consultados y reunidos aquí muestran que el TMB de los residuos urbanos reduce las emisiones en vertedero en lo que se refiere a producción de biogás y a lixiviación de sustancias orgánicas carbonosas y nitrogenadas. Sin embargo, existen otros aspectos como la composición del biogás generado o el volumen de lixiviado que necesitan mayor investigación, pues hasta el momento se han obtenido resultados contradictorios.

Además tanto en los estudios de generación de biogás como en los de contaminación del lixiviado existe acuerdo en que el mayor decrecimiento en la biodegradabilidad de los residuos se observa durante las primeras 8 a 10 semanas de tratamiento, en el caso de los tratamientos aeróbicos. Las reducciones alcanzan durante este periodo el 80 e incluso más del 90% del valor inicial (residuos no tratados), dependiendo del parámetro. Durante las siguientes semanas sólo se reduce menos de un 20% del valor inicial de degradabilidad.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bockreis, A. Steinberg, I., Rohde, C., Pager, J. "Gaseous emissions of mechanically biologically pre-treated waste from longterm experiments". Actas del congreso *Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. 6-10 Octubre de 2003. CISA. Cagliari, Italia.
- [2] Bockreis, A. Steinberg, I. "Influence of mechanical-biological waste pre-treatment methods on the gas formation in landfills". *Waste Management*. Vol. 25 (4). 2005. pp. 337-343.
- [3] Bone, B. D. Knox, K. Picken, A. Robinson, H.D. "The Effect of Mechanical and Biological Pretreatment on Landfill Leachate Quality". Actas del congreso *Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. 6-10 Octubre de 2003. CISA. Cagliari, Italia.
- [3] Cappai, G. Carucci, A. De Gioannis, G. Muntoni, A. (2005). "Further investigations on MBP and relative implications". Actas del congreso *Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. 3-7 Octubre de 2005, CISA. Cagliari, Italia.
- [4] De Gioannis, G. Muntoni, A. Cappai, G. Milia, S. "Landfill gas generation after mechanical biological treatment of municipal solid waste. Estimation of gas generation rate constants". *Waste Management*. Vol. 29 (3). 2009. pp. 1026-1034.
- [5] Felske, C. Kraft, E. Ustohalova, V. Widman, R. Bidlingmaier, W. "Experimental analysis of the large scale behavior of MBP waste - new results for the design of future landfills". Actas del congreso *Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. 6-10 Octubre de 2003. CISA. Cagliari, Italia.
- [6] Griffith, M. Trois, C. (2006). "Long-Term emissions from mechanically biologically treated waste: Influence on leachate quality". *Water S. A.* Vol. 32 (3). 2006. pp. 307-313.
- [7] Gunawardana, E. G. W., Shimada, S. Basnayake, B. F. A. Iwata, T. "Influence of biological pre-treatment of municipal solid waste on landfill behaviour in Sri Lanka". *Waste Management & Research*. Vol. 27. 2009. pp. 456-462.
- [8] Hertig, U. Damiecki, R. Hudel, K. Schulze, O. "Investigation of the emission behaviour of various types of waste". Actas del congreso *Sardinia 1993, Fourth International Waste Management and Landfill Symposium*. 11-15 Octubre de 1993. CISA. Cagliari, Italia.
- [9] Kuehle-Weidemeier, M. Doedens, H. "Landfilling and properties of MBP Waste". Actas del Congreso *Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*, 6-10 Octubre de 2003. CISA. Cagliari, Italia.
- [10] Lornage, R. Redon, E. Lagier, T. Hébé, I. Carré, J. "Performance of a low cost MBT prior to landfilling: Study of the biological treatment of size reduced MSW without mechanical sorting". *Waste Management*. Vol. 27 (12). 2007. pp. 1755-1764.

- [11] Münnich, K. Bauer, J. Fricke, K. "Laboratory Tests to Determine Water Balance Parameters of MBT Material". Actas del congreso *Third International Workshop: Hydro-Physico-Mechanics of Landfills*. 10-13 Marzo de 2009. Braunschweig, Alemania.
- [12] Münnich, K. Bauer, J. Fricke, K. "Investigation on relationship between vertical and horizontal permeabilities of MBT wastes". Actas del congreso *Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. 3-7 Octubre de 2005. CISA. Cagliari, Italia.
- [13] Münnich, K. Mahler, C. F. Fricke, K. "Pilot project of mechanical biological treatment of waste in Brazil". *Waste Management*. Vol. 26(2). 2006. pp. 150-157.
- [14] Rieger, A. Bidlingmaier, W. "Investigations regarding landfill behaviour of different pre-treated waste". Actas del congreso *Sardinia 1995, Fifth International Waste Management and Landfill Symposium*. 2-6 Octubre de 1995. CISA. Cagliari, Italia.
- [15] Sormunen, K. Einola, J. Ettala, M. Rintala, J. "Leachate and gaseous emissions from initial phases of landfilling mechanically and mechanically biologically treated municipal solid waste residuals". *Bioresource Technology*. Vol. 99(7). 2008. pp. 2399-2409.
- [16] Tchobanoglous, G. Theisen, H. Vigil, S. *Integrated Solid Waste Management*. 1ra edición. 1993. Ed. McGraw-Hill. New York. pp. 361-543. ISBN: 84-481-1830-8.
- [17] Wagner, J. F. Rettenberger, G. Reinert, P. "Modern Landfill Technology Behavior of Mechanical-Biological Pre-Treated Waste". Actas del congreso *Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*. 1-5 Octubre de 2007. CISA. Cagliari, Italia.
- [18] Zach, A. Binner, E. Latif, M. "Improvement of municipal solid waste quality for landfilling by means of mechanical-biological pretreatment". *Waste Management & Research*. Vol. 18 (1). 2000. pp. 25-32.

Los retos de la disposición final de residuos municipales en México

Gerardo Bernache Pérez
gbernache@yahoo.com.mx

Resumen

En México es común que las autoridades municipales se refieran a su sitio de disposición final como un Relleno Sanitario, lo que implica que es un sitio que cumple con la normatividad en materia y tiene un control sobre los vectores de contaminación que se originan al enterrar los residuos. Sin embargo, al evaluar las características de los sitios, su infraestructura y su operación se puede apreciar que los sitios que cumplen con las especificaciones de un Relleno Sanitario son una minoría. Un estudio de 41 municipios urbanos en México nos presenta un panorama amplio de la diversidad de condiciones, recursos e infraestructura que tienen los diferentes municipios. A solicitud de nuestra parte, los responsables de manejo de residuos se autoevaluaron en el rubro de sus procesos de disposición final en su municipio. La calificación promedio fue de 76 en un sistema de 100 puntos ($N = 41$). Esta calificación es “regular” y nos indica que en los vertederos de la región son un factor de riesgo que puede estar ocasionando un nivel importante de contaminación de los ecosistemas municipales.

Palabras Clave: *vertederos municipales, México, riesgo de contaminación, zonas urbanas*

375

1. Introducción

Los sitios de disposición final de los residuos sólidos municipales son un eslabón clave en la gestión sustentable de los desechos que se producen en las ciudades [1]. Sin embargo, en la actualidad son un eslabón débil, que sufre de muchos problemas en su administración y operación cotidiana.

Este estudio reporta los resultados obtenidos en una investigación reciente (2010) realizada por el autor. El objetivo de dicha investigación fue conocer las estrategias y métodos para el manejo de los sitios de disposición final en los principales municipios urbanos (mayores a 50 mil habitantes) en la zona denominada Región Centro Occidente de México [2] [3]. Esta región comprende nueve estados de la república: Colima, Aguascalientes, Michoacán, Nayarit, Jalisco, Querétaro, Guanajuato, Zacatecas, y San Luis Potosí. La investigación identificó 68 municipios con las características urbanas definidas, se les envió un cuestionario y se le dio seguimiento telefónico, finalmente se tuvo respuesta de 41 municipios (el 60%).

El tratamiento de residuos sigue siendo una proporción menor, por lo que más del 90% de los desechos que se recolectan en las ciudades terminan enterrados en sitios de disposición final. Si bien se ha avanzando en brindar un mejor servicio de recolección de residuos sólidos municipales en las zonas urbanas de la Región Centro Occidente (RCO), pero el tratamiento de residuos y su disposición final son actividades que están rezagadas con respecto a lo que establece la normatividad mexicana y a los criterios de manejo sustentable de residuos.

A continuación se presentan los resultados de la investigación realizada durante el periodo que va de septiembre 2010 a enero 2011.

2. Enterrando la basura

Los 41 municipios que respondieron al cuestionario sobre manejo y disposición de residuos sólidos nos dan un panorama amplio de las condiciones actuales de disposición y sus principales retos para alcanzar una disposición final que no tenga un impacto ambiental y social negativo.

2.1 Operación de los sitios

De acuerdo con una auto evaluación de los propios funcionarios responsables de la disposición final, los procesos de disposición final van desde un nivel muy precario, en el cual un 12.8% de los municipios urbanos de la región se anota una autoevaluación reprobatoria con 50 puntos, mientras que otro 10.3% apenas se asigna una calificación mínima aprobatoria de 60 a 69 puntos. Mientras que un 28.2% tiene una calificación regular, un 20.5% califica bien y 28.2% muy bien y excelente. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Auto evaluación de la disposición final

Auto - Evaluación	Frecuencia	Porcentaje
50 – 59	5	12.8
60 – 69	4	10.3
70 – 79	11	28.2
80 – 89	8	20.5
90 – 99	8	20.5
100	3	7.7

Este es el punto crucial donde un buen manejo evita la contaminación ambiental de la región. La calificación promedio fue de 76 puntos. Esta calificación es “regular” y nos indica que en los vertederos de la región son un factor de riesgo que puede estar ocasionando un nivel importante de contaminación de los ecosistemas municipales.

La distancia que ahora se tiene que transitar para llegar al sitio de disposición final es significativa y afecta los costos de manejo de residuos. Los recorridos que realizan las unidades de recolección son cada vez mayores, parece que hay una relación entre el tamaño de la zona urbana y la distancia a su vertedero. En el 2010 se encontró que los camiones realizan un recorrido promedio de 10.2 kilómetros por viaje para entregar su carga en el sitio de disposición final. El recorrido completo, viaje redondo, es de 20.4 kilómetros en promedio.

Actualmente, ciertos municipios carecen de lugares apropiados para ubicar un vertedero municipal o bien no cuentan con los recursos para instalar y operar un sitio de disposición final. En estos casos recurren a realizar convenios con municipios vecinos para poder realizar la disposición final de manera adecuada. En la Región Centro Occidente, la mayoría de los sitios de disposición final se ubican en “Mismo municipio” (85 %) y solamente un 15% se ubican en “Otro municipio”.

Un dato importante en este rubro es el conocer quién realiza la operación del sitio de disposición final. Las respuestas se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2. ¿Quién es responsable de la operación del sitio de disposición final?

Manejo del sitio	Frecuencia	Porcentaje
Otro Ayuntamiento vecino	4	10
Empresa	7	17
Propio municipio	30	73

Aunque los propios municipios manejan la gran mayoría de sus vertederos de residuos, las empresas están incursionando poco a poco y ganando espacio en este tipo de servicios especializados en la operación de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales. Unas

tres empresas importantes operan sitios en todo el territorio nacional y tienen contratos con municipios en la Región Centro Occidente.

2.2 Manejo del gas metano y los lixiviados

Un punto importante en la operación de un sitio es la forma en que manejan las emanaciones de gas metano. Estas emanaciones de metano que son producto de la descomposición de la materia orgánica en el vertedero. El manejo del metano en el vertedero es importante por dos razones. Primero porque puede explorar si se acumula en un ambiente cerrado. En este caso la recomendación es construir pozos de ventilación para que no se acumule y pueda causar explosión. Segundo porque sus grandes volúmenes contribuyen a la contaminación atmosférica en una zona urbana, en este caso se recomienda, de acuerdo al Protocolo de Kyoto, la destrucción controlada como un primer paso y luego preparar la infraestructura para pasar a la generación de energía. La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos en cuanto al manejo del gas metano.

Tabla 3. Manejo de gas metano en el sitio de disposición final

Tipo de manejo del gas metano	Frecuencias	Porcentajes%
Destrucción o Quema Controlada de acuerdo al Protocolo de Kyoto	3	7
Pozos de ventilación	22	54
Ninguna acción	16	39

La Tabla 3 nos confirma que solo tres municipios (7%) están llevando a cabo una destrucción controlada del gas metano, mientras que una mayoría de los municipios de la región (54%) solo tiene pozos de ventilación para dejar escapar el gas a la atmósfera y evitar explosiones en el sitio. Por último, el 39% de los municipios no hacen nada respecto al manejo del gas metano.

Una fuente de contaminación importante en los sitios de disposición final son los lixiviados, por lo que darles tratamiento y mantenerlos controlados dentro del sitio es de suma importancia. Cuando estos lixiviados escapan del sitio pueden ocasionar contaminación de fuentes de agua y suelos. En la Figura 1 presentamos las respuestas a esta pregunta.

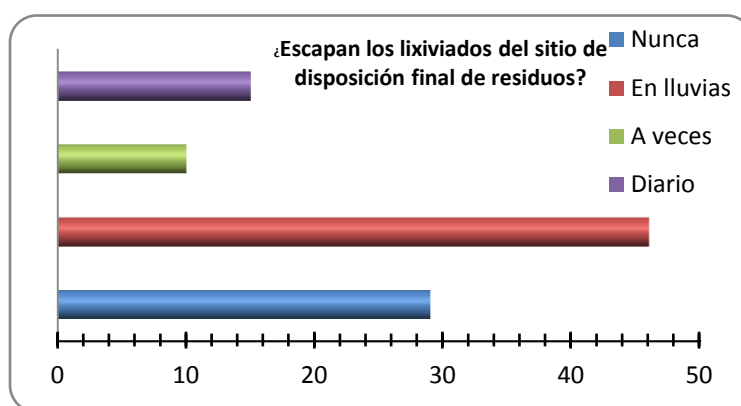


Figura 1. Manejo de lixiviados en municipios urbanos de la Región Centro Occidente

Las respuestas indican que en el 71% de los casos los lixiviados escapan del sitio, principalmente durante la estación de lluvias en el verano (Figura 1). Las respuestas específicas indican que en el 15% de los casos los lixiviados escapan a diario, de manera regular. Por otra parte, el 10% de los casos reporta que tienen escapes de lixiviados “a veces”, es decir de manera constante pero con periodos irregulares. Finalmente, un grupo que representa el 46% de los casos informa que se pierde el control sobre el almacenamiento de lixiviados durante el temporal de lluvias, esto puede ser hasta tres meses por cada ciclo anual.

El escape de lixiviados provoca un riesgo de contaminación del agua por lixiviados que muchas veces contienen residuos considerados como peligrosos de acuerdo a la normatividad mexicana. La Tabla 4 nos muestra que en el 47% de los casos se tienen situaciones de riesgo. El lixiviado entra en contacto con fuentes de agua de manera cotidiana en el 5% que reporta que sucede a diario, también el 10% que reporta que sucede a veces. Así mismo, una tercera parte de los casos reporta que los lixiviados contaminan fuentes de agua durante el temporal de lluvias.

Tabla 4. Riesgo de contaminación de agua por escape de lixiviados

¿Contaminan el agua los lixiviados que escapan del sitio de disposición final?	Porcentajes %
Nunca	54
En temporal de lluvias	32
A veces	10
Diario	5

Por otra parte, los lixiviados que escapan pueden afectar directamente a zonas habitacionales que se encuentran en predios cercanos al vertedero. Las respuestas al cuestionario indican que un total de 12 municipios (el 29%) reportan al menos una zona habitacional que ha sido afectada por la contaminación y las operaciones de sitio de disposición final. Un total de 43 colonias se ven afectadas por la contaminación que originan los sitios de disposición final en los 12 municipios urbanos de la región centro occidente que reportaron problemas en este rubro.

3. Resultados y discusión

Los resultados de esta investigación confirman que los procesos de disposición final en los municipios urbanos de la Región Centro Occidente de México son un punto problemático que es el origen de contaminación local y regional tanto por el manejo del gas metano que se libera a la atmósfera, como por la falta de control de los lixiviados con residuos peligrosos que escapan de los vertederos.

Los escurrimientos de lixiviados fuera del sitio contaminan fuentes de agua y afectan un sector pequeño (pero importante) de la población regional. En una minoría de casos hay afectaciones graves, en otros casos las afectaciones son serias. En cualquier escenario, el punto es que no debería tenerse escape de lixiviados que contaminen el agua y afecten población.

Se puede intentar clasificar los tipos de sitios en estos 41 municipios de la región. De tal manera que un 23% pueden catalogarse como tiraderos a cielo abierto, un 49% como vertederos controlados y, finalmente, otro 28% que podría clasificarse como un tipo de Relleno Sanitario. A pesar de que podemos tratar de agrupar los sitios en tres tipos principales, es importante señalar que no todos los sitios son iguales, hay rangos de cumplimiento de la normatividad y hay diferencias en la operación que caracterizan a cada sitio de disposición final.

Los Rellenos Sanitarios están localizados, por lo general, en las ciudades de mayor tamaño y en las capitales de los estados. Por lo tanto, estos rellenos sanitarios captan más de la mitad de los residuos sólidos municipales que producen los centros urbanos de la Región Centro Occidente.

Aunque no es una regla propiamente, los sitios denominados tiraderos a cielo abierto se encuentran en los municipios de menor tamaño (50 mil a 150 habitantes) ya que son los que tienen mayores dificultades presupuestales para construir y mantener obras de infraestructura complejas como las requiere un Relleno Sanitarios.

4. Conclusiones

La disposición final de residuos es un proceso complejo y que tiene un costo significativo para las finanzas de un municipio. Por lo anterior, un sitio que opera como relleno sanitario requiere

personal directivo profesional con conocimientos y experiencia en este tipo de actividades, trabajadores especialistas (para operación de maquinaria y organización de la disposición) y también requiere de un presupuesto anual de acuerdo al tamaño del sitio y el tonelaje de residuos que recibe semanalmente.

Además de lo anterior, la gestión sustentable de residuos demanda un compromiso ambiental del presidente y su cabildo, el desarrollo de políticas públicas apropiadas y campañas de educación ambiental para involucrar a la población.

Tenemos entonces que para operar eficientemente y con una lógica ambiental un sitio de disposición final se requiere de una plantilla de personal adecuada, de infraestructura y presupuesto, de compromiso político y de participación social. Todo esto se refleja en las diferentes etapas de la gestión de los residuos y particularmente en la disposición final que termina siendo el punto más débil en la gestión de los residuos.

La calificación promedio de 76 puntos que se asignan los propios responsables de la operación de sitios de disposición final en la región nos indica muy claramente que se tienen problemas por resolver, obstáculos que manejar y situaciones por mejorar. Es una calificación mínima aprobatoria, muy lejos de una evaluación en el rango de muy bien y excelente (superior a los 90 puntos). En este caso, una calificación baja es un indicador de problemas ambientales, contaminación y afectaciones a la población y a los recursos naturales en el ecosistema local y regional.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Desarrollo Social (INDESOL) por el apoyo financiero para desarrollar esta investigación.

Al Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro Occidente (FIDERCO) y al Observatorio Urbano de la Región Centro Occidente (OURCO) por su apoyo financiero para realizar el trabajo de campo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bernache Pérez, Gerardo *Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. 2006. Publicaciones de la Casa Chata. CIESAS. México, D.F. 551 páginas.
- [2] Bernache Pérez, Gerardo *El desarrollo sustentable y la gestión de residuos sólidos en los principales municipios urbanos de la Región Centro Occidente*. Proyecto de investigación. Financiado por INDESOL, Folio: CS-09-I-DS-095-10. Mayo de 2011. México, D.F.
- [3] Bernache Pérez, Gerardo *Estudio de la gestión de residuos municipales en zonas urbanas de la Región Centro Occidente. Tercera etapa de los trabajos del OURCO*. Proyecto de investigación. Financiado por el Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro Occidente. Convenio 075/10, agosto de 2010. Guadalajara, Jalisco.

Reinserción de un antiguo basural para uso agrícola en la provincia de Mendoza, Argentina

Susana Llamas, Irma Teresa Mercante, Pablo Daniel Martinengo
sllamas@uncu.edu.ar

Resumen

En la mayoría de los países de América Latina y El Caribe el descubrimiento de los sitios empleados en el pasado para la eliminación de los residuos generados en las áreas urbanas se produce de manera accidental. Cuando esto sucede es necesario implementar acciones que permitan la recuperación de los sectores afectados para que puedan ser empleados con la finalidad deseada. **Objetivo:** Recuperar para uso agrícola un área afectada por la existencia de un antiguo basural. **Metodología:** Se dimensionó el sector afectado a partir de la realización de calicatas, se extrajeron muestras de los residuos encontrados y del suelo situado por debajo de estos para realizar su caracterización en laboratorios certificados y acreditados. La información obtenida se empleó para realizar un análisis de riesgos considerando los escenarios posibles y para el estudio de alternativas para la remediación. Finalmente se elaboraron dos propuestas de intervención en el sitio para lograr su reinserción con fines agrícolas. **Resultados:** Se implementó el tratamiento *in situ* del pasivo ambiental a partir de la conformación de una celda de contención provista de una barrera de arcilla compactada con un valor de permeabilidad de $1,05610 \times 10^{-7}$ cm/s y monitoreo de las principales variables. La densidad de los residuos reubicados en la celda fue de $1,72 \text{ g/cm}^3$. Las muestras de suelo analizadas permitieron concluir que el suelo no presentaba limitaciones desde el punto de vista edáfico para implantar distintos cultivos agrícolas. El sitio recuperado se destinó al cultivo de variedades de uvas finas.

380

Palabras Clave: *caracterización, cultivos, pasivo ambiental, remediación*

1. Introducción

En los últimos diez años la provincia de Mendoza ha experimentado una marcada reconversión de la actividad vitivinícola a partir de la implementación de técnicas de riego más eficientes. Como resultado de lo mencionado extensas propiedades ubicadas en las zonas áridas del piedemonte, situadas entre la cordillera de Los Andes y las áreas pobladas (que hasta hace pocos años tenían un reducido valor inmobiliario) [1], en la actualidad son fraccionadas y ofrecidas para el desarrollo de modernos proyectos vitivinícolas. Este interés por las propiedades rurales impulsó un mercado de bienes inmobiliarios sin precedentes [2]. Uno de los principales indicadores de esta situación es el incremento de tierras destinadas al cultivo de variedades de uvas finas; en especial de la variedad *Malbec*. Algunos sectores de esas extensas propiedades fueron ofrecidos por sus propietarios a las administraciones municipales para la eliminación de los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en las localidades cercanas, sin que quedaran registros del uso dado a los mismos. Por lo general el descubrimiento de estos sitios afectados por la existencia de pasivos como el mencionado, se produce de manera accidental cuando aparecen compradores interesados en desarrollar una actividad de alto valor comercial como lo son, el cultivo de variedades de uvas finas para vinificación, la construcción de bodegas modelo y el desarrollo del turismo ligado a la actividad, acompañado de la construcción de hoteles temáticos. Este profundo cambio del uso del suelo exige que cuando se produce el descubrimiento de estos pasivos, se implementen acciones correctivas que permitan recuperar el sector afectado para el nuevo uso definido sin riesgos ambientales [3], [4], [5], [6], [7], [8].

2. Justificación

En el mes de junio de 2009 el Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos (CEIRS) dependiente del Instituto de Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, fue convocado por un particular para establecer la situación ambiental y recuperar para uso agrícola un área afectada por la existencia de un antiguo basural en un predio situado en la zona central de la provincia de Mendoza. La superficie total de la propiedad en cuestión comprende una extensión superficial de 90 Ha; el sector afectado por el pasivo identificado ocupa una superficie aproximada de 1,8 Ha. Se desconocía tanto la antigüedad, como la profundidad del pasivo y la composición de los residuos allí enterrados; por lo que se elaboró una propuesta para su dimensionamiento y caracterización con el propósito de establecer los riesgos ambientales, estudiar alternativas para la remediación y recuperar el predio para su reinserción con fines agrícolas.

3. Metodología

La modelación del terreno se realizó a partir del levantamiento planialtimétrico de 1.087 puntos que permitieron establecer la superficie directamente afectada, el relieve general y la pendiente del área de trabajo. Se definió la ubicación de una grilla georreferenciada que se materializó en el terreno por medio de 70 estacas en cada una de las intersecciones donde se ejecutaron las calicatas. Se midieron los espesores tanto del material de cubrición como de la masa de RSU. Para determinar la presencia de gases relacionados con el proceso de degradación anaerobia de la fracción orgánica, en la calicata identificada con el N° 17, se insertó un tubo de PVC de 2,7 m de longitud, ranurado en su sección inferior para facilitar la captación de dichos gases. El extremo superior fue herméticamente cerrado y en él se colocó un tubo flexible conectado a una bolsa Tedlar® de 260 cc de capacidad; este dispositivo permaneció en el sitio por espacio de 29 días. El procedimiento empleado durante la realización de las calicatas para la obtención de muestras, consistió en la obtención de una submuestra por cada calicata excavada, tanto para la masa de residuos como para el suelo situado por debajo de aquellos. Por cada 10 calicatas excavadas se conformó una muestra compensada por las submuestras ya referidas, de manera que al finalizar la tarea el número total de muestras para analizar en laboratorio fue de 7. La clasificación y calidad del suelo natural se determinó profundizando las calicatas identificadas con los N°s 27 y 53, hasta alcanzar las profundidades 3 m y 2,85 m respectivamente. Se desarrolló un modelo conceptual de riesgo para establecer la situación del predio con relación a la posibilidad de destinarlo al cultivo de variedades de uva fina para vinificación, se elaboró un proyecto para la restauración del sitio y se ejecutó una acción correctiva a partir del diseño de una celda para la contención segura de los residuos hallados.

3.1 Materiales

Para la modelación de la forma del terreno se adoptó la técnica de nube de puntos. Se emplearon dos receptores topográficos Pro Mark3® y Mobile Mapper®. Las coordenadas obtenidas en el sistema datum del satélite POSGAR (WGS84) se procesaron con el software GNSS SOLUTION®. El modelado de la nube de puntos se efectuó con Golden Software Surfer 8®. La superposición de cartas geográficas se realizó con el programa Arc-GIS®.

Las muestras de RSU y de suelos fueron sometidas a las siguientes determinaciones: pH y conductividad eléctrica por el método EPA 9045, relación de absorción de sodio (RAS) por cálculo (determinación de Na^+ , Mg^+ y Ca^+), concentración de metales pesados y compuestos volátiles empleando como referencia la norma EPA-SW 846. Las determinaciones se realizaron por espectrometría de absorción atómica y espectrometría de absorción atómica con productor de hidruros, este último para Mercurio. Se emplearon los siguientes equipos: Espectrofotómetro de absorción atómica AAnalyst 200-Perkin Elmer. Productor de Hidruros Shimadzu HVG-1;

Cromatógrafo de gases Perkin Elmer Clarus 500, con detector de masas y Head Space marca Perkin Elmer HS 40 XL. La determinación de la muestra de gas se realizó para Metano y Anhídrido Carbónico y para la composición de gas (suma de N₂ y O₂) empleando las Normas ASTM D 1945 y D 2597.

4. Resultados

El resultado de la modelación de los datos obtenidos en campo permitió estimar que el volumen aproximado de residuos sólidos dispuestos en el área de estudio se encontraba en el orden de 8.000 a 10.000 m³. En cuanto a la presencia de contaminantes, para el suelo natural la concentración de Arsénico fue de 23 mg/Kg, valor superior al nivel guía de 20 µg/g expresado en las reglamentaciones vigentes. Con respecto a la concentración de metales en las muestras del suelo situado por debajo de la masa de residuos, los resultados obtenidos permitieron establecer que en una de las muestras la concentración de Mercurio resultó <0,9 mg/Kg, valor ligeramente superior al nivel guía de 0,8 µg/g expresado en la reglamentación y que 8 de los 16 elementos metálicos determinados se encontraban presentes, constituyendo un claro indicador de la migración de los mismos durante los años posteriores al abandono del sitio. Sobre un total de 7 compuestos volátiles analizados, 3 presentaron concentraciones superiores a los valores guía para uso agrícola; los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de compuestos volátiles y comparación con niveles guía

Elemento	Concentración medida [mg/Kg]	Muestras positivas	Niveles guía para uso agrícola [µg/g]
Benceno	< 0,1	1	0,05
Tolueno	1	4	0,1
Etilbenceno	0,1	1	0,1
Xilenos	1	3	0,1
Propil bencenos	1	2	No definido
Metil etil bencenos	3	2	No definido
Trimetil bencenos	0,4	1	No definido

Los resultados obtenidos para los hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP) indicaron que no se encontraban presentes en las muestras analizadas. Los resultados de los análisis de suelo nativo permitieron concluir que para la muestra obtenida entre 0,00 m y 1,50 m las características correspondieron a un suelo grueso con arena limosa; para la profundidad comprendida entre 1,50 m y 3,00 m las muestras presentaron características de suelo grueso y grava mal graduada con limo. La permeabilidad, calculada por el método Aleen Hazen, se ubicó entre $7,4 \times 10^{-3}$ cm/s y $1,7 \times 10^{-2}$ cm/s en correspondencia con una permeabilidad media y buen drenaje. Las conclusiones de los estudios indicaron que las características del suelo favorecen la percolación en sentido vertical descendente por arrastre de materiales finos y sólidos disueltos.

4.1 Control de riesgos

Se estableció un horizonte temporal de 10 años para la aplicación del modelo conceptual de riesgos ambientales desarrollado para los dos escenarios considerados (continuidad del estado actual y cierre y restauración del sitio). Se concluyó que la forma en que se realizó la disposición de los residuos favoreció la migración señalada. Para ambos escenarios se consideró que tanto las vías de transporte como los potenciales receptores incluidos en el análisis del riesgo eran las mismas, ya que no estaban previstas modificaciones para el horizonte temporal considerado. Para el control del riesgo identificado se propusieron dos técnicas: a) control del sistema peligroso a partir de la implementación de acciones para anular la migración de los contaminantes presentes, y b) control de las consecuencias a partir de la implementación de barreras para dificultar la exposición de los eventuales receptores. Las técnicas propuestas se formularon según dos esquemas para el control

del riesgo: el primero consistió en la excavación y retiro de la totalidad del pasivo descubierto y su envío a un vertedero habilitado para la disposición final de RSU; el segundo tuvo en cuenta la implementación de una acción correctiva para mitigar los efectos de los residuos sobre el ambiente, a partir de la conformación de una celda de confinamiento que permitiera recuperar el área afectada para su uso agrícola. Ambos esquemas resultaron técnicamente viables, por lo que en la adopción de la medida a ejecutar se definió con base en el estudio de los costos de ejecución.

4.2 Acción correctiva

Se proyectó una celda para la remediación *in situ* del pasivo identificado. En la Figura 1 se presenta el esquema del corte transversal de la celda propuesta, donde:

1. $B = 28,00$ m corresponde al ancho del coronamiento superior
2. $b = 20,00$ m corresponde al ancho de la base de la celda
3. $H = 4,00$ m corresponde a la profundidad total
4. $hr = 2,80$ m corresponde al tirante de residuos
5. $t_{min} = 1,20$ m corresponde a la tapada mínima
6. $t_{max} = 1,50$ m corresponde a la tapada máxima
7. $e = 0,20$ m corresponde al espesor de la impermeabilización
8. $\alpha = 45^\circ$ corresponde al ángulo del talud (1:1)
9. NT: representa el nivel del terreno

Esta alternativa consistió en reubicar los residuos existentes en el predio, en una celda excavada en el lugar empleando la técnica de control del emisor. Para su ejecución se realizaron las siguientes tareas: excavación y acopio de los suelos de cubrición, extracción de los residuos existentes en el predio, excavación de la celda de confinamiento, traslado de los residuos a la celda, limpieza de residuos dispersos, extracción y gestión de residuos patogénicos y peligrosos, compactación de los residuos en la celda de confinamiento, colocación de la barrera superior impermeable, cobertura final, colocación de los elementos de control (5 chimeneas de venteo y 1 freatímetro).

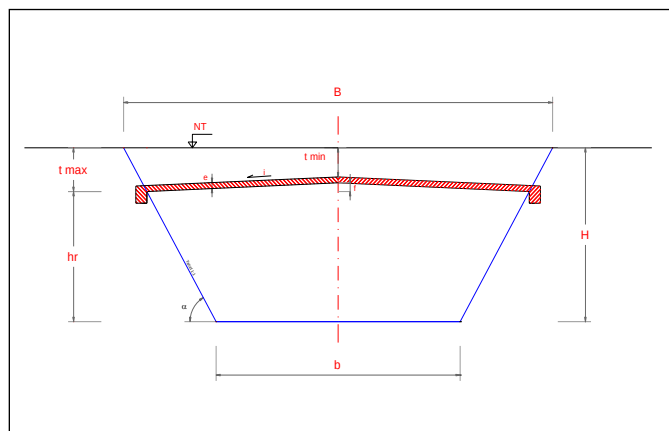


Figura 1. Esquema del corte transversal de la celda propuesta

La ejecución de la acción correctiva se extendió por espacio de 5 meses. La realización de la tarea se llevó a cabo sin afectar ni interrumpir la dirección de los cauces de escurrimiento superficial de aguas existentes en la zona de trabajo.

4.3 Controles realizados

Se verificó el valor de densidad de los residuos compactados en el interior de la celda practicando un orificio de 1 m de profundidad y 0,40 m de diámetro, se emparejaron los bordes y se revistió con una lámina impermeable; a continuación se ingresó un volumen de agua previamente pesado y en laboratorio se determinó la densidad de la masa de residuos, cuyo valor resultó de $1,72 \text{ g/cm}^3$, compatible con el valor de referencia establecido en $1,60 \text{ g/cm}^3$. La impermeabilidad de la barrera se determinó con base en la Norma IRAM 10530 (versión 88) del Instituto Argentino de Normalización y Certificación con un resultado promedio sobre 19 puntos diferentes de $1,05610 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, valor aceptable para instalaciones de RSU. Los resultados de la calidad edáfica del suelo se obtuvieron a partir del análisis de 10 muestras obtenidas sobre la superficie de la celda y 15 muestras extraídas del perímetro, a profundidades comprendidas entre 0 y 0,40 m.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha resumido el conjunto de estudios realizados y actividades ejecutadas para contar con un diagnóstico muy preciso del pasivo identificado, con la finalidad de implementar una acción correctiva para que su recuperación permita el uso en actividades agrícolas. En la Figura 2 se puede apreciar la situación del sector de trabajo en su estado inicial y final.

La recuperación de pasivos ambientales ligados a la presencia de RSU depositados sin control en el pasado sobre suelos superficiales, requiere la realización de estudios específicos para establecer la antigüedad del depósito, el volumen de los materiales residuales, las concentraciones de diferentes contaminantes vinculados al tipo de residuos presentes, las características del terreno afectado con relación a diferentes aspectos ambientales, los riesgos ambientales y los nuevos usos previstos para el sitio, entre otros.



Figura 2. Vistas del predio antes y después de la intervención

Al finalizar la intervención el sitio recuperado no presenta limitaciones desde el punto de vista edáfico para llevar a cabo distintos cultivos agrícolas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Cortés, J., Casa, A., PAsino, M., Yamin, M., Terrizazano, C. *Fajas oblicuas de deformación neotectónica en precordillera y cordillera frontal (31° 30' - 33° 20' LS): Controles Paleotectónicos*. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Vol. (4) 61. 2006. 639-646.
- [2] Llamas, S., Mercante, I., Martinengo, P. *Metodología de caracterización de pasivos ambientales generados por la eliminación de residuos sólidos urbanos*. Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías. 2011. Editores: Juan E. Nuñez McLeod, Irma Mercante, Susana Llamas, Alejandro P. Arena. ISBN 978-950-42-0134-2. 2011. Mendoza.

- [3] Calvo Redruejo, F., Zamorano, M., Moreno, B. *Metodología de diagnóstico ambiental de vertederos como herramienta en la planificación ambiental*. En: Actas I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. 2002. Granada. 975-975.
- [4] Calvo, F., Moreno, B., Ramos, A., Zamorano, M. *Implementation of a new environmental impact assessment for municipal waste landfills as tool for planning and decision-making process*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 11. 2007. 98-115.
- [5] Tchobanoglous, G., Theysen, H., Vigil, S. *Gestión integral de residuos sólidos*. Volumen II. Parte V. Clausura, restauración y rehabilitación de vertederos. Capítulos 16 y 17. 1º edición. 1994. McGraw-Hill. Madrid. 869-924.
- [6] Szanto Narea, M. *Diseño de plan de cierre y rehabilitación de áreas utilizadas como vertederos o rellenos sanitarios*. En: Actas del VII Congreso internacional en disposición final de residuos sólidos y perspectivas ambientales. 2007. Colombia. pp: 17.
- [7] Calvo, F., Moreno, B., Zamorano, M., Szanto, M. *Environmental diagnosis methodology for municipal waste landfills*. Waste Management. Vol. (25). 2005. 768-779.
- [8] Zamorano, M., Molero, E., Hurtado, A., Grindlay, D., Ramos, A. *Evaluation of municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology*. Journal of Hazardous Materials, Vol. 160. 2008. 473-481.

Relaciones hidráulicas y de calidad entre el botadero a cielo abierto “La Concepción” y el Río Magdalena en Colombia

Augusto Sisa Camargo, Nury Logreira Diazgranados, Juan Camilo Lopera, Horacio Caicedo
asisa@uninorte.edu.co

Resumen

El botadero a cielo abierto “La concepción” con una superficie de 7 Ha, localizado a 500m del Río Magdalena, a una distancia de 5 km de un aeropuerto internacional y a 1500 m de una bocatoma para suministro de agua potable; fue utilizado durante más de 30 años sin suficiente control por parte de las autoridades locales o regionales. Durante el inicio del siglo XXI se decidió su cierre y como parte de éste proceso se realizó un diagnostico de las condiciones del vertedero dentro del cual se incluyó el análisis de las relaciones de calidad de agua y condiciones del residuo debido a que el botadero no cuenta con ningún tipo de impermeabilización y ha estado sometido a las variaciones anuales de niveles en el río que sumergen parte de los residuos en las áreas de inundación del río, intensas precipitaciones de la zona y las actividades de degradación natural de la materia depositada. En este trabajo se presentan los resultados de la modelación matemática de las condiciones de flujo dentro del botadero y el suelo de la ribera del Río Magdalena y se comparan con los resultados de caracterización de residuos y calidad de aguas encontrando que el proceso de lavado continuo ha disminuido el riesgo de contaminación futura por los residuos simplificando el control del este de frente a mejorar la seguridad aeronáutica y suministro de agua de la región.

Palabras Clave: *botadero cielo abierto, ríos*

386

1. Introducción

La Concepción, es uno de los múltiples botaderos a cielo abierto utilizados de manera informal durante la segunda mitad del siglo XX como sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos-RSU en el Municipio de Soledad, localizado al norte de Colombia. Pero que a partir de la normatividad nacional y local emitida desde el año 2003 dejó de recibir en 2007 las cerca de 83 Ton/día que correspondía al 30% de las 276 Ton/día que se producían en el municipio. Actualmente el municipio dispone la mayor parte de sus RSU (sin un proceso de separación) en un relleno sanitario controlado que atiende la actual población de Soledad cercana a los 520 000 habitantes [1]. Sin embargo, aun quedan algunos botaderos a cielo abierto de menor área que son utilizados principalmente por recicladores que realizan un aprovechamiento básico de los RSU generados en el municipio o en el Área Metropolitana de Barranquilla-AMB que concentra una población cercana a 1 726 500 habitantes [1] correspondientes a cuatro municipios más, entre ellos Barranquilla que es la capital del Departamento del Atlántico, localizado al norte de Colombia.

Actualmente el botadero “La Concepción” tiene un área superficial de 7Ha y un volumen acumulado de residuos de aproximadamente 150 000 m³ [2] y aunque no recibe el volumen de RSU de finales del siglo XX aun recibe una pequeña cantidad de residuos que son utilizados por algunas familias de muy bajos ingresos que los utilizan como alimento para ganado porcino y caprino y aprovechamiento dentro de una actividad de reciclaje.

En el botadero se han intentado realizar varios planes de cierre y clausura pero se han encontrado entre las dificultades el hecho que sobre el área viven por lo menos 129 familias que concentran cerca de 774 personas, de acuerdo con el último censo realizado en 2007 [3], y que aunque el 100%

de ellas no viven directamente del aprovechamiento de residuos si han generado a lo largo de los años fuertes redes sociales entre los miembros de la comunidad que soportadas además por la ocupación del predio por varias décadas obstaculizado los planes de reasentamiento de las familias en nuevos predios.

Otros de los aspectos a resaltar del botadero están asociados con su localización geográfica ya que por un lado se encuentra ubicado a 5Km del aeropuerto Ernesto Cortissoz que atiende la población del AMB lo que se ha convertido en uno de los problemas de seguridad aeronáutica por riesgo aviar. Y por otro la cercanía a la ribera del Río Magdalena la cual se encuentra tan solo a una distancia entre 300m y 600m dependiendo del proceso de agregación de sedimentos que se esta dando en el río, y que además se encuentra localizado tan solo a 2 Km aguas arriba de la bocatoma del acueducto que atiende a un porcentaje importante del AMB y algunos municipios del Departamento del Atlántico.

Debido a esta situación se diseñó un proyecto que tiene como objetivo el cierre y clausura el botadero “La Concepción” y como parte del mismo se requirió el diagnóstico de las condiciones actuales del mismo entre las cuales se incluye el establecimiento de las relaciones hidráulicas y de calidad del agua entre el Río Magdalena y el botadero “La Concepción”, que es el objetivo principal del presente trabajo.

2. Metodología

Con el objeto de establecer las relaciones hidráulicas y de calidad entre el Río Magdalena y el botadero “La Concepción”, se analizaron los registros históricos de las condiciones del río, las características de los residuos depositados en el botadero, la calidad del agua dentro del vertedero y el comportamiento del flujo del agua y de las sustancias dentro del medio poroso del vertedero y del suelo [2].

Como parte de este análisis se estableció la necesidad de comprender la relación de flujo de aguas subterráneas entre el botadero y el río ya que por la cercanía entre los mismos es muy probable que los lixiviados generados en el vertedero fluyan directamente al río ante la ausencia de una capa impermeable entre los dos sistemas que sumados a las variaciones de nivel del río generan un campo de flujo del cual se desconocen la mayor parte de sus características como son pérdidas de carga y caudal.

Con este objetivo y a partir de los datos recolectados se construyó un conjunto de modelos computacionales dentro de los cuales se incluye la modelación en Visual ModFlow que facilita la modelación del flujo en medios porosos como el espacio entre el vertedero, la matriz de suelo entre el botadero y el río y la planicie de inundación del mismo. Para esta modelación se hace uso de la topografía de la zona de estudio, las condiciones del flujo y las condiciones de frontera a las que está sometido el botadero. Al estar este ubicado en la ribera del río tiene una fuerte influencia de este y se considera como una condición de frontera que afecta el flujo dentro del botadero.

Como condiciones se considera el flujo desde el botadero hacia el río o del río hacia el botadero dependiendo del nivel del río y de la pluviosidad en el municipio o directamente sobre el botadero. Entre los parámetros que pretendían analizar esta el caudal transportado a través de la zona para diferentes condiciones. Por otro lado se analiza el transporte de lixiviados que se produce en el botadero. La modelación se realiza con la herramienta VisualModFlow y con la ayuda de algunas aplicaciones auxiliares y en un Sistema de Información Geográfica donde se preparan algunos archivos de entrada de Visual ModFlow.

En la modelación de flujo se analiza cuales son las condiciones de frontera que gobiernan el flujo en el botadero. El río actúa como una condición de frontera donde dependiendo de los niveles de río este afecta el flujo en el botadero. Como parámetro de entrada se ingresa el nivel del río

determinado a partir de las estaciones limnimétricas ubicadas en el río, la permeabilidad del fondo del río y la altura de capa de fondo. El nivel freático con el que se cuenta en la zona de estudio también actúa como una condición de frontera y se determina a partir de las mediciones realizadas en los pozos construidos durante el diagnostico, como se describe en [2] o [4].

3. Resultados y Discusión

3.1 Condiciones Hidráulicas e Hidrometeorológicas

El Río Magdalena es uno de los cauces más importantes de Colombia y en la abscisa K 23 desde la desembocadura en el Mar Caribe, se encuentra localizada una estación limnimétrica en una de las termoeléctricas construidas en Colombia después de la crisis energética de 1992 producida por el fenómeno del Niño y que colinda con el predio donde se encuentra el botadero de La Concepción. En esta estación el registro de niveles muestra una variación anual de 2.5, aunque a finales del año 2010 se registro el máximo histórico que llegó a los 3m (Ver Figura 4). El caudal correspondiente a estos niveles varia entre 2000 m³/s para las condiciones mínimas y 16000 m³/s para las condiciones máximas y un caudal medio anual de 9000 m³/s.

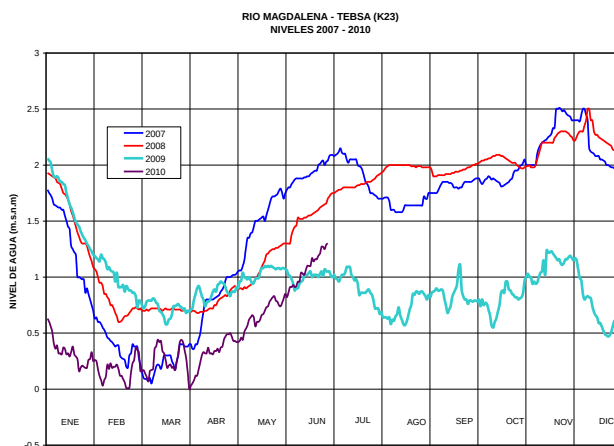


Figura 4 Niveles en el Río Magdalena Estación TEBSA (Uninorte 2010)

Por otro lado se analizaron las condiciones hidrogeomorfológicas en la zona del botadero a partir de imágenes Landsat tomadas desde 1980 y de estudios previos realizados en la Universidad del Norte [5], y se estableció que casi la totalidad del botadero se encuentra sobre una zona de alta susceptibilidad a inundaciones (Ver Figura 5) lo que genera que durante los períodos de altos niveles en el río se generen parches de agua a pocos metros del talud del botadero lo que sugiere que una fracción importante de la columna de 7.5m de residuos estaría saturada con una alta frecuencia. De hecho durante la temporada de muestreo se encontró el nivel freático escasamente a 50 cm de la superficie en varios puntos lo que indica que casi la totalidad de la columna de residuos estaba sumergida en el momento de la medición.

Teniendo en cuenta las observaciones realizadas y la construcción del modelo hidráulico que incluye el detalle de un canal del sistema de drenaje pluvial de Soledad que cruza por el centro el botadero y que aporta un nivel de agua adicional durante los eventos de lluvia en el municipio (Ver Figura 6). A partir de este modelo se logro estimar que durante los eventos de lluvia el flujo a través del botadero alcanza los 754 m³/día el cual es considerado como muy alto.

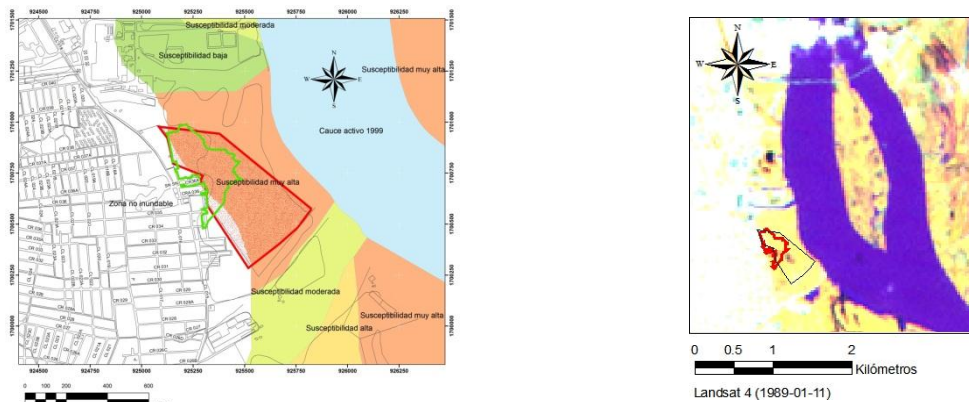


Figura 5 Susceptibilidad a inundaciones (Uninorte 2010)

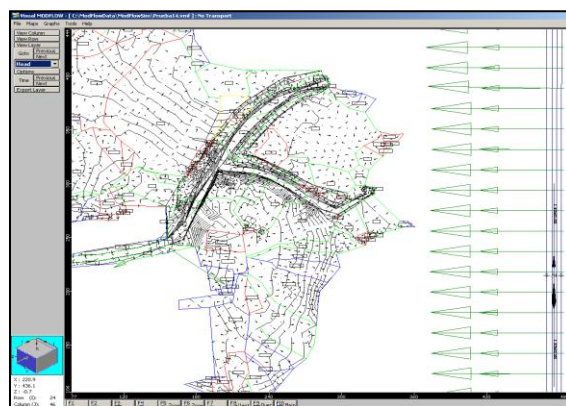


Figura 6 Salida de Modflow

Durante el proceso de calibración se observó que en el costado norte del vertedero la alta concentración de nutrientes (Nitrogeno) [4], podía ser un efecto hidráulico de una piscina de lodos construida aproximadamente a 300m del talud del botadero y que reduce el área de contacto entre el predio del botadero y el río. Al hacer esta simulación bajo el supuesto que la piscina de lodos actúa como una barrera impermeable, el flujo a través del botadero se reduce a 611 m³/día pero dejando una zona en corto circuito que termina concentrando nutrientes provenientes no solo del vertedero sino de algunas descargas no controladas de aguas residuales.

3.2 Condiciones de calidad del agua y residuos

Al analizar las características de los residuos y agua en el botadero se encontró que los parámetros físico químicos de los mismos eran menores a los esperados para un botadero probablemente como consecuencia del lavado periódico. En las muestras de residuos se encontraron concentraciones de nitrógeno elevadas que sugerían un proceso de degradación de la materia orgánica y probablemente la acumulación de gases como metano, pero investigando y consultando con la comunidad no se encontraron reportes de incendios o explosiones durante las varias décadas de operación lo que permite inferir que el continuo lavado del vertedero evitó la acumulación de gases.

También se estableció que una posible explicación a la concentración de nitrógeno en los residuos era el hecho que la superficie del botadero ha sido utilizada para la ganadería porcina y caprina, actividad que contribuiría a la acumulación de materia orgánica pero concentrada fundamentalmente en la superficie.

En cuanto a las mediciones de calidad de agua las características de la misma indican una baja concentración de la mayoría de parámetros regulados con respecto a los esperados en un lixiviado [4], lo que relacionado con el caudal de agua estimado a través del botadero sugiere un fuerte proceso de dilución.

4. Conclusiones

El gran caudal transportado por el Río Magdalena que en conjunto con las variaciones de nivel durante los periodos de lluvia y secos en la cuenca del río y las intensas lluvias en la microcuenca donde se ubica el botadero La Concepción, generaron que el mismo estuviera sometido a un lavado periódico que diluía los lixiviados producidos durante la operación del botadero por cerca de 30 años para ser transportados por el río en dirección al Mar Caribe. Esta situación ha generado que en la actualidad la calidad del agua en el botadero sea poco diferenciable de otras descargas de agua que hace el AMB al río como: aguas sanitarias, aguas residuales tratadas y aguas del primer lavado por lluvia; descargas que en algunas situaciones generan condiciones más críticas en el río que las del botadero.

Debido a que los residuos depositados en el botadero “La Concepción” pocas veces fueron compactados durante la operación del mismo, más allá de la generada por el ganado y las construcciones ubicadas sobre el vertedero la permeabilidad del residuo resultó ser muy alta. A partir de los ejercicios de calibración y de los ensayos insitu se estableció que el material del lecho del botadero tiene una permeabilidad de 8.28×10^{-8} cm/s, mientras que el estrato compuesto por residuos alcanza valores de 0.005 a 0.0044 cm/s.

Los datos registrados permiten inferir que actualmente el riesgo asociado tradicionalmente a los sitios de disposición de residuos es menor que el estimado inicialmente y en comparación con otros botaderos de la zona se ubica en una escala de amenaza menor que otros con área menor, no se le debe dejar de prestar atención en particular porque sigue siendo el que mayor cantidad de habitantes tiene sobre él y que las viviendas ocupadas por los mismos al estar construidas sobre los mismos residuos del botadero en un área de alta susceptibilidad a las inundaciones no se encuentran en condiciones aceptables por la normatividad vigente desde el punto de salubridad, ordenamiento y riesgo sísmico.

Se encontró que el efecto de la piscina de lodos localizada al occidente del vertedero tiene la capacidad de reducir el flujo entre el botadero y el río en un 19% lo que facilita la acumulación de nutrientes provenientes de las descargas de aguas residuales y de la descomposición de los residuos en el vertedero. En la actualidad se está evaluando la necesidad de eliminar la piscina de lodos o disponer de un sistema que permita el flujo del agua hacia el río dado que se logró establecer que las condiciones de calidad del agua del vertedero no eran tan críticas como se pensaba principalmente por la edad de los residuos y el frecuente lavado de los mismos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado en esta investigación al personal de la Gobernación del Departamento del Atlántico y la Corporación Autónoma Regional de Atlántico – CRA.

Referencias Bibliográficas

- [1] Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. 2007. Censo General 2005. Bogotá Colombia.
- [2] Universidad del Norte. (2010) Desarrollo e implementación de una metodología de clausura y restauración ambiental de vertederos a cielo abierto que permita simular las condiciones de riesgos

ambientales del vertedero “La Concepción” del Municipio de Soledad en el Departamento del Atlántico. Informe Técnico.

[3] Empresa de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente de Soledad S.A. EDUMAS. 2007. Implementación del programa de reasentamiento para la familias residentes y población aledaña al basurero la concepción del municipio de Soledad – Atlántico. Soledad: Colombia. Informe Técnico.

[4] Nury Logreira Diazgranados, Augusto Sisa Camargo, Camilo Madariaga Orozco, Nelson Molinares Amaya, Marco Escolar Fontalvo. 2011 .Diagnostico y clausura del botadero “La Concepción”. Soledad - Colombia. Memorias del IV Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos.

[5] German Vargas Cuervo. (2008). Dinámica de cuerois de agua y zonas inundables. En Alvarado Ortega, Manuel (editor). Río Magdalena: Navegación Marítima y Fluvial (1986-2008). Barranquilla: Uninorte.

Rellenos sanitarios sostenibles para municipalidades pequeñas: el método semi-mecanizado de trinchera de Villanueva, Honduras

Stewart M. Oakley, Ramón Jiménez
soakley@csuchico.edu

Resumen

El método más común de disposición final de los residuos sólidos en las 14.000 municipalidades de América Latina es el botadero a cielo abierto. Rellenos sanitarios que cuentan con un sistema impermeable compuesto, compactación, cobertura diaria, y tratamiento de biogás y lixiviados existen solamente en algunas de las ciudades grandes (≥ 500.000 personas). Sin embargo, se estima que el porcentaje de la población total latinoamericana que vive en ciudades con menos de 50.000 habitantes varía entre 19,1 a 47,6% por país; en Brasil, por ejemplo, 24,3% de la población total, o 42.321.000 personas, vive en ciudades con ≤ 50.000 habitantes. Se presenta en este trabajo un método de relleno sanitario sostenible para ciudades pequeñas (< 50.000) que fue desarrollado en Villanueva, Honduras. El método semi-mecanizado de trinchera utiliza una excavadora durante solamente 3 o 4 días para excavar una trinchera ($\geq 4\text{m}$ de profundidad) que durará aproximadamente un mes antes de llenar con los residuos. Los camiones descargan directamente a la trinchera, y los residuos se compactan naturalmente a través de descomposición bioquímica; el área expuesta superficial de los residuos es mínima porque 4 de los 6 lados de la celda diaria están encerrados dentro de la trinchera. El suelo excedente de las excavaciones puede ser valorizado para uso en obras civiles. El relleno semi-mecanizado de Villanueva (población = 48.000) ha estado en operación durante 15 años, operado únicamente por la municipalidad, con un costo en el año 2010 de US\$4,60 por tonelada, con un área de terreno requerida de $0,2 \text{ m}^2/\text{persona-año}$.

392

Palabras Clave: *disposición final, ingeniería de vertederos, valorización, rellenos sanitarios semi-mecanizados*

1. Introducción

El método más común de disposición final de los residuos sólidos en las 14.000 municipalidades de América Latina es el botadero a cielo abierto [1]. Diseño y operación de rellenos sanitarios que cuentan con un sistema impermeable compuesto, compactación, cobertura diaria, y tratamiento de biogás y lixiviados existen solamente en algunas de las ciudades grandes con más de 500.000 personas [1]. El énfasis en ciudades grandes es entendible dado la magnitud de los problemas de disposición de los desechos y la falta de recursos técnicos-financieros disponibles, tanto local como internacional, en los grandes centros urbanos. Sin embargo, como se presenta en la Tabla 1, la distribución de la población de algunos países de América Latina muestra que las ciudades pequeñas con menos de 200.000 habitantes puede componer del 26,3 al 47,6% de la población total del país; ciudades con poblaciones de menos de 50.000 habitantes del 19,1 al 44,7%; y ciudades con menos de 20.000 habitantes, del 11,4 al 27,5% [2].

Tabla 1. Distribución de la población en ciudades pequeñas de América Latina¹.

País	Población Total	Porcentaje de Población Total (Población Estimada en Pequeñas Ciudades)		
		<200.000	<50.000	<20.000
Argentina	36.896.000	30,2 (11.143.000)	19,1 (7.047.000)	11,4 (4.206.000)
Brasil	174.161.000	41,6 (72.451.000)	24,3 (42.321.000)	15,0 (26.124.000)
Chile	15.412.000	38,6 (5.949.000)	21,2 (3.267.000)	14,3 (2.204.000)
Colombia	41.683.000	26,3 (10.963.000)	19,4 (8.086.500)	14,8 (6.169.000)
Costa Rica	3.929.000	47,6 (1.870.000)	44,7 (1.756.000)	27,5 (1.080.000)
Guatemala	11.229.000	35,3 (3.964.000)	30,6 (3.436.000)	25,8 (2.897.000)
Honduras	6.196.000	26,3 (1.629.548)	19,5 (1.208.220)	13,0 (805.480)
Perú	25.663.000		19,8 (5.081.000)	14,7 (3.772.000)

¹ Años 2000/2001. Fuente: UN-HABITAT (2006)

Estas numerosas ciudades pequeñas—hay 13.336 municipalidades con menos de 100.000 habitantes en América Latina [3]—reciben mínimo apoyo gubernamental para la disposición final de desechos sólidos y no tienen los recursos ni la capacidad de operar un relleno sanitario mecanizado para el esparcimiento y la compactación de los desechos, la excavación y la aplicación, el esparcimiento y la compactación de la cobertura diaria. A pesar de los ejemplos de rellenos sanitarios sostenibles para ciudades pequeñas publicados en la literatura [4], la gran mayoría de los textos y manuales de diseño utilizada por los profesionales da énfasis en la tecnología de escala grande con impermeabilización compuesta, operación mecanizada, y manejo de lixiviados y biogas.

El énfasis en la tecnología mecanizada de escala grande impone serias restricciones técnicas a las opciones de disposición apropiada a la escala, las condiciones y los recursos de las pequeñas ciudades. Ésto es especialmente importante en países como Brasil, por ejemplo, donde la legislación nacional recientemente promulgada requiere que ciudades con menos de 20 ton/día de generación de desechos sólidos utilice un relleno sanitario para la disposición final [5].

El propósito de este trabajo es presentar los resultados de un relleno sanitario técnicamente adecuado y sostenible para ciudades pequeñas de hasta 50.000 habitantes: el relleno sanitario semi-mecanizado desarrollado en Villanueva, Honduras.

2. Metodología

2.1 Método semi-mecanizado de trinchera—teoría y diseño

La base racional del método semi-mecanizado es eliminar la necesidad de equipo pesado de tiempo completo para esparcimiento y compactación de residuos, excavación, transporte, esparcimiento y compactación de la cobertura diaria para reducir los costos de operación y promover la sostenibilidad a la escala municipal. Se utiliza una excavadora hidráulica durante 3 o 4 días para excavar una trinchera (5m de profundidad y ancho, 60m de largo) que durará aproximadamente un mes antes de llenar con los residuos. Los camiones descargan los residuos directamente a la trinchera verticalmente para formar la celda diaria; el área expuesta superficial de los residuos es mínima porque 4 de los 6 lados de la celda diaria están encerrados dentro de la trinchera. Los residuos compactan naturalmente a través de biodegradación semi-aeróbica, lo que reduce el

volumen en 30-40% en climas tropicales, permitiendo el relleno de las trincheras antes de poner la cobertura final. El lixiviado está controlado a través de atenuación natural en vez de colección y tratamiento. Finalmente, el suelo excedente de las excavaciones puede ser valorizado para uso en obras civiles.

El procedimiento de diseño incluye i) selección del sitio basado en topografía, balance hídrico, y atenuación natural de los lixiviados; ii) selección de la excavadora; iii) determinación de la profundidad máxima y espaciamiento de trincheras basado en el esfuerzo cortante del suelo; iv) cálculos de las dimensiones de la celda diaria; v) estimación de la producción de lixiviados; y vi) estimación del volumen de suelo excedente y su valorización.

2.2 Método semi-mecanizado de trinchera—operación

Las Figuras 1, 2, y 3 presentan los procedimientos operacionales utilizados en Villanueva, Honduras.



Figura 1. a) La trinchera de 1.500m³ (5m x 5m x 60m) fue excavado con una excavadora (138 hp, cucharón de 1 m³) en 36 horas y durará 3 o 4 semanas antes de llenarla. El metano está controlado con chimeneas de piedra utilizando de método de Jaramillo [4]. b) El suelo excedente de las excavaciones está almacenado para ser utilizado después en el relleno, o en otros lugares fuera del sitio, lo que se llama valorización



Figura 2. a) Se descargan los desechos en la trinchera formando la celda diaria, lo que tiene el mínimo de área superficial expuesta. Se nota el suelo excedente de la excavación al lado derecho. b) El área superficial expuesta de la trinchera es mínimo durante el llenado longitudinal con celdas diarias



Figura 3. a) Se deja la trinchera llena sin cobertura durante 3 o 4 semanas para permitir la compactación natural por biodegradación semi-aeróbica y el asentimiento por el peso de los desechos. b) Una trinchera llena después de 3 semanas de compactación natural, obtuvo una ganancia del 30-40% del volumen original

3. Resultados

La Tabla 2 presenta los resultados de operación del relleno sanitario semi-mecanizado de Villanueva, Honduras de 1994 a 2010. Durante este período de 15 años la población creció de 23.000 a 48.000 personas, requiriendo un área total de relleno de 11,44 hectáreas, equivalente a 0,2 m²/persona-año. El volumen total de residuos enterrados fue 372.626 m³, lo que se requiso 74.525 m³ de cobertura final, dando una relación de cobertura/residuo de 0,20. El volumen total de suelo excedente está estimado en 298.101 m³, que hoy en día está utilizando en obras de ingeniería en el sitio y almacenando para una valorización futura.

Se presentan los resultados del balance hídrico anual con la producción de lixiviados en la Tabla 3. Se calcula que el relleno no debería producir lixiviados porque la suma de la diferencia de infiltración y la evapotranspiración es negativa ($I - ET_0 = -504,9$). Además, el agua subterránea descarga directamente al Río Ulua 2 km aguas abajo el relleno; el Río Ulua tiene un caudal promedio de 32.000.000 m³/día y, por lo tanto, para cualquier cantidad de lixiviados que entrara el acuífero, el río la diluiría a niveles insignificativos.

Tabla 2. Producción de residuos, área, cobertura necesaria, y suelo excedente para el relleno sanitario semi-mecanizado de Villanueva, Honduras, 1994–2010

Año	Población	Producción de Residuos ¹		Área de Relleno ²		Cobertura ³		Suelo Excedente
		M_d ton/día	ΣV_a m ³	A_{TTS} ha/año	ΣA_{TLF} ha	V_c m ³ /año	ΣV_c m ³	
1994	23.369	16,4	14.927	0,38	0,45	2.985	2.985	11.942
1995	24.445	17,1	30.541	0,40	0,93	3.123	6.108	24.433
1996	25.570	17,9	46.874	0,42	1,43	3.267	9.375	37.499
1997	26.747	18,7	63.959	0,44	1,95	3.417	12.792	51.167
1998	27.978	19,6	81.830	0,46	2,50	3.574	16.366	65.464
1999	29.266	20,5	100.524	0,48	3,07	3.739	20.105	80.419
2000	30.613	21,4	120.078	0,50	3,67	3.911	24.016	96.062
2001	32.022	22,4	140.532	0,52	4,30	4.091	28.106	112.425
2002	33.496	23,4	161.927	0,55	4,95	4.279	32.385	129.542
2003	35.038	24,5	184.307	0,57	5,64	4.476	36.861	147.446
2004	36.650	25,7	207.718	0,60	6,36	4.682	41.544	166.174
2005	38.337	26,8	232.206	0,63	7,12	4.898	46.441	185.765
2006	40.102	28,1	257.821	0,66	7,90	5.123	51.564	206.257
2007	41.948	29,4	284.615	0,69	8,73	5.359	56.923	227.692
2008	43.878	30,7	312.642	0,72	9,59	5.605	62.528	250.114
2009	45.898	32,1	341.960	0,75	10,50	5.863	68.392	273.568
2010	48.011	33,6	372.626	0,79	11,44	6.133	74.525	298.101

1. M_d – Masa depositada diaria asumiendo producción de 0,7 kg/persona. ΣV_a – Volumen de residuos acumulado por año en las trincheras asumiendo una densidad de 400kg/m³.

2. A_{TTS} – Área total de sistema de trincheras con espaciado de 1,5m entre las trincheras. ΣA_{TLF} – Área total acumulado de relleno ($\Sigma A_{TTS} + 20\%$). El área total acumulada es equivalente de 0,2m²/persona-año.

3. La relación de cobertura final/residuos es de 0,2 asumiendo que 1,0m de suelo debe ser aplicado para obtener una cobertura final mínima de 0,5m.

La Tabla 4 presenta los costos operacionales para el año 2010, que resultaron en un promedio de US\$4,60 por tonelada.

Tabla 3. Balance hídrico anual del relleno sanitario de Villanueva

	<i>P</i> , mm	<i>E</i> , mm	<i>I</i> = <i>P</i> - <i>E</i> , mm	<i>ET</i> ₀ , mm	<i>I</i> - <i>ET</i> ₀ , mm	Lixiviados, mm
Total Anual	1.173,4	137,2	1.036,2	1.541,1	-504,9	0

P = precipitación; *E* = escurrimiento; *I* = infiltración; *ET*₀ = evapotranspiración. Escurrimiento calculado con las trincheras cubiertas. Datos de *P* y *ET*₀ de la estación meteorológica La Mesa, San Pedro Sula.

Tabla 4. Costos operacionales del relleno semi-mecanizado de Villanueva, 2010

Mano de obra	Número	Costo/Mes (US\$)	Total/Mes (US\$)
<i>Operador principal</i>	1	368	368
<i>Trabajadores</i>	5	289	1.445
Equipo Pesado	Horas	Costo/Hora	
<i>Excavadora</i>	36	79	2.844
Total:			4.657
Ton/mes			1.012
Costo/ton (US\$)			4,60

4. Conclusiones

El método de relleno sanitario semi-mecanizado de trinchera, desarrollado en Villanueva, Honduras y operado únicamente por la municipalidad por 15 años con éxito, es un excelente ejemplo de una solución apropiada y sostenible para los miles de ciudades pequeñas en América Latina con menos de 50.000 habitantes que no tendrán, ni a corto ni a medio plazo, los recursos para operar un relleno completamente mecanizado. Criterios de diseño y operación basados en la experiencia de Villanueva pueden ser desarrollados para rellenos semi-mecanizados en ciudades pequeñas. Los criterios claves son: selección de sitio basado en topografía y atenuación natural; selección de excavadora; profundidad y espaciamiento de trincheras basado en el esfuerzo cortante del suelo; diseño y operación de la celda diaria; y valorización del suelo excedente.

Referencias Bibliográficas

- [1] UNEP and CalRecovery. *Solid Waste Management. Volume II: Regional Overviews and Information Sources*. 2005. International Environmental Technology Centre. UNEP. Osaka, Japan. http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/Solid_Waste_Management/SWM_Vol-II.pdf
- [2] UN-HABITAT (United Nations Human Settlements Programme). *Meeting Development Goals in Small Urban Centres: Water and Sanitation in the World's Cities*. 2006. Earthscan. London.
- [3] CLAD (Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo). *Descentralización y Municipios en América Latina: Necesidades de Información de los Gobiernos Locales*. 1997.
- [4] Jaramillo, J. *Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales*, 2002. OPS/CEPIS. Publicación 02.93. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/rellenos/rellenos.pdf>
- [5] ABNT. *Resíduos sólidos urbanos-Aterros sanitários de pequeno porte-Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento*. 2010. ABNT NBR 15849. Rio de Janeiro, Brasil.

Revisión y propuesta de modificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003

Raúl Sergio Cuellar Salinas, Conrado Sarmiento Bleicher
cuellarsan@yahoo.com

Resumen

A casi 10 años de su promulgación, ha sido muy escaso el cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y se requiere su revisión. En este trabajo se plantean los aspectos que deben ser revisados y los criterios para su revisión, centrándose en las siguientes propuestas: Suprimir la clasificación de los sitios de disposición final y elaborar una normatividad particular para los sitios que reciban menos de 10 t/día. Modificar las restricciones para la localización del sitio, señalando las obras o instalaciones de protección ambiental requeridas en función de las características de su localización. Requerir los estudios preliminares sólo en función de las especificaciones de construcción y operación del sitio. Requerir las instalaciones y obras complementarias sólo en función de la protección ambiental del sitio. Identificar claramente los sujetos obligados al cumplimiento de las especificaciones de la norma y las autoridades responsables de su vigilancia.

Palabras Clave: *disposición final, impacto ambiental, protección ambiental, relleno sanitario, residuos sólidos*

1. Introducción

Se analizan los requerimientos de la NOM-083-SEMARNAT-2003 que se consideran deben ser revisados y modificados, señalando los capítulos y numerales de la norma y realizando las observaciones y propuestas correspondientes.

2. Desarrollo

2.1 Clasificación de los sitios de disposición final

En el numeral 5.2 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (NOM en adelante) se incluye la clasificación de los sitios de disposición final de residuos, de acuerdo a las toneladas de residuos que se depositan diariamente. Se establecen los tipos “A”, “B”, “C” y “D”, según se reciban más de 100, hasta 100, hasta 50 y hasta 10 t/día respectivamente.

El establecimiento de categorías de los sitios de disposición final, sólo se justifica cuando se determinan diferencias significativas entre la protección ambiental que requieren los sitios en función de la cantidad diaria de residuos depositados. Sin embargo, en la NOM sólo se establecen diferencias de requisitos entre los sitios tipo “A”, “B” y “C”, en aspectos relacionados con los estudios previos, la compactación de los residuos y las obras complementarias, mientras que todos los demás requisitos son iguales para todos los tipos de sitios de disposición final, a excepción de los sitios tipo “D”, para los que se establecen requisitos diferentes a los del cuerpo de la norma.

Considerando que las diferencias de requisitos entre los sitios “A”, “B” y “C” no implican diferencias significativas en los requerimientos para la protección ambiental, se propone que se elimine la clasificación y que sólo se establezca una reglamentación especial, para los sitios tipo “D”, basada en la técnica para la construcción de rellenos sanitarios manuales.

3. Restricciones para la ubicación del sitio

El numeral 6.1 contiene las restricciones para la ubicación de los sitios de disposición final. Al respecto se realizan las siguientes observaciones:

- a) La NOM restringe la instalación de sitios en áreas naturales protegidas, sin embargo, las obras e instalaciones en las áreas naturales protegidas están normadas por los Artículos 64 bis 1, 66 y 67 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y su reglamentación, por lo que debe eliminarse esta restricción.
- b) No hay estudios concluyentes sobre las molestias o riesgos que puede implicar para la población el establecimiento de un sitio de disposición final a una distancia menor a 500 m, sobre todo cuando no se consideran las características topográficas, hidrológicas o de vegetación existentes en la franja ubicada entre el sitio y la localidad, por lo que para fomentar la localización de predios susceptibles para la ubicación de sitios de disposición final se debe reducir esta distancia y condicionarla a la obtención de la autorización de las autoridades municipales a las que pertenezca la comunidad de referencia.
- c) Los numerales 6.1.4. a 6.1.7. tienen la intención de evitar la contaminación que pueden originar los sitios de disposición final en las aguas superficiales o subterráneas, pero las restricciones son tan estrictas que eliminan gran parte del territorio nacional como susceptible para el establecimiento de sitios de disposición final. Si un sitio de disposición final cubre con los requerimientos de construcción y operación previstos en la NOM, no debería implicar riesgo para el ambiente, independientemente de su ubicación, por lo que no se deberían establecer prohibiciones a priori sobre las características del sitio elegido para su establecimiento. En cambio, debería condicionarse su ubicación a la obtención de la autorización de las autoridades responsables en materia ambiental de la localidad o de la Comisión Nacional del Agua, mediante la presentación de los estudios de impacto ambiental que se requieran, en caso de que la ubicación del sitio represente un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas o superficiales.

4. Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio.

Los numerales 6.2 a 6.4 contienen los estudios que se deben realizar previamente a la selección, construcción y operación del sitio. A continuación se realizan algunas consideraciones sobre estos requerimientos.

- a) Cualquier estudio incrementa la inversión que se requiere para la construcción de un sitio de disposición final, sobre todo cuando sus resultados no tienen como consecuencia que se establezcan requerimientos más estrictos. Por tanto, la NOM sólo debe incluir los estudios y análisis que sean verdaderamente indispensables para la protección ambiental del sitio y en todos los casos deben señalarse los límites o los resultados de los estudios o análisis que darían lugar a medidas de protección ambiental adicionales o más estrictas.
- b) La importancia de la información que puede proporcionar la determinación del marco geológico regional sólo radica en su utilidad para descartar sitios inviables cuando el predio seleccionado se encuentre en una zona de fallas o fracturas. Se propone que con el fin de reducir costos, se incluya en la NOM sólo la obligación de consultar los informes o estudios oficiales para determinar que el predio seleccionado no se ubique en una zona de fallas o fracturas y, en su caso, realizar los estudios específicos del subsuelo del sitio.
- c) En la NOM no se establece una relación entre el resultado de los estudios hidrogeológicos y los requerimientos de protección ambiental para la ubicación, construcción y operación del sitio, ya que estos son los mismos, independientemente del resultado de dichos estudios. Se propone

que cómo medida de prevención se señale en la NOM que los estudios hidrogeológicos se deben realizar solamente cuando el sitio se pretenda ubicar en una zona de recarga de acuíferos de donde se extraiga agua para consumo humano y que estos se reduzcan a la determinación de la dirección del flujo subterráneo regional y del gradiente hidráulico, a fin de determinar el riesgo de contaminación por accidente y, en su caso, sujetar al sitio a medidas de protección adicionales a las marcadas en la NOM.

- d) Los estudios topográficos y geotécnicos y las evaluaciones geológica e hidrogeológica incluidos de manera obligatoria en la NOM, no constituyen medidas de protección ambiental para la construcción del sitio, sobre todo cuando sus resultados no obligan al establecimiento de obras o requerimientos más estrictos que los señalados en la NOM. Por tanto, se propone que el requerimiento de los estudios topográfico y geotécnico, así como las evaluaciones geológicas e hidrogeológicas, se eliminen de la NOM, y se incluyan en una norma técnica constructiva o en un manual de especificaciones para la construcción de sitios de disposición final.
- e) Los estudios de generación y composición de los residuos de la población por servir tienen un costo elevado y no guardan una relación directa con la protección ambiental de un sitio de disposición final, ya que en su diseño sólo deben contemplarse la cantidad de residuos que se espera recibir diariamente y su composición típica, datos que deben estar incluidos en los Planes de Gestión Integral de Residuos de la localidad u obtenidos por otros medios que no implican la realización de estudios de generación y composición. Por todo lo tanto, se propone suprimir de la NOM la obligación de realizar estudios de generación y composición.

5. Características constructivas y operativas del sitio de disposición final.

El numeral 7 y sus subíndices incluyen las especificaciones sobre la construcción y operación de los sitios de disposición final. Al respecto se plantean las siguientes consideraciones:

5.1 Protección del suelo de las zonas destinadas al depósito de residuos.

En condiciones de carga hidráulica constante, la permeabilidad de 1×10^{-7} cm/seg., en una barrera geológica natural de un espesor de un metro, señalada en la NOM, indica un tiempo de tránsito de 11,574 días (31 años y 8.6 meses) del agua o lixiviado a través del estrato de baja permeabilidad, lo cual es aceptable, ya que es un tiempo suficiente para que algunos mecanismos de remoción natural de contaminantes hayan abatido ampliamente las cargas de contaminación catiónica y orgánica de un lixiviado que se infiltre por el estrato de suelo compactado o equivalente.

Sin embargo, para el caso de la barrera “equivalente” a la natural que señala la NOM, se puede considerar la instalación de una geomembrana de polietileno de alta densidad, que tiene una permeabilidad característica de por lo menos 10^{-11} cm/seg (medida como transmisibilidad de vapor). En este caso el espesor teórico equivalente para cumplir con el mismo período de tránsito de 11,574 días (10^9 seg) que se deduce de la NOM, sería de 0.10 mm (10^{-2} cm). Esto implica que se podría cumplir con lo señalado en la NOM mediante la colocación de cualquier película de polietileno de alta densidad con el espesor de 3 o 4 bolsas de plástico de uso doméstico de 18 a 30 μ m de espesor.

En tales condiciones y considerando la disponibilidad en el mercado de materiales sintéticos que garantizan una mayor protección, menor permeabilidad y, en ocasiones, menor costo que los materiales naturales, se propone que se especifique en la NOM la obligatoriedad de colocar sobre el terreno natural de la zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final una capa de geomembrana de material sintético, con un espesor mínimo de 1.5 mm, que cumpla con las pruebas ASTM y los requerimientos de instalación adecuados.

5.2 Control de biogás y lixiviado.

Se propone que en la NOM se especifique con claridad que los sistemas o instalaciones para la extracción, captación, conducción y control del biogás podrán construirse desde el inicio del depósito de residuos en el sitio o cuando los volúmenes y la edad de los residuos depositados sean adecuados para su destrucción o aprovechamiento.

Respecto al control de lixiviados, se propone que se señale que la recirculación de los lixiviados debe realizarse mediante su introducción dentro de los residuos y no mediante su depósito en la superficie de las celdas, ya que esto propicia su evaporación y emisiones a la atmósfera.

5.3 Drenaje pluvial.

Se propone que este requerimiento de operación se considere sólo para las áreas o las celdas del sitio que hayan alcanzado su altura final de proyecto y que se refiera a limitar la aportación pluvial en las celdas de disposición final a la precipitación directa que incida sobre ellas, eliminando cualquier aportación proveniente de áreas externas sin presencia de residuos o de áreas clausuradas contiguas del propio relleno sanitario.

5.4 Área de emergencia.

Este requerimiento debe suprimirse, tomando en cuenta que ninguna instalación productiva o de servicios considera un “área de emergencia” para posibles “eventualidades, desastres naturales o emergencias”, ya que ello implica un incremento significativo en la inversión y el mantenimiento de un área sin utilización por periodos prolongados.

5.5 Requerimientos de Compactación.

Los requerimientos de compactación de los residuos incluidos en la NOM no guardan relación con la protección ambiental del sitio, además de que no es posible monitorear la compactación que se alcanza en los residuos durante la operación, lo cual sólo se puede inferir o estimar considerando la maquinaria que se ha utilizado para la compactación y el número de bandeos sobre los residuos.

En tales condiciones, debe suprimirse de la NOM los requerimientos fijos para la compactación de los residuos y debe incluirse en una norma técnica de operación la recomendación de compactar los residuos a un nivel máximo, en condiciones técnica y económicamente factibles.

5.6 Obras complementarias requeridas de acuerdo al tipo de sitio de disposición final:

Algunas de las obras complementarias consideradas como requerimientos en la NOM no guardan relación directa con la protección ambiental del sitio, sino con las condiciones de operación o de trabajo. En cambio, pueden incrementar la inversión necesaria para la instalación del sitio y los costos de operación. Tal es el caso de los caminos y oficinas, la báscula, y los requisitos de agua potable, electricidad, drenaje; vestidores, servicios sanitarios y servicio médico. Todos estos requisitos no guardan una relación directa con la protección ambiental, por lo que no deben ser incluidos en la NOM,

5.7 Manual de operaciones, registro de operaciones e informes.

Los numerales 7.10 y 7.11 se refieren a la documentación y los controles que deben existir en un sitio de disposición final. Al respecto se realizan las siguientes observaciones:

La NOM establece la obligación de que el sitio de disposición final cuente con un manual de operación, pero también debe señalar la obligación de que la instalación se opere conforme a lo establecido en dicho manual. Además, algunos de los aspectos señalados en el manual de operaciones, debieran incluirse como requerimientos en puntos por separado de la NOM, ya que

guardan relación directa con la protección ambiental del sitio y con los impactos ambientales que pueden causar, como los siguientes:

- a) Deben señalarse los residuos que serán aceptados y los que no serán aceptados en el sitio, estableciendo los sistemas de registros y las instalaciones y sistemas de revisión.
- b) Se requiere que la NOM señale la obligación de reparar los deterioros en la capa de cobertura originados por el intemperismo o la erosión, evitando que los residuos queden expuestos.
- c) Los incendios y explosiones son unos de los mayores riesgos en la operación de sitios de disposición final, por lo que la NOM debe establecer la obligación de tener un manual específico para la atención de estas emergencias.
- d) La NOM debe plantear que el sitio debe establecer y aplicar un procedimiento para la actuación del personal en caso de desastres derivados de fenómenos naturales.
- e) La NOM debe señalar que debe establecerse y aplicarse un procedimiento para el caso de un derrame accidental de lixiviados en suelo natural, que señale como mínimo: la forma de detección de la fuga, el procedimiento para su contención y aislamiento del contacto humano, la determinación del suelo afectado, así como los procedimientos para su remoción y remediación,

6. Programas de monitoreo de biogás, lixiviados y acuíferos

El monitoreo del biogás no puede ser útil para “proteger la integridad del sitio de disposición final y detectar migraciones fuera del predio”, ya que la migración del biogás ocurre cuando la protección del fondo de las celdas ha sufrido daños y se presentan roturas o fisuras por donde puede escapar el biogás y migrar a través de grietas en el subsuelo. En consecuencia de lo anterior, la obligatoriedad del monitoreo del biogás sólo podría conservarse en la NOM, en función de la obtención de datos para su eventual aprovechamiento.

La utilidad del conocimiento de las características de los lixiviados es muy limitada y difícilmente puede relacionarse con la protección ambiental del sitio, incluso en el caso de derrames accidentales fuera de las celdas de confinamiento. Tal conocimiento solo puede tener utilidad cuando se planean procesos para su tratamiento.

En cambio, el monitoreo de acuíferos si tiene capital importancia en la protección ambiental del sitio y debe señalarse con mayor claridad en la NOM que el monitoreo debe referirse a la diferente calidad de las aguas en los pozos colocados aguas arriba con respecto a los ubicados aguas abajo, de acuerdo a la dirección del flujo del acuífero.

7. Clausura del sitio

En la NOM debe señalarse con claridad la obligación de que el sitio sea clausurado al término de su vida útil o cuando se termine el depósito de residuos e identificar también claramente los sujetos obligados a realizar la clausura y las actividades post clausura, sobre todo para los casos en que el propietario del predio y el operador del sitio no sean la misma persona o entidad. En tal medida, debe señalarse en la NOM que la obligación de la realización de las obras de clausura y de las actividades post clausura le corresponden, en primera instancia al propietario del predio, y en forma solidaria a la persona o entidad que llevó a cabo la operación.

8. Excepciones al cumplimiento de la NOM en la evaluación de la conformidad.

En el numeral 10.5.7 se señala que en el caso de que una instalación no cumpla con alguna especificación de la NOM se deberá demostrar ante la autoridad competente que con la aplicación

de obras de ingeniería, tecnologías y sistemas, se obtienen efectos que resultan equivalentes a los que se obtendrían con el cumplimiento de lo previsto en la NOM. Este numeral refleja la dificultad de cumplimiento que tiene la NOM y constituye el reconocimiento implícito de que muchas de las especificaciones de la NOM pueden ser sustituidas por otras instalaciones, obras o actividades que tienen los mismos resultados. Esto significa que sería más adecuado especificar en la NOM los resultados que se esperan de las medidas de protección ambiental y no los procedimientos, obras, actividades o instalaciones. Además, este numeral es indefinido y sujeto a interpretación, ya que no se señalan los criterios precisos para establecer la equivalencia pretendida.

9. Cumplimiento de la NOM

El principal problema del cumplimiento de la NOM consiste en la autoridad encargada su vigilancia, ya que en la NOM sólo se señala a “las autoridades competentes”, y en la mayoría de los casos, las autoridades competentes son los gobiernos estatales o municipales, que son los mismos que proyectan, construyen, operan y clausuran los sitios de disposición final de residuos. Es difícil esperar que una norma se cumpla cuando los vigilantes y los vigilados son la misma persona.

10. Conclusiones y recomendaciones.

Se requiere la revisión y actualización de la NOM, suprimiendo las especificaciones de operación que no guarden una relación directa con la protección ambiental del sitio, señalando con claridad los parámetros que se deben cumplir en las especificaciones, incluyendo los requerimientos de registros y control relacionados con la protección ambiental y especificando con mayor claridad los sujetos obligados al cumplimiento de las especificaciones y las autoridades responsables de la vigilancia del cumplimiento de la NOM.

Simulación de una celda-vertedero aislada usando MODUELO

4.0

Ricardo J. Gonzalorenna Vallejos, Ana López Martínez, Amaya Lobo García de Cortázar
Ricardo-jorge.gonzalorennav@alumnos.unican.es

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de simulación de una celda-vertedero aislada, que fue operada de manera controlada durante 3 años y medio por el Grupo de Gestión de Residuos de la Universidad de Southampton, Gran Bretaña. En este caso, se utilizó la herramienta de simulación MODUELO 4.0, desarrollada por el grupo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cantabria. En el documento se presenta la metodología utilizada para la modelización, explicando los parámetros de calibración, los supuestos y las simplificaciones realizadas al modelo original, para adaptarse al caso simulado. Finalmente se presenta un análisis de los resultados obtenidos, una descripción de los problemas encontrados en el proceso de modelización y propuestas de mejora del programa utilizado.

Palabras clave: asentamientos, biogás, celda, lixiviados, modelización

1. Introducción

Este documento resume, la metodología, los resultados y conclusiones obtenidas por el Grupo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cantabria, España (GIA_UC) en su respuesta al segundo reto de modelización de vertederos (LMC2), lanzado por el Grupo de Gestión de Residuos de la Universidad de Southampton [1].

A continuación, se muestran los antecedentes generales tanto de la celda simulada, así como del modelo utilizado para su simulación.

1.1 Descripción de la celda estudiada

La unidad simulada es una celda discreta, aislada hidráulicamente con dimensiones aproximadas de 55 m de ancho, 80 m de largo y una altura máxima de llenado de aproximadamente 8,5 m. La celda fue llenada en un periodo de 110 d, con aproximadamente 25.000 t de una mezcla de residuos que se detalla mas adelante.

En relación a los sistemas de gestión de gases y lixiviados, la celda está provista de un sistema de drenaje inferior de lixiviados, dos sistemas separados compuestos por nueve tuberías horizontales para la inyección/recirculación de lixiviados y ocho pozos verticales para el seguimiento del nivel y toma de muestras de lixiviados dentro de la celda.

El diagrama del sistema analizado, y la información más detallada, acerca de las características de los distintos sistemas mencionados, se pueden consultar en [4].

1.2 El modelo utilizado – MODUELO 4.0

MODUELO es un programa de simulación de vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU) que se compone principalmente de tres modelos: hidrológico, biodegradación y asentamientos.

Incluye modelos simplificados, desarrollados a partir de otros encontrados en la literatura o bien, desarrollados específicamente para el programa. Una de las principales características de la

herramienta es que representa el vertedero en tres dimensiones y simula su funcionamiento y estrategias de operación a lo largo del tiempo.

Desde 1998 hasta la fecha, se han desarrollado cuatro versiones del programa. Las primeras versiones fueron descritas en detalle en [2] y [3].

2. Modelización

A continuación se describe el proceso de generación y calibración de los distintos parámetros que utiliza MODUELO para simular el comportamiento de la celda.

2.1 Definición del modelo de terreno

El primer paso es representar físicamente la celda. Para esto se subdividió ésta en 144 subceldas de 5x5 m y 4 capas, una del tipo “terreno” (requisito del programa) y tres formadas por los distintos residuos vaciados en la celda. Las principales características hidrológicas definidas para las distintas subceldas, se muestran en [4].

2.1.1 Sistema de recogida de lixiviados

El sistema de recogida de lixiviados está formado por nueve tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) horizontales que se distribuyen de forma paralela a lo largo de la celda. La configuración física de este sistema se definió colocando los nueve tubos separados a una distancia de 5 m cada uno.

En los datos proporcionados en [1] no se detallan las características específicas del sistema, por lo que se definieron en el modelo de acuerdo a los valores típicos de los sistemas de recolección de lixiviados en los vertederos.

2.1.2 Sistema de recirculación de lixiviados

El sistema de recirculación de lixiviados está compuesto por dos sistemas separados de tuberías horizontales. Una se ubica 3 m sobre la base de la celda y la otra en la parte superior de la misma, concretamente bajo la capa final de cobertura. Estos sistemas se localizaron en la capa inferior de residuos y el otro en la capa superior del modelo.

MODUELO limita la capacidad de recirculación de acuerdo a las características que se le asignen al sistema. Por esta razón y para evitar que esto ocurriese, se definió arbitrariamente para ambos sistemas una capacidad de recirculación máxima de 100 m³/d, valor mucho más elevado que los valores reales de operación.

Por otro lado, la versión actual del programa simula la recirculación desde un tanque de almacenamiento único. Este tanque debe almacenar tanto los lixiviados recogidos por el sistema de drenaje como el agua limpia añadida al proceso, es decir, almacenar el total del líquido disponible para la recirculación. Para simular correctamente la capacidad de retención y regulación del depósito se le asignó una capacidad de 1000000 m³, de con el objetivo de limitar la recirculación.

Otra dificultad en la definición de este sistema fue que MODUELO sólo permite la adición de agua limpia al tanque de almacenamiento en forma de escorrentía superficial, por lo que para añadir el agua limpia al sistema fue necesario definir las subceldas superficiales como “celdas con escorrentía conectada al sistema de lixiviados”, de manera que la lluvia sobre ellas se incorporase al sistema en forma de agua limpia.

Por otro lado, MODUELO requiere de datos diarios de recirculación. Como la que se realizó sobre la celda en estudio fue discontinua, se llevaron a cabo interpolaciones lineales con la finalidad de

distribuir el agua añadida entre los días que componen el periodo entre dos eventos de inyección de lixiviado.

2.2 Definición del modelo de residuos

Para definir la caracterización físico química de los distintos tipos de residuos, MODUELO se centra sólo en procesos que afectan a los residuos orgánicos.

La materia orgánica está formada por dos fracciones: una biodegradable y una no biodegradable. En la fracción biodegradable una parte es rápidamente hidrolizable (MS_{rhh}) y otra lentamente hidrolizable (MS_{lhb}). Ambas se caracterizan en el programa por su “fórmula química” ($C_cH_hO_oN_nS_s$) y su fracción biodegradable (F_{bio}).

Para realizar esta caracterización, en el caso de los residuos de tipo doméstico y comercial, se tenía su composición detallada en [1], por lo que ésta se realizó en base a la clasificación definida por MODUELO en [5], de acuerdo a los distintos componentes que componen estos residuos. Para los residuos denominados: “Lodos biológicos”, “Suelo contaminado”, “Escombros” y “Triturados” estas clasificaciones, se realizaron en base a trabajos desarrollados anteriormente por el grupo de investigación. Finalmente para el caso del residuo “Arena de fundición”, su clasificación se obtuvo de [6]. La caracterización definida se muestra en [4].

2.3 Calibración del modelo hidrológico

Durante el proceso de calibración, las variables de ajuste fueron: el contenido de humedad inicial y de saturación, la conductividad hidráulica (se asumió que la horizontal y vertical eran iguales) y la fracción de canales preferenciales. Estos valores se fueron variando - siempre de acuerdo con las referencias expuestas en la literatura-. La finalidad es ajustar la forma de la curva de lixiviado extraído simulado con la curva de lixiviado medida en operación, que se muestra en [1]. En la figura 1 se observan los resultados de la calibración realizada en comparación con la curva obtenida con los datos medidos.

Como se aprecia en la gráfica, la extracción de lixiviados se realizó de forma discontinua, sin embargo, la curva de lixiviado simulado presenta una forma continua, esto se debe a que el programa no permite simular extracciones discontinuas en los sistemas de recogida por gravedad. Los parámetros utilizados en esta calibración se muestran [4].

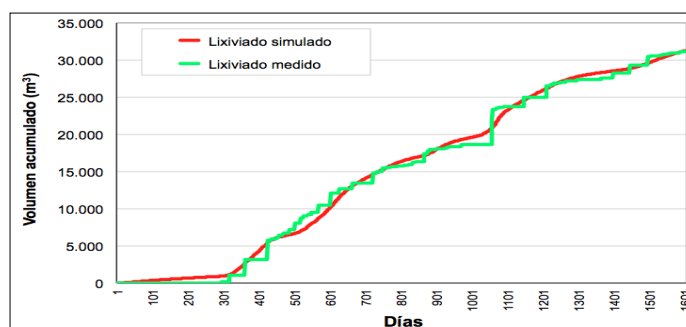


Figura1. Resultados de la calibración hidrológica (Fuente: Elaboración Propia)

2.4 Calibración del modelo de biodegradación

Una vez establecidos los parámetros del modelo hidrológico, se ajustaron los valores del modelo de biodegradación, para lo cual, solo se contaba con datos medidos de 4 días. Para ajustarse a las concentraciones medidas en los lixiviados (demanda bioquímica de oxígeno, DBO, demanda química de oxígeno, DQO y carbono orgánico total, COT), se realizó el ajuste -dentro de los

intervalos de referencia- de los parámetros de hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis acetoclástica. Los valores adoptados en la calibración se pueden consultar en [4].

2.5 Generación del modelo de asentamientos

Al no disponer de valores cuantitativos que permitan ajustar los parámetros del modelo de asentamientos, se adoptaron valores utilizados anteriormente en otros proyectos. Éstos son 0,2 para el coeficiente de compresión y 0,3 para el ratio pérdida de masa-asentamiento.

3. Resultados

Las figuras 3 y 4 muestran las estimaciones a medio plazo de la simulación realizada con los modelos definidos y calibrados.

De acuerdo a la Figura 2, se aprecia que existe un tiempo de "activación" que dura aproximadamente 800 d. En este período, las concentraciones alcanzan valores bastante mayores, en comparación a los valores estabilizados que se empiezan a apreciar después de esta fase. En esta etapa de "estabilización", las concentraciones en los lixiviados disminuyen considerablemente alcanzando valores del orden de 2200 mg/l, 800 mg/l y 20 mg/l de DQO, DBO y COT respectivamente, al final del período estudiado.

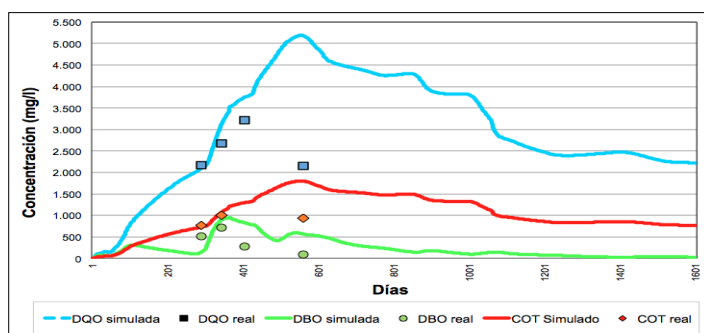


Figura 2. DQO, DBO y COT en el Lixiviado (Fuente: E. Propia)

En la figura 3, se muestra por un lado, la predicción realizada con MODUELO respecto a la producción de biogás a través del tiempo, así como también la estimación de los asentamientos que se producen.

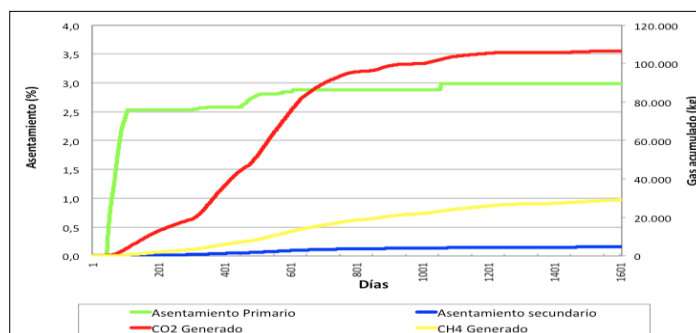


Figura 3. Asentamiento en la celda (Fuente: E. Propia)

En relación a la producción de biogás, se debe destacar que este resultado es producto de una calibración incompleta, puesto que no se disponía de datos sobre la generación de gas y, por lo tanto, la tasa de metanización hidrogenofílica no pudo ser calibrada. Por este motivo se utilizó el valor más típico usado en trabajos anteriores. Ver valores en [4].

Tomando en cuenta estas consideraciones, se obtuvo un total de 59 t de carbono (C) emitido en forma de biogás durante los tres años y medio de operación de la celda.

Se aprecia que las proporciones globales obtenidas de metano y dióxido de carbono son de un 40 y 60% respectivamente, que son inversas a las que se suele obtener en el biogás en la fase metanogénica del vertedero. Sin embargo, cuando empieza la etapa de estabilización del vertedero, se observa una proporción de 78,5 y 21,5% de CH₄ y CO₂ respectivamente.

Por último, en relación a la estimación realizada para los asentamientos, estos resultados se han obtenido sin una calibración previa, como se ha comentado anteriormente. Así, se estimó que el asentamiento total será un 3,1% de la altura inicial, el cual se produce principalmente por la compactación de residuos (la pérdida de fracción de masa representa sólo un 5% de la solución total al final del período).

4. Comentarios finales

Algunas de las principales dificultades encontradas durante la modelización se han debido a la "rigidez" de MODUELO.

Como se ha descrito, MODUELO es una herramienta diseñada originalmente para la predicción del comportamiento de vertederos reales. Es por esto que los modelos y parámetros que utiliza son los típicos para este tipo de instalaciones. Las dificultades surgen cuando las estrategias de operación a simular no han sido consideradas en el programa, debido a que no son utilizadas comúnmente en la operación de vertederos reales, en contraposición a las estrategias que se realizan en vertederos de experimentación, como es el caso del presente proyecto.

En las dificultades encontradas en la creación del modelo de este trabajo, descritas en párrafos anteriores, se detectaron varias mejoras a realizar en el programa:

- Incorporar la opción de introducir volúmenes discontinuos de agua limpia al sistema de recirculación de lixiviados.
- Añadir la capacidad de simulación de sistemas de extracción discontinua de lixiviados mediante válvulas de regulación. En este caso, el problema se ha evitado asumiendo un drenaje de lixiviados continuo, pero esto no permite simular ciertos eventos de degradación que sucederían en la celda por una acumulación prolongada de lixiviado en la celda.

Por otro lado, dada la escasa cantidad de datos aportados por los organizadores del reto de modelización, se han detectado varias "lagunas" de información que hicieron necesario asumir ciertos parámetros de forma arbitraria. Por ello, se han producido resultados que pueden no adecuarse a la realidad. Ejemplo de ello sería:

- No había información disponible acerca de las estrategias de llenado de la celda, que pudiera servir para definir las capas, el orden de disposición de los distintos tipos de residuos, entre otros. Tampoco, se facilitaron datos de generación de gas ni de asentamiento.
- Para la calibración de la contaminación de los lixiviados, solo se disponía de información de mediciones realizadas en 4 muestras (el experimento dura 1600 d aproximadamente), por lo que no muestran una tendencia clara sobre el comportamiento.

Por otro lado, la estructura más compleja de MODUELO permitiría un análisis con mayor detalle del comportamiento de la celda, analizando situaciones que permitirían una mejor gestión del vertedero. Se podría, por ejemplo, realizar un análisis de las distintas subceldas definidas, lo que permitiría evaluar y definir – basado en una operación más adecuada – la ubicación y configuración del sistema de recirculación de lixiviados.

Como principales conclusiones de este trabajo, se puede mencionar que la participación en este reto ha sido útil para hacer una evaluación de MODUELO en cuanto a su capacidad de modelizar situaciones para las cuales no fue diseñado originalmente. Además en la sesión dedicada al reto de modelización en el HPM4-2011 ("Fourth international workshop "Hydro-Physico-Mechanics of Landfills", Santander, España) se pudo contrastar este trabajo, tanto con otros modelos desarrollados por distintos grupos de investigación, como también con los datos reales obtenidos de la celda. Las conclusiones derivadas de estas comparaciones, que se presentarán en futuras publicaciones, han permitido determinar otras posibles mejoras a realizar en el programa, lo que configura una línea de trabajo futuro sobre este tema.

Referencias Bibliográficas

- [1] Beaven R. A challenge to modellers to predict the performance of a landfill cell. Proceedings 12th International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy. 2009.
- [2] Lobo A., Herrero J., Montero O., Fantelli M. and Tejero I. Modelling for Environmental Assessment of Municipal Solid Waste Landfills (Part 1: Hydrology). Waste Management and Research. Vol 20 (2), 2002. Pp.198-210.
- [3] Lobo A., Herrero J., Montero O., Fantelli M. and Tejero I. Modelling for Environmental Assessment of Municipal Solid Waste Landfills (Part 2: Biodegradation). Waste Management and Research. Vol. 20(6). 2002. Pp.514-528.
- [4] Gonzalorenna R., López A., Lobo A. Simulation of the Southampton isolated landfill cell using moduelo 4.0. Proceedings of Fourth international workshop Hydro-Physico-Mechanics of Landfills , Santander.2011. <http://www.hpm4.unican.es/template/papers/10. R. Gonzalorenna.pdf>
- [5] Lobo A. Desarrollo de MODUELO 2: herramienta para la evaluación de la contaminación producida en vertederos de residuos sólidos urbanos, Universidad de Cantabria, España. 2003
- [6] Siddique R., Kaur G., Rajor A. Waste foundry sand and its leachate characteristics, Resources, Conservation and Recycling. Volumen 54. Tema 12. 2010. Pp.1027-1036.
- [7] Lopez A., Tejero I., Lobo A. and Cuartas. A case of simulation as a help for landfill management planning. Proceedings of Third International Workshop " Hydro-Physico-Mechanics of Landfills". Braunschweig, Germany. 2009. http://www.lwi.tu-bs.de/hpm/docs/paper/09_paper_LopezMartinez.pdf

Tratabilidad fisicoquímica de lixiviados generados en el tiradero municipal de Guanajuato

Luz María Georgina Barquín Bravo, Germán Cuevas Rodríguez, *Arodí Bernal Martínez

*arodiberna@ugto.mx.

Resumen

El principal problema ambiental en el tiradero municipal es el riesgo potencial de la contaminación de aguas subterráneas y su influencia en la calidad de las aguas superficiales debido a que no existe una obra de ingeniería para el aislamiento de estos. Por lo que, los procesos de descomposición (físicos, químicos y biológicos) que sufre la basura, por lo que el lixiviado generado contiene una carga contaminante mayor a la de los desagües domésticos. Por lo que es necesario aplicar procesos de tratamiento y proponer alternativas para su disposición. El objetivo del siguiente trabajo fue comparar dos procesos (sulfato de aluminio y Fenton) para la tratabilidad de un lixiviado producido en el tiradero municipal de la ciudad de Guanajuato. Una vez caracterizado el lixiviado se probaron los diferentes tratamientos; el proceso de coagulación-floculación consiste en la remoción de partículas suspendidas mediante la adición de sustancias químicas (coagulantes). El proceso con sales de aluminio fue eficiente tomando en cuenta que el lixiviado estudiado posee bajas concentraciones de sólidos suspendidos. El método Fenton consiste en un proceso de oxidación en el cual se utiliza Fe_2SO_4 y H_2O_2 , con este tratamiento fueron obtenidas altas remociones de los contaminantes orgánicos.

Palabras Clave: *lixiviados, coagulación-floculación, fenton, tratabilidad fisicoquímica, oxidación avanzada*

1. Introducción

Enterrar los residuos sólidos urbanos (RSU) ha sido, y es aún, la práctica más utilizada por las sociedades del mundo para su manejo. Una vez que se han enterrado los residuos sólidos es necesario minimizar los impactos de esta práctica. Para empezar, el agua que ha entrado en contacto con la basura recoge gran cantidad de las sustancias que originalmente estaban dentro del residuo, quedando de esa manera altamente contaminada [1]. Esta agua se denomina lixiviado, y es uno de los líquidos más contaminados y contaminantes que se conozcan. De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Existen numerosos reportes del impacto que éstos provocan a los acuíferos [2]. Se postula que, después de un tratamiento adecuado, estos efluentes pueden ser reutilizados con propósitos de agua de riego. Sin embargo, el tratamiento de estos efluentes por métodos clásicos (lodos activados, coagulación-floculación, etc.) es cada vez menos eficiente para lograr la calidad de agua de reúso para riego [3]. En un estudio sobre estimación de la generación de RSU de la Semarnat/Ine/Sedesol (1997), reportan que serán generados aproximadamente 87,027 toneladas para el año 2010. Es difícil realizar una estimación de la generación de lixiviados en un tiradero, esta depende de muchos factores entre ellos: grado de compactación de los desechos, grado de humedad de la basura, precipitación pluvial, humedad atmosférica entre otros.

Determinar el tratamiento más adecuado para un lixiviado de relleno sanitario es complicado, ya que se trata de residuos líquidos con alto contenido de sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas. Se han realizado muchas investigaciones en busca de tratamientos adecuados para los lixiviados; sin embargo, debido a la heterogeneidad en su composición y a la variabilidad de los volúmenes

generados, no se puede comparar directamente los resultados obtenidos con tratamientos de un lixiviado a otro. Por lo tanto, cada lixiviado proveniente de un relleno sanitario o tiradero municipal debe ser evaluado individualmente y sometido a pruebas de tratabilidad para encontrar el tratamiento más adecuado para su manejo. En este trabajo se plantea que la remoción eficiente de contaminantes de tipo químico y biológico se puede lograr mediante la aplicación de un proceso de coagulación avanzada o método Fenton. En este trabajo se comparó el proceso clásico de coagulación-floculación con sales de aluminio con respecto al método de Fenton.

2. Desarrollo

Este estudio se dividió en dos etapas: la primera consistió en la caracterización del lixiviado y la segunda las pruebas de tratabilidad. A continuación son descritas cada una.

2.1 Caracterización del lixiviado y agua residual

El muestreo fue realizado en el tiradero municipal de Guanajuato, en época de estiaje. Los lixiviados fueron recolectados de una laguna que se forma de manera natural en un escurrimiento que proviene de una de las celdas en operación.

Se tomaron 100 litros en bidones con capacidad de 20 litros, para su caracterización y para la realización de pruebas de tratabilidad. El agua residual proviene de la ciudad de Guanajuato, de la planta para tratamiento. Los parámetros analizados para ambas aguas fueron: pH, DQO (total y soluble), DBO, turbiedad, alcalinidad, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), conductividad, color, grasas y aceites. Todas las determinaciones analíticas fueron realizadas de acuerdo a los Métodos Normalizados [3].

Cabe mencionar que las pruebas de tratabilidad fueron realizadas con una mezcla de lixiviado:agua residual (1:5 v/v). Esto debido a que en pruebas preliminares, no fue lograda la remoción de contaminantes.

2.2 Pruebas de tratabilidad fisicoquímica

Los coagulantes empleados fueron el sulfato de aluminio y sulfato ferroso de la marca BAKER. A partir de estos reactivos fueron preparadas las soluciones. El peróxido de hidrógeno fue de la marca BAKER, grado analítico, al 30 % en pureza. Se realizaron ensayos de jarras con los que se probaron un coagulante, sulfato de aluminio para la coagulación tradicional y para la coagulación avanzada, método Fenton.

2.2.1 Coagulación con sulfato de aluminio

Las dosis de sulfato de aluminio fueron de 50 a 2,000 mg Al^{3+} /L a un pH de 6. Cabe mencionar que en ensayos anteriores fueron realizadas las pruebas en un rango de pH entre 3 a 11, siendo las mejores a pH de 6. El proceso de coagulación se realizó a nivel laboratorio siguiendo la metodología clásica de las pruebas de jarras. Como primera etapa, se acondicionó el agua a pH 6.0 con la adición de ácido sulfúrico. Este líquido fue puesto bajo agitación a 50 rpm, para posteriormente adicionarle los volúmenes adecuados del coagulante para obtener las dosis probadas. La mezcla se agitó durante 60 segundos a 100 rpm y después 30 minutos a 30 rpm. Al término de este tiempo, se suspendió la agitación y se dejó sedimentar durante 30 minutos. Finalmente, se filtró sobre papel Whatman para eliminar los sólidos del sobrenadante y, se analizó de acuerdo a las técnicas descritas en los Métodos normalizados [4]. Para el efluente fueron determinados los siguientes parámetros: DQO, DQO soluble, SST, turbiedad, pH, conductividad, color y producción de lodos.

2.2.2 Método Fenton

Las dosis para el reactivo de FeSO_4 fueron: 50 a 3,000 mg Fe^{3+} /L y para el H_2O_2 de 300 mg/L a diferentes pHs. A un litro de lixiviado le fue ajustado el pH con la adición de ácido sulfúrico. Este líquido fue puesto a agitación 50 rpm y, posteriormente le fueron adicionados de forma simultánea cantidades conocidas de sulfato ferroso y de una solución de H_2O_2 . La mezcla fue agitada durante 1 min a 100 rpm y después 30 minutos a 50 rpm. Al término de este tiempo, se suspende la agitación y se deja sedimentar durante 30 minutos. Finalmente el sobrenadante es filtrado sobre papel Whatman para eliminar los sólidos. Los análisis sobre el sobrenadante fueron los mismos citados en el apartado anterior.

3. Resultados y Discusión

3.1 Caracterización

En la tabla 1, se presentan los resultados de la caracterización de lixiviados, agua residual y de la mezcla entre ambos (1:5 v/v). Éstos lixiviados contienen una alta DQOt y soluble 43.4 y 40.4 g/L respectivamente, presentan una alta turbiedad 561 UNT.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de los lixiviados del municipio de Guanajuato.

PARAMETROS	LIXIVIADOS GUANAJUATO	AGUA RESIDUAL	MEZCLA
pH	8.5±0.1	7.16±0.01	7.83±0.2
Turbiedad UNT	561±42.4	140±10	372.5±60
Conductividad mS/cm	20±3.04	1.59±0.23	3.77±2.5
DQO total (g/L)	43.4±2.4	0.33±0.08	8.02±1.5
DQO soluble (g/L)	40.4±2	0.106±0.002	7.5±2
DBO ₅ (mg/L)	12,540±20	180±15	2,540±70
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	2120±162	80±10	330±30
ST (g/L)	52.8±5.4	1.20±0.007	10.37±3.5
STV (g/L)	20.5±1.5	0.298±0.07	4.21±2.8

3.2 Coagulación tradicional con sulfato de aluminio

Estas pruebas fueron realizadas con los lixiviados mezclados con agua residual, ya que debido a la alta concentración que estos presentan, fue imposible su tratamiento. Diferentes proporciones de mezclas de lixiviados con agua residual, fueron probadas y de acuerdo a los mejores resultados, se decidió trabajar con una mezcla de 1:5 (v/v). Las dosis probadas fueron de 50 a 1600 mg Al^{3+} /L.

En la Figura 1, se presentan los porcentajes de remoción para la DQO t y s con las diferentes concentraciones de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, a los que fueron sometidos los lixiviados. En general, se observan muy buenas eficiencias de remoción tanto de DQO total como soluble, a partir de la dosis de 300 mg/L se obtuvieron remociones del 70%, siendo las mejores a 1000 mg/L. Cuando se manejan dosis menores de 200 mg/L no se presenta la separación del lodo, el proceso de coagulación no se lleva a cabo.

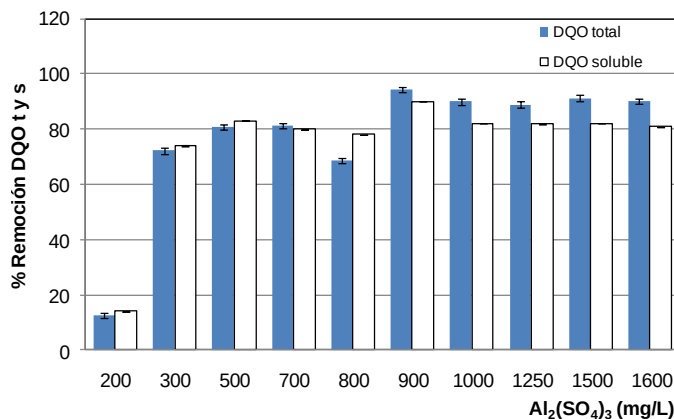


Figura 1. Remoción de DQO t y s, para la coagulación con Sulfato de aluminio a diferentes concentraciones

3.3 Método Fenton

De la misma forma que para las pruebas con sulfato de aluminio, el lixiviado fue diluido (1:5, v/v), para de esta manera proceder a realizar las pruebas de tratabilidad con Fenton.

Para dosis menores de 500 mg/L de sulfato ferroso, no se presentan remociones ni de DQO total ni de soluble (figura 3). La dosis de peróxido de hidrógeno se mantuvo constante en 300 mg/L para todas las pruebas. Se presentan porcentajes de eliminación cercanos al 90 % de remoción. En tanto, para la DQO soluble no se observan diferencias. No se suministraron dosis más altas de peróxido de hidrógeno, ya que este producía una gran cantidad de espuma, la cual provocaba que los lodos flotarían. Para estudios posteriores, se aumentarán las dosis de peróxido de hidrógeno, para lograr disminuir la DQO soluble a niveles más bajos. Las mejores eficiencias de remoción tanto de DQO total como soluble se alcanzan a partir de dosis de 700 mg/L, arriba de estas dosis, la remoción no se ve mejorada. Por lo tanto, se puede decir que esta dosis es la óptima, ya que aún incrementándola, no se alcanzan porcentajes de remoción superiores al 90%.

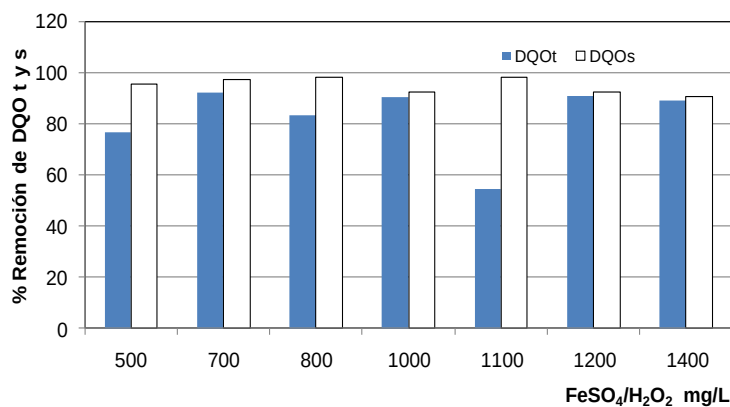


Figura 3. Remoción de DQO t y s, para la oxidación Fenton diferentes concentraciones de FeSO_4 y a 300 mg/L H_2O_2

3.4 Comparación Fenton/ Sulfato de Aluminio

Al analizar las graficas la dosis optima del tratamiento con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ fue de 1000 mg/L y para el tratamiento con Fenton fue de 700 mg/L. En la tabla 2, se presenta una comparación de los dos procesos probados. Fueron comparados los porcentajes de remoción con cada uno de los parámetros

más importantes. Los dos procesos fueron muy similares, salvo que con Fenton fueron empleados menos reactivos para alcanzar las mismas eficiencias. El método Fenton alcanza una remoción de material soluble del 98% en tanto, las sales de aluminio, alcanza un 90%.

Tabla 2. Comparación de los porcentajes de remoción para los dos procesos aplicados ($Al_2(SO_4)_3$ y Fenton).

Parámetros	Lixiviado concentración Inicial	$Al_2(SO_4)_3$ 1000 mg/L		Método Fenton 700 mg/L	
		Concentración Residual	% Remoción	Concentración Residual	% Remoción
DQOt (g/L)	8.02	0.45	94	1.33	83
DQOs (g/L)	7.5	0.36	90	0.14	98
SST (g/L)	2.18	0.25	88	0.495	77
Color Pt-Co	ND*	1,825	--	770	--
Turbidez UNT	372.5	13.6	96	58.8	84
Conductividad ms/cm	3.77	11.8	--	12.14	--
pH	7.83	3.89	--	3.04	--

*No detectado, fuera del límite

Por otro lado, fue calculada la masa de SST removida por los dos procesos. Para método Fenton se remueven 616 mg, en tanto para sulfato de aluminio fueron removidos del efluente una masa de 419.3 mg. En cuanto a las masas de lodo producido, sulfato aluminio con dosis de 1000 mg/L, genera menos masa que la producida en Fenton.

4. Conclusiones

El lixiviado del municipio de Guanajuato solo puede ser tratado si se realiza una dilución con agua residual, se utilizó el agua residual para reducir costos en el proceso

Para el tratamiento con $Al_2(SO_4)_3$ a concentraciones menores de 200 mg/L no se generan flóculos, ni se sedimenta el lodo; lo mismo sucede a concentraciones menores de 500 mg/L en el método Fenton.

La dosis óptima para $Al_2(SO_4)_3$ fue de 1000 mg/L y para Fenton fue de 7000 mg/L ($FeSO_4$) y 300 mg/L(H_2O_2).

Comparando ambos procesos aplicados: sulfato de aluminio y proceso Fenton, se concluye que los dos procesos son similares. Sin embargo, el método Fenton elimina más material orgánico soluble. Método Fenton resulta atractivo. Los estudios continuarán para optimizar la dosis de peróxido de hidrógeno, para disminuir las concentraciones de la DQO soluble.

Agradecimientos

Al conacyt y conacyt por el apoyo económico recibido por el proyecto “Caracterización y tratabilidad de los lixiviados generados en los sitios de disposición de residuos sólidos en seis ciudades del estado de Guanajuato”, Fomix-Guanajuato 2009-CO2-119987.

Referencias Bibliográficas

[1] Méndez R, Castillo B, Sauri M, Quintal C, Giacomani G, Jiménez B. “Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario”. *Ingeniería*. Vol. 8-2. 2004. pp. 155-163.

- [2] Marttinen S, Kettunen R, Rintala J. "Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates". *Science Total Environmental*. Vol. 301(1-12). 2003. pp. 1-12.
- [3] Martínez C, López D. "Tratamiento químico de contaminantes orgánicos: el proceso Fenton". *Ingeniería Química*. Vol. 375. 2008. pp. 149-153.
- [4] APHA, AWWA, WPCF. Standards methods for the examination of water and wastewater. 20a edición. 1998. Díaz de Santos. Washington, EUA. pp. 1816.

Uso de carbón activado reciclado en barreras permeables para disminuir la materia orgánica en los lixiviados del vertedero del municipio de Mexicaltzingo

Romero-Hernández, Carlos; Martínez-Gallegos, Sonia; García-Rosales, Genoveva

Resumen

En el municipio de San Mateo Mexicaltzingo, Estado de México existe un sitio de disposición de residuos sólidos urbanos con un área aproximada de 8811 m² ya clausurada, mas otra de 8705 m² que continua en uso, divide en dos partes: una de 5600 m² donde se depositan los residuos sólidos urbanos (RSU) y el área restante con una profundidad de 15 m donde se encuentran acumulados los lixiviados, cuya fuente de contaminación se estima que es de tipo orgánico. Esta contaminación puede ser medida como DQO, DBO₅, nitrógeno como nitritos y nitratos. En este trabajo se propone el uso de carbón activado reciclado para ser utilizado como barrera permeable, para esto se prepararon columnas empacadas con muestras de suelo obtenidas en el sitio de disposición y carbón, en las que se hizo pasar un flujo de 0.2 mL/hr de muestras de lixiviado natural y preparado en laboratorio. Los resultados muestran que el grado de contaminación asociado a la materia orgánica DQO, DBO₅, N-NO₃, N-NO₂ disminuye entre 40 y 80% quedando por debajo de los límites máximos establecidos para cada parámetro establecido en la norma.

Palabras clave: *carbón activado, materia orgánica, barreras permeables, lixiviados*

1. Introducción

El agua constituye el 70% del planeta y se encuentra dispersa en océanos, ríos, lagos, etc., o en forma sólida en los casquetes polares. Del total de agua en el mundo, solo un 0.35% es adecuada para uso humano. Las principales fuentes de agua utilizable se localizan en los ríos, lagunas y el subsuelo. En este contexto de inaccesibilidad, el agua es uno de los recursos renovables en peligro como consecuencia de la actividad humana.

Durante mucho tiempo el hombre ha ido arrojando sus residuos a los cuerpos de agua. Al no percibir ninguna alteración manifiesta, se ha considerado infinita la capacidad de auto depuración de estos medios acuáticos. Una vez en el suelo, el agua escurre por la superficie y se infiltra hacia las capas subterráneas. El agua que escurre se carga de pesticidas y del exceso de fertilizantes procedentes de los campos y en las ciudades arrastra productos como aceites, metales pesados, gasolina o detergentes. No solo se vierten hoy cantidades enormes de productos contaminantes sino que, la capacidad destructiva de muchos de ellos es infinitamente mayor que la que poseían residuos de hace unas pocas décadas. Productos químicos concentrados, pesticidas, defoliantes, etc., han ido destruyendo una gran parte de los ecosistemas acuáticos de los países industrializados. Los lagos han sido los primeros en manifestar los efectos de la contaminación, por ser muchos de ellos sistemas cerrados.

Los residuos sólidos urbanos (RSU), conocidos comúnmente como basura, son aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en la vida doméstica. Un relleno sanitario (RESA) también llamado vertedero de residuos es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de RSU, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales y a la salud humana. Los RESA tienen un bajo costo inicial, operación y mantenimiento, aprovechan

los terrenos que ya se consideran como improductivos o marginales, solucionan el problema a numerosos municipios en la eliminación de basura y se considera flexible ya que no requiere de instalaciones fijas o permanentes[1].

Un lixiviado es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable y puede contener tanto materia en suspensión como disuelta. El lixiviado es una mezcla compleja y variable de compuestos orgánicos e inorgánicos solubles, microorganismos y sólidos suspendidos en un medio acuoso. El peligro de los lixiviados son debidos a altas concentraciones de contaminantes orgánicos y nitrógeno amoniacal, microorganismos patógenos y sustancias tóxicas que pueden estar presentes.

Las técnicas de contención por barreras están dirigidas a impedir el paso de la contaminación hacia las aguas subterráneas. Las barreras reactivas que sitúan en la dirección del flujo de las aguas subterráneas y actúan sobre la contaminación a través de diferentes procesos (físicos, químicos y biológicos). Estas barreras son paredes permeables, lo que significa que tienen pequeños orificios que dejan pasar el agua subterránea a través de ellas[2].

En este trabajo se propone el uso de carbón activado cuyo uso primario es un pretratamiento de agua potable para obtener agua ultrapura. Este carbón era desechado después de completar su ciclo de vida útil para tal fin. Para realizar un estudio de la eficiencia de una barrera permeable en el sitio de disposición de residuos reutilizando carbón activado, se empacaron columnas con muestras de suelo obtenidas en el tiradero municipal de Mexicaltzingo y por las cuales se hizo pasar un flujo de 0.2 mL/h de un lixiviado obtenido en el vertedero.

2. Metodología

Las muestras de suelo se obtuvieron a dos profundidades diferentes 3 y 12 metros a través de la perforación de pozos para muestreo utilizando la técnica de percusión rotatoria utilizando un taladro para suelo. Cada muestra se secó a temperatura ambiente en una superficie plana y deshaciendo los agregados sin llegar a triturar la partículas grandes. El muestreo de los lixiviados se realizó en el pozo construido dentro del tiradero para este fin.

Se determinaron los parámetros fisicoquímicos antes y después de su paso por la comuna según lo establecido en las normas oficiales mexicanas.

DQO con la norma NMX-AA-030-SCFI-2001^[1]; DBO con la norma NMX-AA-028-SCFI-2001^[2]; Nitritos con la norma NMX-AA-099-SCFI-2000^[3]; Nitratos con el electrodo de ion selectivo Thermo Scientific Orion.

Para simular las barreras permeables se construyeron columnas de adsorción en buretas de 100 mL, con las siguientes características: 1.5 cm diámetro; 60 cm altura; Cámara de soporte (fibra de vidrio). El flujo de la muestra debe ser inferior a 0.2 mL/min.

Las columnas se empacaron con tierra extraída del tiradero municipal de Mexicaltzingo a 3 y 12 metros de profundidad, se utilizaron 50 g de suelo y el carbón se colocó como un soporte superior de 10 g de masa.

3. Resultados

Los resultados utilizando lixiviado natural extraído del relleno sanitario, muestran que la eficiencia de las columnas disminuye. Como se puede observar en la Figura 1 donde para la DQO la columna empacada con carbón adsorbe 45.11% a un tiempo de 330 minutos, mientras que sin carbón y al mismo tiempo, la remoción es solo de 35%. El pH del lixiviado natural mostró un comportamiento similar que para la solución estándar, es decir aumenta después del contacto con la columna, teniendo un pH inicial de 7 y quedando en el rango de 8 unidades.

Para DBO_5 usando suelo extraído a 3 m de profundidad se aprecia en la Figura 2 que transcurridos 330 minutos la columna tiene una eficiencia del 10% de remoción para este parámetro, la columna aumenta su eficiencia usando el soporte de carbón a 53% transcurrido el mismo tiempo, el rango de pH se mantiene en un rango de entre 7.5 y 7.7.

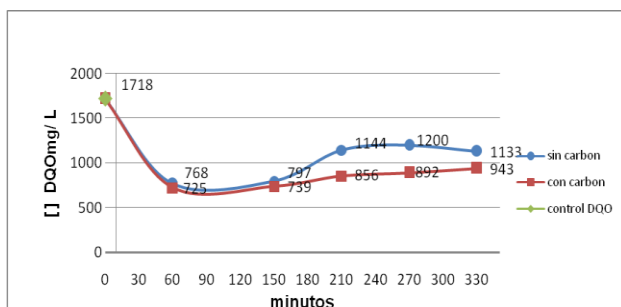


Figura 1. Resultados DQO de columnas de adsorción empacadas con suelo obtenido a 3 m de profundidad con lixiviado natural

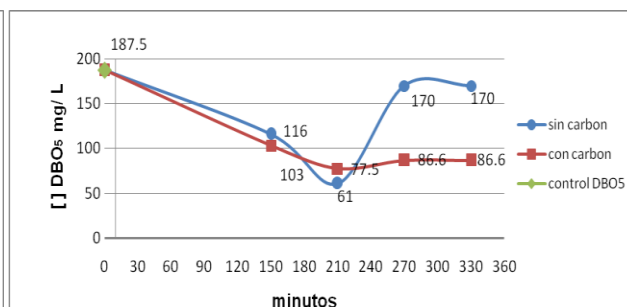


Figura 2. Resultados DBO_5 de columnas de adsorción empacadas con suelo obtenido a 3 m de profundidad con lixiviado natural.

En la Figura 3 se muestran los resultados para DQO usando suelo extraído a una profundidad de 12 m del relleno sanitario en la que se aprecia que en un rango de pH de 7.6 a 7.7 el suelo adsorbe después de 330 minutos 499 mg/L lo que significa 29% de adsorción para este parámetro. La columna incrementa su eficiencia al colocar el soporte de carbón en un 53% para el mismo tiempo lo cual significa que a tiempos más largos se logra la mayor eficiencia lo que sería óptimo en una barrera permeable real.

En la Figura 4 se presentan los resultados para la DBO_5 en la cual se muestra que la cantidad de DBO_5 removida utilizando solo suelo obtenido a 12 m de profundidad, es de 42% transcurridos 330 minutos el cual cambia a 75% al cabo del mismo periodo de tiempo para la columna con soporte de carbón. El comportamiento de la columna sin carbón se observó también en algunas soluciones preparadas en el laboratorio, en las que a mayor tiempo el porcentaje de remoción es menor.

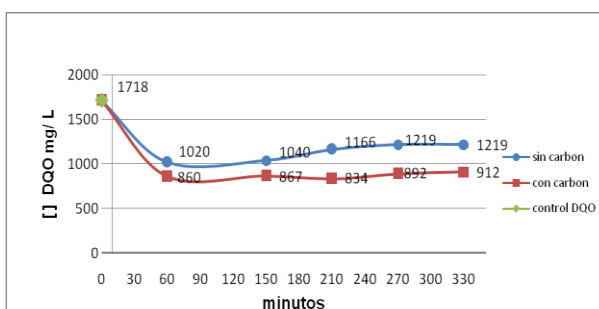


Figura 3 Resultados DQO de columnas de adsorción empacadas con suelo obtenido a 12 m de profundidad lixiviado natural

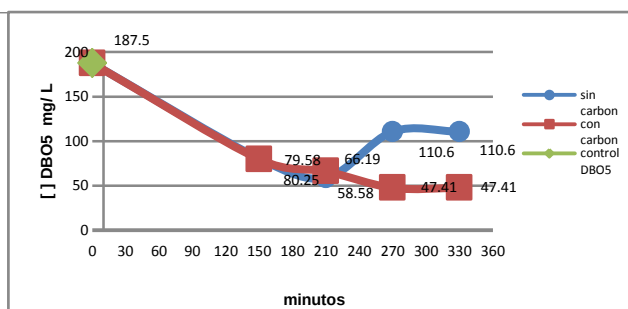


Figura 4. Resultados DBO_5 de columnas de adsorción empacadas con suelo obtenido a 12 m de profundidad con lixiviado natural

En la Figura 5 se muestran los resultados para N-NO_2 donde se encuentra que este parámetro disminuye en un 4% al cabo de 330 minutos en columnas sin carbón, al empacar la columna con el soporte de carbón para el mismo tiempo la remoción aumenta a un 5% a un pH de entre 7.5 y 7.7. Para estas columnas probadas con lixiviado natural la tendencia a mejorar no se observa, después de 60 minutos de contacto la cantidad de N-NO_2 , en este caso presenta una variación decreciente casi constante hasta los 330 minutos.

El comportamiento del pH es similar al mostrado hasta ahora, ubicándose entre 7 y 8 unidades de pH.

La Figura 6 muestra que para $N-NO_3$ el suelo de 3 m adsorbe solo 13 % de este parámetro a 330 minutos, después de que se coloca el soporte de carbón la eficiencia aumenta al 17 % transcurrido el mismo tiempo, el rango de pH se mantiene entre 7.5 y 7.7. En esta tabla se aprecia que al minuto 60 la remoción en la columna que solo contiene suelo es del 30% y mejora con el soporte de carbón, sin embargo ambas columnas muestran un comportamiento similar, conforme transcurre el tiempo disminuye la cantidad de $N-NO_3$ retenido en la columna.

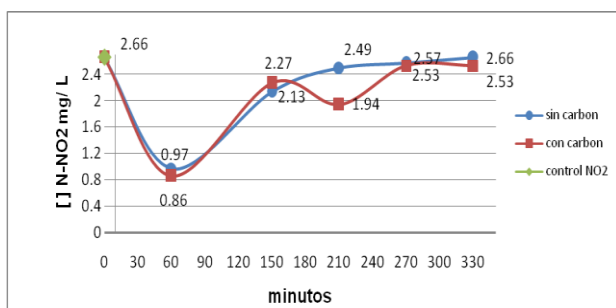


Figura 5. Resultados $N-NO_2$ de columnas de adsorción empacadas con suelo obtenido de 3 m de profundidad con lixiviado natural

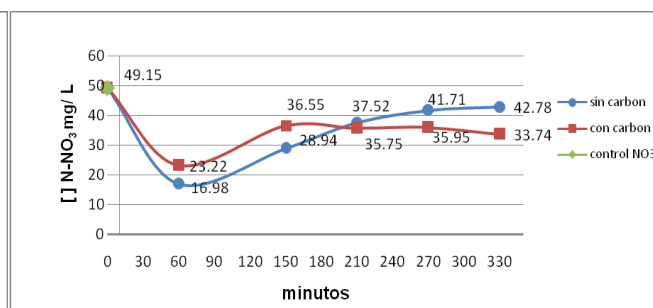


Figura 6. Resultados $N-NO_3$ de columnas de adsorción empacadas con suelo obtenido a 3 m de profundidad con lixiviado natural

En la Figura 7 se muestran los resultados para $N-NO_2$ para un tiempo de 330 minutos y usando el suelo de 12 m se observa una remoción del 4% de este parámetro, una vez que colocamos el soporte de carbón se obtiene una eficiencia del 7% para el mismo tiempo en un rango de pH de 7.6 a 7.7. El porcentaje de remoción para este parámetro tanta para la columna sin soporte, como para la columna con soporte no representa mejora significativa en cuanto a su remoción o retención.

La Figura 8 muestra los resultados de $N-NO_3$ para la columna empacada con suelo obtenido a 12m. Al igual que en las anteriores columnas para este parámetro a 60 minutos de transcurrida la prueba, se observa la eficiencia mayor. Mientras al aumentar el tiempo de contacto aumenta también la cantidad de $N-NO_3$ en las muestras colectadas a la salida de la columna, es decir se necesitaría un soporte más grande o un tiempo de contacto mayor para disminuir la cantidad de $N-NO_3$ en el efluente de salida.

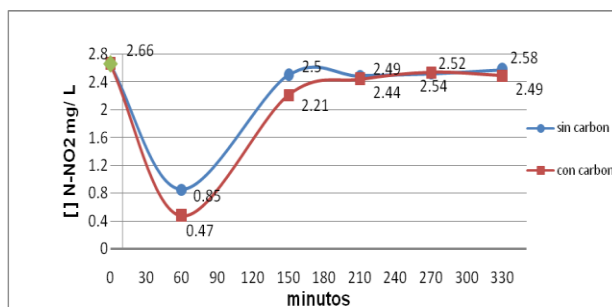


Figura 7. Resultados $N-NO_2$ de columnas de adsorción empacadas con suelo obtenido a 12 m de profundidad con lixiviado natural

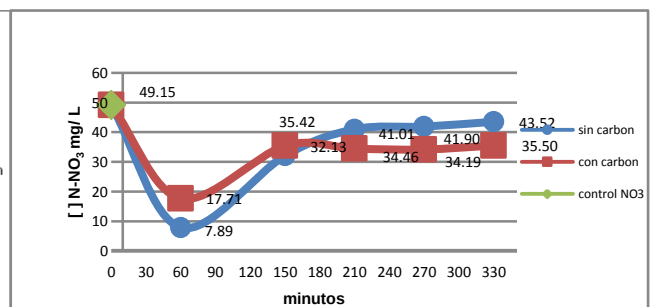


Figura 8. Resultados $N-NO_3$ de columnas de adsorción empacadas con suelo obtenido a 12 m de profundidad con lixiviado natural

Los resultados para las columnas de suelo a 12m muestran una mejor remoción para todos los parámetros (DQO, DBO₅, nitritos y nitratos). Se observa la influencia de la profundidad del suelo, a

medida que esta aumenta, también lo que hace que su capacidad para remover los contaminantes, a tiempos de contacto cortos.

Los resultados obtenidos en las columnas utilizando las muestras de suelo extraídas a 3 y 12 m de profundidad usando lixiviado natural extraído del RESA de Mexicaltzingo muestran una eficiencia ligeramente baja ya que se puede encontrar mucho mas materia orgánica e inorgánica soluble, microorganismos y sólidos suspendidos.

4. Conclusiones

La propuesta de usar carbón activado reciclado en barreras permeables para contener la contaminación de los lixiviados del sitio no controlado es factible. Las características del suelo por sí mismas ayudan a disminuir la cantidad de materia orgánica y en combinación con el carbón activado lo hace aún más. La técnica de contención de la contaminación por barreras permeables puede garantizar que los lixiviados que se infiltren al subsuelo y la materia orgánica arrastrada por ellos hacia los mantos acuíferos puede detenerse usando una barrera con características similares a las de este trabajo. La adsorción de columnas disminuye un 46% de la DQO, un 74% de la DBO, un 6% para N-NO₂ y finalmente un 35% para N-NO₃.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bueno, J.L. Sastre, H. Contaminación e ingeniería ambiental. Contaminación de las aguas. Vol III FICYT. Oviedo, España, 1997.
- [2] Cardona Gallo Santiago Alonso, Sistema de barreras reactivas permeables para tratar agua subterránea contaminada con diesel, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Ingeniería Ambiental.
- [3] NMX-AA-030-SCFI-2001 Norma Mexicana de análisis de agua- Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba.
- [4] NMX-AA-028-SCFI-2001 Norma Mexicana de análisis de agua- Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba.
- [5] NMX-AA-030-SCFI-2001 Norma Mexicana de análisis de agua- Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales- método de prueba.

SOCIEDAD Y GOBIERNO

“A tu basura echa...arte”: taller para fortalecer la separación de residuos sólidos y su reutilización

Erika Y. Cruz Aburto, Leticia Garibay Pardo, Héctor Narave Flores, Marco Teoba Martínez,
Víctor Cruz González, José Luis Libreros Rosas
Flgaribay@uv.mx

Resumen

Para fortalecer la práctica e implementación de la separación de los residuos sólidos, mediante la Educación Ambiental no formal, hemos desarrollado un taller para la reutilización de los residuos sólidos y la posibilidad de desarrollar objetos útiles y decorativos; actividad que acompaña a una conferencia de inicio para sensibilizar a los participantes que nos lo han solicitado, siendo nuestro objetivo el compartir esta experiencia, obtener y presentar los resultados de algunas encuestas aplicadas. Esto nos ha llevado a la generación de una pequeña industria y a ofrecer la capacitación de esta práctica que en comunidades escolares y espacios académicos, como Ferias de Ciencia y Tecnología, Ferias de libros, festivales y celebraciones ambientales, ferias agroindustriales, etc. hemos impartido. Ha sido muy visitado el Taller y con la aplicación de la pequeña encuesta obtenemos más información sobre manejo de residuos y datos de prospección para planeaciones siguientes. Los objetos realizados les son atractivos y lo reconocen como una alternativa para no gastar y reutilizar residuos y esta percepción cambia en los diferentes contextos, ya sea suburbano, urbano y rural, nivel educativo y zona. Creándose a la vez un espacio de intercambio de ideas y conocimientos que van enriqueciendo el taller, que forma parte de la Línea de Generación y Aplicación de Conocimiento: Investigación y Educación para el Desarrollo Sustentable. Se ha impartido más de 40 veces y quienes lo imparten son alumnos de la Facultad de Biología-Xalapa de la Universidad Veracruzana quienes realizan el servicio social o voluntarios en el proyecto RESU.

Palabras Clave: *implementación, espacios académicos, prospección, reutilización*

1. Introducción

Al iniciar el proyecto de Separación de Residuos en la Facultad de Biología-Xalapa, en el 2006, confirmamos la necesidad de realizar una fuerte sensibilización y capacitación para que las personas se sumen a la práctica de la separación de la basura.

Es por ello que diseñamos una plática “*La basura un problema o una oportunidad*” que por una parte sensibilizara, pero que también se instruyera sobre cómo realizar la separación e hiciera reflexionar a las personas sobre el consumismo en exceso al que nos hemos sumados.

Aunado a esta plática y como un ejercicio de retroalimentación realizamos carteles sobre el tiempo que los diferentes componentes de la basura tardan en descomponerse y de ahí nos surgió la idea de impartir un primer taller para realizar objetos útiles y decorativos a partir de los residuos sólidos, por una parte para mostrar cómo se pueden hacer objetos; incluso hasta para venta y también exhortar a desarrollar la creatividad muy característica de los mexicanos.

El primer taller se llamó “*Separa aprende diviértete y salva al planeta*” y los resultados fueron muy gratos, pues las personas al salir de la conferencia se detenían a ver los carteles y los objetos de material de reutilización como; monederos, carteras, cinturones, aretes, escobas, flores, ceniceros, servilleteros, alhajeros, sobres, mochilas de cartón, etc.

A partir de la primera participación en un festival de sustentabilidad llamado UVfest; nos empezaron a solicitar que participáramos con la conferencia y taller en diferentes espacios.

En el 2009, decidimos cambiarle el nombre con el que ahora lo impartimos “*A tu basura...echa arte*” y hemos avanzado en la realización de objetos hasta lograr tener una mini empresa con la que alguna de las participantes se ayuda económicamente, por la venta de los objetos que realiza.

Pero el mayor logro de este taller, es que tanto en zonas suburbanas, urbanas y rurales, escuelas de los diferentes niveles educativos y algunos municipios, la conferencia y el taller, son muy solicitados y vamos a impartirlo constantemente.

En el presente artículo, presentamos algunas de las participaciones y los espacios en los que lo realizamos, así como imágenes de algunos talleres y de manera general resultados de las encuestas que aplicamos que nos han ayudado a generar nuevas ideas, diseños y planear mas investigaciones

2. Desarrollo

La motivación y la demostración práctica son sin duda un factor clave en el convencimiento de las personas, es por ello que los talleres, en donde los participantes se involucran y realizan alguna transformación ejercen un efecto formativo, pues así como lo define Natalio Kisnerman, [1] son unidades productivas de conocimientos a partir de una realidad concreta. Es por ello que el taller logra ser una realidad integradora, compleja, reflexiva, en que se unen la teoría y la practica como fuerza motriz del proceso pedagógico [2].

El taller “*A tu basura...echa arte*”, es solicitado de una manera formal a la institución en donde está registrado; la Facultad de Biología y al Área de Ciencias Biológica-Agropecuaria de la UV, Figura 1. Y mediante un oficio, acordamos la fecha y les indicamos el tiempo que emplearemos y el espacio propicio; mesas de trabajo y mamparas o donde colgar los carteles y de preferencia a la entrada de donde se impartirá la conferencia “*La basura un problema o una oportunidad*”, si es que nos la solicitaron; o bien en un lugar con espacio para que puedan realizar con comodidad sus actividades, Figura 2.

Dependiendo de los participantes y/o el evento y el tiempo disponible, les solicitamos que lleven sus residuos separados y limpios; tales como: cajas de leche, latas de refrescos, botellas de PET (Polietileno Tereftalato) [3], cajas de cereal sin doblar, etc. Y acorde al tiempo; que va de una a tres horas les solicitamos material complementario como pegamento, cinta de aislar de colores, listón (cola de ratón), brillantina, etc.

En ocasiones nosotros llevamos el material dado que en algunas participaciones nos dotan de él y ya contamos con un sencillo equipo para efectuar el taller como son: tijeras, engrapadora, pinzas, etc., que nos han donado en eventos a los que nos han convocado y tienen presupuesto.

Al finalizar les aplicamos a algunos, una encuesta que posteriormente revisamos y con ella vamos mejorando y/o redirigiendo el taller. O a partir de las opiniones generamos nuevas investigaciones.

En cada participación nos extienden una constancia a todos los que integramos el equipo RESU-Biología (Proyecto de Separación y Manejo de Residuos Sólidos Universitarios), el que consta de una coordinadora académica, una ejecutiva y alumnos en proceso de titulación o en realización de servicio social y voluntarios en el proyecto.

3. Resultados y Discusión

Hasta la fecha de Agosto de 2008 a Mayo de 2011, se han impartido 44 talleres en diferentes espacios como: ferias de libro y de Ciencia y Tecnología, festivales y ferias agropecuarias, espacios religiosos, escuelas de diferentes niveles educativos y eventos municipales Tabla 1.

Hemos asistido a 14 municipios del centro del estado como son: Naolinco, Actopan, Acatlán, Xico, Coatepec, Poza Rica, Ixtaczoquitlan, Tuxpan, Alto Lucero, Emiliano Zapata, Cardel, Tierra Blanca

y Xalapa. Y participado en todos los niveles educativos desde el preescolar hasta universidad tanto de instituciones públicas como privadas.

3.1 El taller y su impacto

Inicialmente el taller se pensó únicamente para niños y adolescentes, pero desde la primera vez, nos dimos cuenta que a los acompañantes; padres y/o abuelos les resultó atractivo e interesante, al grado que solicitábamos nos permitieran trabajar sólo con los pequeños. A partir de esta experiencia, lo presentamos también para jóvenes universitarios y adultos. Igualmente para maestros de preescolar y primaria. Pues lo fundamental es fomentar la separación y en este caso la reutilización, en vez de que compren materiales que finalmente van a dar a la basura como es el caso de los trabajos y manualidades escolares. Además de que como lo menciona Reyes, se unan el conocimiento y la práctica como fuerza motriz en este caso de la separación y reutilización de residuos.



Figura 1. Taller “A tu basura...echa arte”

En muchos casos el taller fue definitivo para convencerse de la separación de los residuos y tanto en comunidades urbanas, suburbanas y rurales el taller les entusiasmó y hubo quien lo pensó como un pequeño negocio; tanto la venta de residuos como la elaboración de materiales a partir de los residuos.

De igual manera el taller les hace reflexionar sobre su actuar individual en su consumo y producción de basura y que separar y reutilizar, es una acción para mitigar el daño ambiental que estamos generando. Y han sido muy satisfactorias las opiniones; de que debemos de actuar y que no tan sólo sea un discurso el manejo y separación de residuos y el respeto al ambiente.

Tabla 1. Presentaciones del taller “A tu basura...echa arte” y conferencia “La basura un problema o una oportunidad”

Fecha	Lugar	Actividad	Número aproximado de asistentes
Agosto 2008, Julio 2009	Feria del Libro infantil y juvenil, en Xalapa, Ver.	Taller	50 adultos y 170 niños.
Septiembre 2008	FILU – UV.	Taller	100 universitarios y público en general
Octubre 2008, 2009, 2010	XV, XVI, XVII Semana de Ciencia y Tecnología, en Xalapa, Ver.	Taller	330 entre niños, adolescentes, jóvenes y adultos
Noviembre 2008, Mayo 2011	Templo BETHEL. Parroquia Santa María de Guadalupe, El Castillo, municipio de Xalapa, Ver	Conferencia y Taller	100 jóvenes y adultos
Febrero 2009, Octubre 2010	Expo-feria Agropecuaria en Carrizal, Mpio. de Emiliano Zapata. Feria 10/10/10 día internacional de soluciones climáticas	Taller	220 personas todas las edades
Abril, Mayo 2009	XII Festival de aves y humedales. La Mancha, Ver. Festival 200 al aire del noticiario infantil de radio de la Universidad Veracruzana, “Abra palabra” .Jardín de las Esculturas.	Taller	400 personas todas las edades
Julio 2009	Comisión Municipal de Agua y Saneamiento	Conferencia y Taller	10 personas Depto.

	de Xalapa (CEMAS).		Cultura del agua
Diciembre 2009, Febrero 2010	Dos Jardines de niños, dos Primarias y docentes del sector Tierra Blanca de la zona 108 Cosamaloapan-Jardines, Tierra Blanca, Veracruz.	Conferencia y Taller	410 niños, adultos y maestros
Marzo 2010, Marzo 2011	Escuela Siglo XXI	Conferencia y Taller	70 Niños 60 niños de Preescolar
Febrero-Marzo 2011	Xico, Ver.	Conferencia	550 El cabildo, padres de familia, directores, maestros y alumnos de las escuelas del Municipio.
Noviembre 2010	Escuela Telesecundaria “José Martí” de Mesa de Guadalupe, Alto Lucero.	Conferencia y Exposición - Taller	20 personas del municipio y maestro de la escuela.
Noviembre 2010	Jardín de niños Ehcatepetl de Acatlán, Ver.	Taller	80 niños
Agosto 2009 - Febrero 2010	Universidad Veracruzana, <i>campus</i> Ixtaczoquitlán, Ver.	Conferencia y Taller	1860 estudiantes algunos directivos, académicos y trabajadores del SETSUV
Mayo de 2010	CECITEV de Naolinco, jóvenes beneficiarios del programa de Oportunidades.	Conferencia y Taller	50 jóvenes.
Junio de 2010	Maestros del área de Humanidades de la Universidad Veracruzana	Conferencia y Taller	19 maestros
Junio de 2010	Municipio de Cardel	Taller	2 Niñas
Octubre, Diciembre 2010	Jardín de niños “Elba Posadas Quinto” la Laguna, Coatepec	Conferencia y Taller	100 Niños, Maestros y padres de familia.
Marzo 2011	Escuela “Libertad Hernández Landa” Xalapa, Ver.	Conferencia y Exposición del Taller	10 personas, director, maestros y personal de intendencia
Octubre 2009, Abril 2011	Universidad Veracruzana <i>campus</i> Poza Rica-Tuxpan.	Conferencia y Taller	1300 estudiantes directivos y maestros de las diferentes facultades.
Mayo, Noviembre, Diciembre 2009. Marzo, Julio 2010	Facultad de Arquitectura, Pedagogía, Psicología, Agronomía, Biología Universidad Veracruzana-Xalapa.	Conferencia y Taller	127 estudiantes y académicos
Junio de 2010	Escuela de Bachilleres Xico	Taller y Conferencia	100 jóvenes y 10 maestros
Julio de 2010	Centro de Idiomas	Conferencia y Taller	20 Maestros
Diciembre 2009	En el foro “Manejo de Residuos Sólidos en la UV”	Tres Conferencias	120 preparatoria y universidad

4. Conclusiones

En la realización de los talleres aprendimos una serie de situaciones que nos ha llevado a mejorarlo cada vez, como por ejemplo, siempre debe de haber un oficio de solicitud para darle formalidad y nos brinden el espacio y tiempo apropiado.

Si bien en su inicio se pensó para niños, a los jóvenes y adultos les resultó interesante y entretenido el taller y nos comentaron que les dio otra panorámica y formulación de nuevas ideas para la reutilización. Consideramos que con las maestras de Educación Preescolar fue con quien mejor se trabajó y las ideas y propuestas, les han servido para su práctica docente y elaboración de materiales propios del nivel educativo, de igual manera del trabajo realizado con educadoras/es, nos generó conocimientos sobre la realización de sus prácticas escolares y manejo de grupos sobre todos de esas edades.

En total, de las 44 veces que impartimos el taller, atendimos a más de 4,500 personas, entre ellas maestros, quienes pensamos replicarán la práctica y el proyecto. Y entre más lo impartimos, mas nos lo solicitan y más nos retroalimentamos en esta práctica y aprendemos nuevos diseños.

La prospección del Taller nos lleva a pensar que cada vez más personas se interesan en el tema de la separación. Y así desde las escuelas hasta sociedades civiles y gobiernos municipales, se están sumando a la separación y el taller ha contribuido a su convencimiento.

Consideramos continuar con el taller y que las generaciones se vayan sumando al proyecto y este se siga replicando más y más, para que se fortalezca y sea cada vez mas definitiva a manera de una nueva cultura ambiental la separación, reutilización y reciclaje de los residuos sólidos.



Figura 2. Participantes y espacios del Taller

Agradecimientos

A quienes amablemente nos han invitado a que compartamos el taller “A tu basura...echa arte” y nos han apoyado con materiales y/o cubierto los gastos de transporte, comidas y hospedaje. Y a todos los estudiantes y egresados de Biología-Xalapa que han participado voluntariamente en el proyecto y taller.

Referencias Bibliográficas

- [1] Kisnerman, N. 16 de Mayo de 2011.
http://acreditacion.unillanos.edu.co/contenidos/NESTOR%20BRAVO/Segunda%20Sesion/Concepto_taller.pdf
- [2] Reyes, M. 16 de Mayo de 2011
http://acreditacion.unillanos.edu.co/contenidos/NESTOR%20BRAVO/Segunda%20Sesion/Concepto_taller.pdf
- [3] PET. 18 de Mayo de 2011. <http://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>

Analisis de redes sociales de los establecimientos de acopio, tratamiento y reciclaje de los residuos sólidos urbanos en Distrito Federal y Estado de México

Juan F. Nuñez Espinoza, Fabian Robles Martínez, Gemma Cervantes Torre-Marín
nuneze@colpos.mx

Resumen

La cantidad de RSU generados por los enclaves urbanos en el D.F. y EdoMex. ha llevado al borde del colapso al sistema encargado del acopio, tratamiento y reciclaje de los residuos sólidos. Esto ha traído la necesidad de plantear nuevas formas organizativas de la sociedad. Dichas propuestas pueden ser monitoreadas y modificadas con el enfoque de redes buscando identificar estructuras reticulares y actores estratégicos en la movilización de recursos e insumos para el desarrollo de un sistema ATRARE-RSU más dinámico y ad-hoc a las nuevas realidades.

Palabras Clave: *redes sociales, residuos sólidos urbanos ; reorganización social*

1. Introducción

La variable del Cambio Climático nutrida por las actividades humanas está teniendo cada vez más un peso determinante sobre todas las demás variables y componentes de los sistemas sociales, los cuales han comenzado a evaluar los patrones de organización establecidos con el objetivo de modificarlos y probar nuevas modalidades organizativas con las que se puedan construir alternativas ante el posible proceso de entropía que se avizora para las próximas décadas. Una de estas tentativas se refiere al análisis de los patrones sociales constituidos para llevar a cabo el acopio, tratamiento y reciclaje de los residuos sólidos (ATRARE-RSU) generados por los asentamientos humanos.

Alrededor del ATRARE-RSU del Distrito Federal (D.F.) F y Estado de México (EdoMex.), se da todo un conjunto de ejes organizativos que involucran a una diversidad de actores sociales que van desde instituciones públicas y/o privadas, industrias, universidades, institutos de investigación, urbanizaciones, centros comerciales, organismos civiles, etc. Estos ejes se vuelven cada vez más numerosos y diversos, conforme avanza el tiempo y la población aumenta; por ende, la cantidad de RSU generados. Por ejemplo, en las dos entidades más pobladas del país, D.F. y EdoMex, el crecimiento poblaciones a lo largo de 15 años (1995-2010) fue de un 2% en el primero (8,479,714-8,670,029) y de un 25% en el segundo (11,611,476 y15,531,504). [1] Esto hace suponer un aumento lógico en el volumen de RSU que cotidianamente se genera en estas dos entidades. De acuerdo a estadísticas de SEMARNAT [2], en un periodo similar al ya señalado, la generación de RSU, tanto en el EdoMex. como en el DF, aumentó casi un 15%, lo que genera una mayor presión sobre el sistema de vertederos existentes (Figura 1).

En la actualidad, en el D.F. se genera diariamente más de 12,000 toneladas de residuos, considerando la zona conurbada del EdoMex., actualmente la Zona Metropolitana del Valle de México genera 21,000 toneladas diarias de residuos. [2]). De dichos residuos generados, la mayor parte son aquellos producidos por el consumo humano directo (Figura 2), lo que viene a ser un indicador innegable del desarrollo de un sistema generador de RSU de tipo domésticos. De acuerdo a SEMARNAT [2], en 1950, la generación diaria de residuos *per capita* era de 0.37 kg. En la actualidad el promedio *per capita* es de 1.4 kg por día.

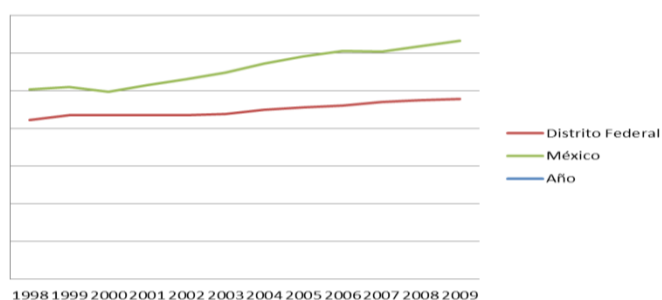


Figura 1. Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en EdoMex. y D.F.
Elaboración propia. Fuentes SEMARNAT, 2011.

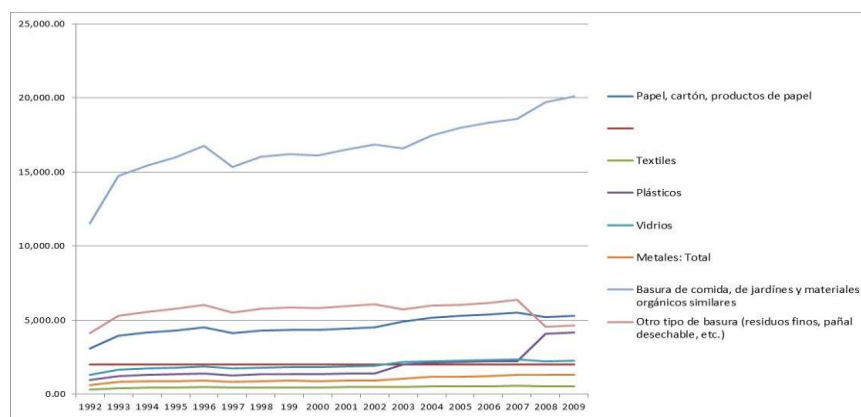


Figura 2. Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo (miles de toneladas).
Elaboración propia. Fuentes SEMARNAT, 2011.

Como resultado de lo anterior, los principales vertederos del Valle de México han comenzado a rebasar su período de vida, por lo tanto la cantidad de RSU que están depositados –y se siguen depositando- en ellos es más de lo planeado. Esto hace pensar en su próxima clausura y en la necesaria habilitación de nuevos sitios para la disposición de los RSU que son generados diariamente por los asentamientos humanos del Valle de México.

2. Desarrollo

A finales de la década pasada se estimaba que poco menos del 50% de los RSU generados a nivel municipal, en el EdoMex., eran depositados de acuerdo a la normativa correspondiente [3]. Esto significaba que poco más del 50% de los RSU tenía un destino en tiraderos a cielo abierto o basureros clandestinos generando un escenario de contaminación exponencial de los espacios públicos. Esto permite pensar que el sistema social, para mantener determinado grado de equilibrio, deberá de reformular ciertos patrones de organización, principalmente del complejo social ATRARE-RSU. Un indicio de esto es que, a partir del 2008, en el EdoMex. se comienza a dar a conocer el número de municipios (mpios.) con planes de regularización de sitios de disposición de RSU, aumentando de 30 en el 2008, a 36 en el 2011. Del 2007 al 2011 el n° de mpios. con programas de separación de residuos aumentó de 16 a 21. Esto provocó un aumento en la cantidad de RSU, con una disposición adecuada, de 8,520 ton/día en 2006 a 12,304 ton/día en 2011. Por su parte, el número de rellenos sanitarios y/o plantas con tratamiento integral de los RSU aumentó de 7 en 2006 a 12 en 2011.[4] A pesar de esto, aún existe un enorme déficit en cuanto al acopio y tratamiento de los RSU generados por los asentamientos urbanos del EdoMex. ya que, de acuerdo a

datos oficiales, en la entidad se generan 15,265 ton/día de RSU de los cuales el 65.05% ingresan a rellenos sanitarios, el 15.55% a sitios controlados pero el 19.4% (aprox. 2,961 ton, diarias) son vertidos en el entorno bajo condiciones desconocidas o de nulo control. En relación con esto, la cantidad de sitios de disposición controlados (24) en la entidad es mucho menor con respecto a aquellos sobre los cuales no se tiene control alguno (45). [4], [10].

Por su parte, en el D.F. se manejan todos los días 12,500 ton/día de RSU producidos por los 8,721,000 habitantes del DF, así como por una parte importante de los habitantes de los Mpios. del Oriente y Sur del EdoMex. [5] Esto ha llevado al sistema ATRARE-RSU en el D.F. a adaptarse al creciente número de RSU generados. En términos totales, dicho incremento se ha acelerado, ya que en 2008 la cantidad de RSU que generó el DF fue de 12,438 ton/día, sin embargo, en 2009, esta cantidad se incrementó a 12,513 ton/día. [6],[7]. Si bien existe una infraestructura en las estaciones de transferencia, planas de selección y de composteo, así como los sitios de disposición final, esta no es suficiente, por lo que el sistema público y social encargado de su gestión se ha visto obligado a innovarse y a construir una noción más compleja de la basura, ya no solo como materiales contaminantes, con un posible valor económico, ambiental y/o energético, sino como un elemento de vinculación entre las comunidades, de tal modo que ahora se busca que el proceso de gestión de los RSU sea un proceso social que abarque hasta la separación en origen. Esto ha traído como consecuencia la necesidad de establecer procesos sociales que pasen de una noción mecánica (recolección, traslado, separación y disposición) a una noción donde se involucran procesos sostenibles de gestión integral en el manejo de los RSU concibiéndolos como materiales que requieren un tratamiento más complejo.

3. Metodología

En este sentido, el propósito de este documento es proponer el diagnóstico del sistema social encargado del ATRARE-RSU del D.F. y EdoMex., considerando a la basura como una relación social, utilizando el llamado enfoque de redes sociales, el cual, más que centrarse en las particularidades de los sujetos, analiza las cualidades de las relaciones establecidas entre los mismos. Por ende, la propuesta presentada en este documento está basada en la descripción y análisis de las relaciones de aquellos actores, a nivel público, y privado que están interrelacionados para llevar a cabo el acopio, tratamiento y reciclaje de RSU en las dos entidades. El cálculo reticular incluido en este documento se refiere al análisis conocido como grado nodal, grado de centralidad o rango *degree*. Este grado representa la expresión numérica de nodos con los cuales se encuentra directamente conectado un determinado actor. Es decir, el número de aristas de un nodo cualquiera en una realidad reticular determinada. La expresión que expresa tal relación [8], es:

$$d_i = \sum_{j \in V} A_{ij}$$

Donde:
 A_{ij} .-Matriz que enlaza los nodos “i” y “j”
 d_i .- Centralidad (Degree).

Resultados

En los últimos años se ha comenzado a dar un fenómeno re-organizativo del sistema ATRARE-RSU en el DF y EdoMex. Han surgido numerosas iniciativas que buscan propiciar en las dos entidades un proceso de gestión de dicho sistema. A partir del año 2000, se ha incrementado el número de programas de separación de residuos a nivel municipal y delegacional. [4]. En esta dirección, a pesar de que las actividades de separación y transformación de los RSU aún no se establecen como hábito social, entre las comunidades y entidades públicas y/o privadas, estas comienzan a implementarse en mpios. del EdoMex.. Además de lo anterior, se observa una

creciente participación de organismos civiles y sectores empresariales. En el caso de estos últimos, si bien no se puede afirmar que existe el desarrollo de una conciencia civil, si han encontrado, en la *responsabilidad social*, la forma de mantenerse vigentes en el mercado por lo que puede observarse un incremento en el número de empresas que buscan la certificación como “empresa limpia”. En el 2003 se registraron solo 5 de estas empresas; en el 2010 el número ascendió a 189 empresas. [4]

Tal y como se observa en la Figura 3, dicha certificación ha permitido identificar estructuras reticulares entre empresas (color rojo) y mpios. del EdoMex. (color azul), comprobando la existencia de la simiente de redes sociales en la medida en que se distinguen empresas (recuadros color verde) que permiten conectar mpios. tan distantes como Chalco y Atlacomulco. Además de esto, se logra destacar la sólida relación (vínculos gruesos) de empresas con los mpios. a través del tiempo –y la certificación obtenida- posibilitando la vinculación de actores distantes. En este sentido, el grado nodal observado en la gráfica permite conocer los nodos que potencialmente pueden tener una mayor capacidad de influir en la red señalada. A mayor grado nodal (mayor tamaño del nodo), mayor posibilidad de influir- y ser influido-, en la red de la cual forma parte.

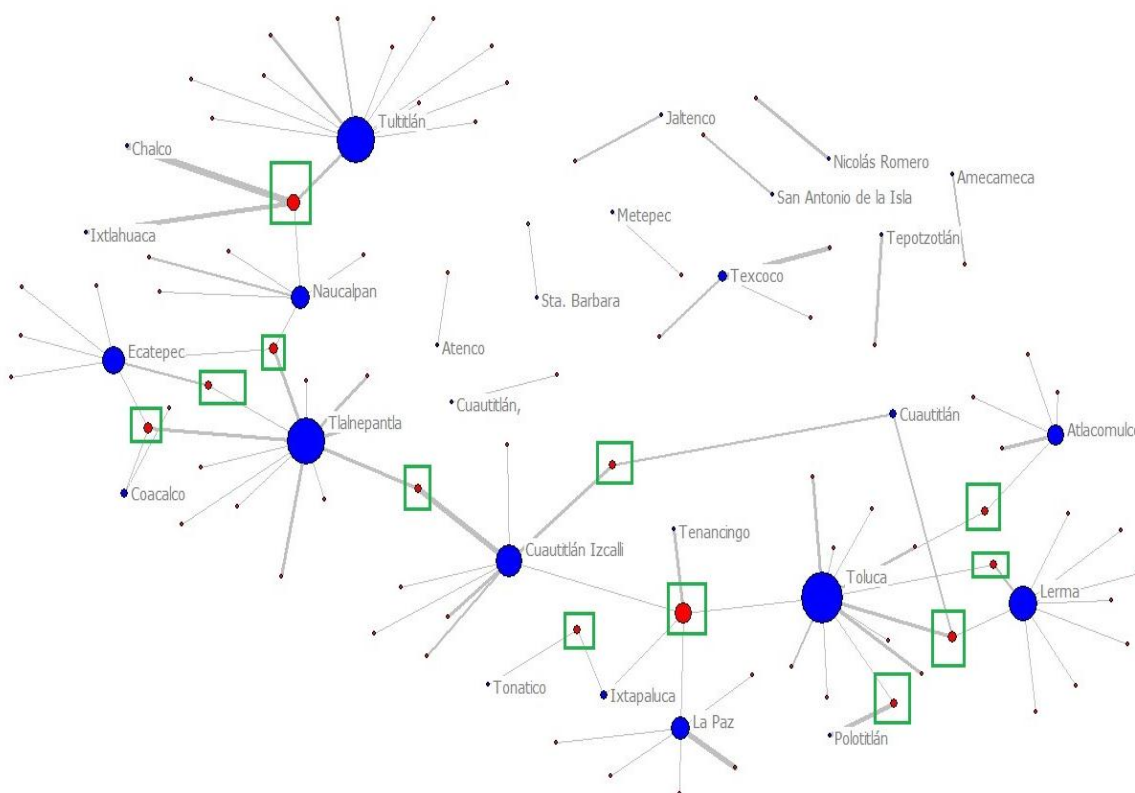


Figura 3. Degree. Mpios. (color azul) que han mantenido empresas certificadas como industria limpia (en rojo) en el Edo. Méx. entre el 2004 y 2010. Elaboración propia con datos de SMAEM, 2011. Programa UCINET [11].

El mismo grado nodal nos permite distinguir la vinculación de los mpios. por el tipo de materiales recolectados en el EdoMex. (Figura 4). Partiendo de considerar a la basura como una relación social, se logra observar la aglutinación de los mpios. alrededor de determinados materiales. El grado nodal nos permite distinguir los materiales que son mayormente colectados por camiones, así como aquellos mpios. que más participan de dicha recolección.

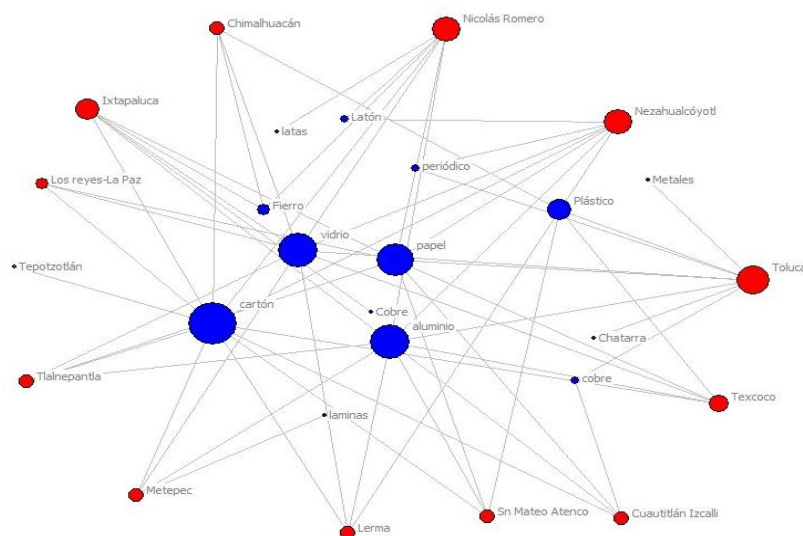


Figura 4. Degree de materiales recogidos por camiones recolectores (azul) en mpios. del EdoMex. (rojo)..
Zona conurbada del DF.

Elaboración propia con datos de SMAEM, 1999. Programa UCINET [11]..

En el D.F. han aumentado las rutas de recolección y separación de RSU por delegación, innovando la estructura social de la ciudad. Dicho aumento se puede observar con más detalle en el número de colonias del DF que se han sumado del 2004 al 2009 a tal actividad, pasando de 163 a 548. [6],[7]. De igual forma, el número de sitios y/o establecimientos públicos en los que se realiza la recolección separada de RSU ha aumentado, siendo las escuelas públicas los establecimientos donde más se realiza la separación, seguidas de los edificios públicos, unidades habitacionales y mercados [7]. En este tenor, las comunidades se distinguen por el tipo de RSU que se recolectan en sus calles. En la Figura 5 se muestran los materiales recolectados en el DF. y las delegaciones que son las mayores tributarias de dicha colecta.

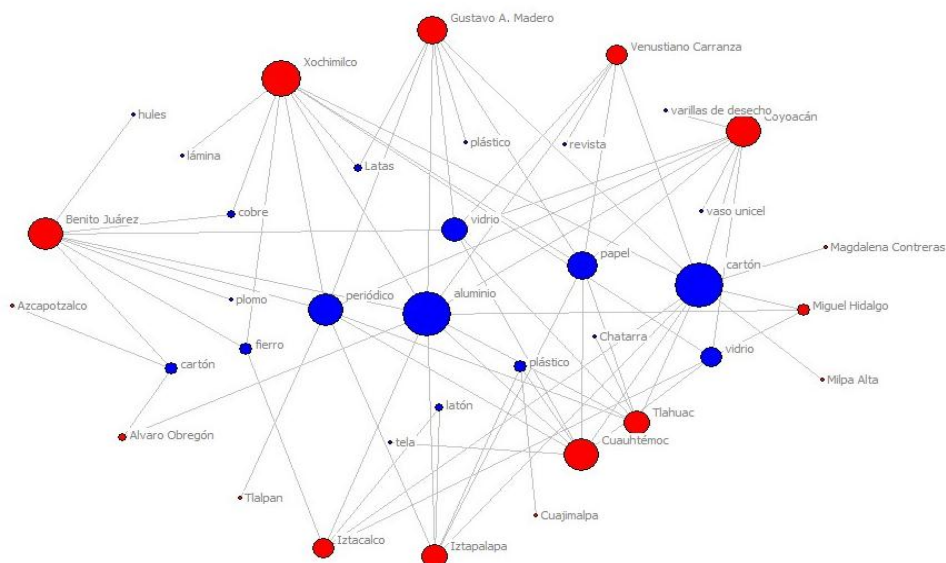


Figura 7. Degree de materiales recogidos por camiones recolectores (azul) en las delegaciones del DF (rojo).
Elaboración propia con datos de SMAEM, 1999. Programa UCINET.

Todo lo anterior apunta a la conformación de una consciencia social pública incipiente mucho más amplia y activa alrededor del problema del acopio y reciclaje de los RSU. Aunque no podemos

hablar de un proceso social, cultural y político incluyente y dirigido, sí se logra constatar la movilización de un determinado capital social. Entendiendo a este último, de acuerdo con la CEPAL, como el conjunto de relaciones sociales (nutridas por confianza, cooperación y reciprocidad) movilizadas dentro de los límites de un sistema económico y sociopolítico que busca diseñar “instituciones formales de asociación y participación”. [9]

Conclusiones

La descomposición ambiental, expresada –y causada- por diversos factores, como la gran cantidad de RSU generados, está provocando nuevos patrones de organización en las sociedades urbanas. En el caso de la re-estructuración del sistema social de ATRARE-RSU en el DF y EdoMex., se observan nuevas dinámicas sociales en las comunidades, por lo tanto la movilización y aparición de determinados capitales sociales. Como ejemplo, se pudo constatar el aumento de políticas y/o programas públicos y estrategias que tienen una incidencia directa en el sistema ATRARE-RSU tanto del DF y EdoMex., así como la integración de un número cada vez mayor de actores públicos y/o privados. Estas estrategias proponen nuevas modalidades de organización social y educación, por lo que los aglomerados humanos agrupados en el entorno de este sistema han comenzado a familiarizarse con nociones que hasta hace poco estaban en manos de los especialistas: manejo adecuado de los RSU, biodiversidad, el consumo responsable, cambio climático, ahorro de energía, ecosistemas urbanos, y el uso responsable del agua.

La reorganización social del sistema ATRARE-RSU permite la conformación de redes sociales y actores que dinamizan al propio sistema. De esta forma, la utilización del enfoque de redes sociales permite distinguir estructuras reticulares alrededor de los procesos de gestión de RSU, por lo tanto logra destacar aquellos nodos que pueden lograr influir en el flujo de materiales e información al interior de la red en cuestión. En este sentido, es posible identificar actores que poseen grados nodales que los convierten en nodos estratégicos al interior de la red social y pública encargada del ATRARE-RSU, por lo tanto, se logran identificar nodos de difusión importantes con la capacidad de conformar grupos de multiplicadores ambientales en sus propios territorios.

En esta dirección, se vuelve una necesidad entender a los RSU no solo como producto de la reproducción social, sino como motivador de esta, lo que implica considerarlos protagonistas directos en el establecimiento de las relaciones sociales entre los conglomerados humanos.

Se concluye que el estado del sistema ATRARE-RSU en el D.F. y EdoMex., se encuentra en un nivel de estrés sin par, lo que lo obliga a avanzar hacia una etapa totalmente nueva donde sus límites organizativos están siendo replanteados a fin de poder dar una respuesta más coherente a la nueva situación climática y social.

Bibliografía

- [1] Proyecciones de población del EdoMex.. Depto. de Desarrollo y Dinámica Poblacional del CONAPO. Consejo Estatal de Población. Gobierno del EdoMex.. En Secretaría de Ecología DEL EdoMex., Dirección General de Normatividad y Apoyo Técnico y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Análisis del mercado de los residuos sólidos municipales reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo. 1999.
- [2] SEMARNAT, Informe de la situación del medio ambiente en México. 2008
- [3] Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México, 1999.
- [4] Prontuario Estadístico de la Secretaría del Medio Ambiente del EdoMex. (SMAEM). Resumen de cifras, 2005-2011. (<http://www.edomex.gob.mx/ambiente/doc/pdf/PRONTUARIO.pdf>) Fecha de consulta 1/05/2011.

- [5] Fuente Gobierno del D.F. Secretaría de Obras y Servicios (GDFSOYS). Acciones para el Manejo de los Residuos Sólidos en la Ciudad de México. Septiembre 2007.
- [6] Secretaría del Medio Ambiente (SMA) del D.F.. Inventario de Residuos Sólidos del D.F., 2008.
- [7] Secretaría del Medio Ambiente (SMA) del D.F.. Inventario de Residuos Sólidos del D.F., 2009.
- [8] Fuente: de la Rosa Troyano , Fco. Fernando; Martínez Gasca ,Rafael; González Abril; Velasco Morente, Luis Francisco. Análisis de Redes Sociales mediante Diagramas Estratégicos y Diagramas Estructurales. [on line]REDES- Revista hispana para el análisis de redes sociales. Vol.8,#2, Agosto 2005. <http://revista-redes.rediris.es> (fecha de consulta: 25/05/2007).
- [9] Siles, Marcelo, Robinson L. Lindo; Whiteford Scout, en . Atria, Raul; Siles, Marcelo; Arriagada, Irma; Robinson Lindon J.; Whiteford, Scout (comp.). Capital social y reducción de la pobreza en América Latina y el Caribe: en busca de un nuevo paradigma. Cuadernos de la CEPAL, N° 71. Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Michigan State University. Santiago de Chile, 2003. op. cit. P.13.
- [10] I. Reyna Cornejo, F. Robles Martínez, J. M. Sánchez Núñez y A. Ramírez Treviño. Análisis al programa de separación de residuos (primera parte).. Teorema Ambiental, abril-mayo 2003.
- [11] Borgatti, S.P., M.G. Everett, and L.C. Freeman. 2002 UCINET 6 for Windows Software for Social Network Analysis. Harvard: Analytic Technologies. Versión de Internet www.analytictech.com/downloaduc6.htm (fecha de consulta: 12/05/2011).

Basura, territorio y sociedad. Premisas espaciales y comunitarias para la prevención, remediación y recuperación de espacios degradados por residuos industriales. Una iniciativa integradora

Francisco Javier Rangel Martínez
frangel@colsan.edu.mx

Resumen

Integrar significa completar un todo con las partes que faltaban. A menudo, las iniciativas para la prevención, remediación y recuperación de espacios degradados por residuos industriales resultan parciales: la prevención y remediación tienen un lugar notoriamente asignado en los estudios de impacto y gestión ambiental, respectivamente, pero la recuperación sigue siendo un proyecto inacabado; las decisiones prácticas para el manejo de residuos industriales carecen de una interpretación teórica, mientras los ejercicios filosóficos no concluyen necesariamente con enunciados normativos; la operación económica “producción y consumo”, orientada a la obtención de bienes, la prestación de servicios y la satisfacción de necesidades, desatiende la respectiva generación de residuos y sus impactos socio-espaciales; y las prácticas administrativas y gubernamentales, limitadas al campo de los expertos, excluyen el principio de participación social, es decir, el elemento comunitario de la gestión. Ante tal parcialidad, este documento constituye una *iniciativa sociológica integradora* –teórica y metodológica– que, mediante el repaso de premisas espaciales y comunitarias, aspira a ser útil para conocer de antemano los daños y perjuicios vinculados a los residuos, enmendar lo que en el pasado no se ha hecho como debiera y volver a un estado de normalidad dos de los elementos más afectados por el fenómeno de la basura tóxica: el territorio y la sociedad.

Palabras Clave: consumo, desarrollo, desechos, gestión, medioambiente

1. Introducción: Basura, territorio y sociedad

“De las fábricas parten a diario dos tipos de camiones: un tipo de camiones se dirige a los comercios y los grandes almacenes; el otro, a los vertederos. El cuento con el que hemos crecido nos ha adiestrado para advertir y preocuparnos tan sólo por el primer tipo de camiones. En el segundo pensamos exclusivamente en las ocasiones –por fortuna aún no diarias– en las que la avalancha de residuos desciende de las montañas de basura y atraviesa las vallas destinadas a proteger nuestro propio patio trasero” [1].

De esta manera Zygmunt Bauman introduce el tema de los residuos en su libro *Vidas desperdiciadas. La modernidad y sus parias*. Yo hubiese querido componer un preámbulo igual o similar para lo que sigue a continuación. Pero Bauman lo hizo, y yo puedo citarlo. La revisión de la literatura es un principio general de cualquier disciplina científica y el trabajo de Bauman es, sin duda, un referente válido para el correcto encuadre del presente documento *sociológico*, cuyas ideas y propuestas retoman una desatendida contrariedad del problema de los residuos: *la guerra por el espacio y la falta de tierras vacías que puedan servir de lugares para la destrucción de los desechos tóxicos* [2].

En esta guerra por el espacio, sacar adelante proyectos para la disposición de residuos involucra un extenso examen público al que pocas empresas sobreviven y el territorio se convierte en campo de batalla de una *conflagración* que a menudo estalla en el atropello público de los vecindarios pobres

y la resistencia ritual de sus habitantes contra *los empresarios de la basura* y las fuerzas del orden que, generalmente, resguardan *la integridad financiera y el ímpetu lucrativo* de éstos últimos.

En tales condiciones, *la gente común* parece haber perdido la confianza en la posibilidad de que las autoridades actúen a favor de sus intereses por lo que ha tenido que recurrir a la creación de estructuras de autodefensa colectivas, “muy a menudo, corriendo con la suerte de que sus actos de oposición se clasifiquen en los archivos oficiales como violaciones de la ley y el orden, en lugar de lo que realmente son: intentos de presentar reclamos territoriales audibles y legibles” [3]

Ante tal contrariedad, resulta necesario el planteamiento de iniciativas que, en respuesta a esta *nueva configuración del viejo problema*, empiecen por la reflexión y el debate en torno a la disputa territorial y social desatada por la disposición de los residuos, y ubiquen *el dilema de la basura y los desechos tóxicos* en contextos más grandes, más profundos y de mayor alcance en el tiempo y el espacio que aquellos acercamientos limitados del pasado.

Este documento rescata la encrespada relación *Basura, territorio y sociedad* como una evidencia más de que, “a diferencia de hace treinta o cien o quinientos años, el deterioro ambiental que sufre el planeta ha pasado de ser un simple problema circunstancial a un serio problema social y político, y *como problema social y político es como debe tratarse*” [4]; argumenta que “la degradación ambiental es *un problema multidimensional proyectado sobre un espacio integrador* (el espacio degradado)” [5]; enuncia *premisas espaciales y comunitarias* como “señales e indicios para obtener conocimientos sobre el tema y crear comunidades de estudiosos a su alrededor” [6]; y anexa a cada premisa una breve insinuación prescriptiva, sin afares de receta o de remedio, sólo con el fin de evidenciar el complejo y nuevo escenario que representan los residuos para los hombres y mujeres del mundo actual.

2. Desarrollo: Premisas espaciales y comunitarias para la prevención, remediación y recuperación de espacios degradados por residuos industriales

434

Hoy en día, cada vez es más difícil construir nuevos vertederos, y los vertederos existentes parecen estar causando un daño significativo. Sólo en los Estados Unidos de América, un estudio nacional realizado en 1987 divulgó que “de 81 solicitudes para operar empresas dedicadas al manejo, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, 31 habían sido rechazadas, 36 estaban bajo revisión, y sólo 14 habían recibido permisos de operación. De las 14 que habían obtenido permiso, seis no habían operado debido a revisiones judiciales o circunstancias de mercado. Finalmente, 16 de las solicitudes fueron rechazadas debido a la oposición pública que suscitaron, y otras tantas estaban en examen por la misma razón” [7].

La experiencia ha demostrado que, con el tiempo y en distintos lapsos, los sitios de almacenaje de residuos –basureros, tiraderos y confinamientos controlados- han fallado, o habrán de fallar: hasta las más resistentes líneas de seguridad diseñadas para contener a los residuos se corroen; plantas y animales agujeran los forros de protección del suelo, y la lluvia suele desplazar a los residuos de su lugar de almacenamiento. De ahí en adelante, los desechos desplazados suelen entremezclarse, incrementando su potencial migratorio y tóxico, contaminando lagos y arroyos, aguas subterráneas, suelos y aire, hasta entrar en contacto con una de sus víctimas más indefensas: *el ser humano*.

En consecuencia, la adecuada disposición de residuos peligrosos constituye hoy una tarea global de condición urgente. Sin embargo, la realidad económica esencial es que las medidas necesarias para tratar adecuadamente los desechos incrementan los costos de aquellos que los producen, y quienes arrojándolos en lugares escondidos e inseguros se ahorran el monto que representan formas más caras, pero más seguras, de eliminar sus residuos.

El problema es enorme en tamaño, vital en términos de su impacto sobre el medioambiente, y complejo en el ámbito de su aplicación. No obstante, para algunos interesados en el asunto, “la

resolución del problema parece ser una simple cuestión de *voluntad política y músculo legal* para crear normas que señalen, descalifiquen e inhabiliten a los productores industriales y los grandes generadores de residuos que no las cumplan” [8]. Para otros, el remedio es cuestión de “personal con *experiencia en la gestión* de residuos, mayores recursos para atender el asunto y un alto grado de participación ciudadana” [9]. No faltan los que sugieren recurrir al “criterio de *demanda solvente*, de modo que sólo goce de un servicio integral de limpia aquel que pueda pagarlo” [10]. Afortunadamente, también están los menos, aquellos para quienes las anteriores propuestas “sólo reflejan maneras dominantes en que suelen identificarse y definirse problemas públicos y la tendencia a legitimar ciertas soluciones por encima de otras” [11].

A tono con éstos últimos, se enuncian enseguida algunas premisas socio-espaciales dignas de considerarse a la hora de promover estrategias de prevención, remediación y recuperación de espacios degradados por desechos industriales.

2.1. Premisa 1ª. Residuos: El secreto sucio del capitalismo

El capitalismo es “un sistema que tiene la necesidad imperiosa de expandirse para perseguir su objetivo principal, *la acumulación incesante de capital*, y un elemento esencial de dicha acumulación es que los capitalistas, especialmente los grandes capitalistas, no pagan sus cuentas: es decir, *no limpian los efectos y residuos negativos de su producción*, ni invierten en la renovación de los recursos naturales utilizados, pues se trata de procesos demasiado costosos que les obligarían a reducir su producción y sus ganancias” [4].

El modo principal de minimizar los costos de eliminación de residuos ha sido el de tirarlos en algún área pública sin haberlos tratado, o con un tratamiento mínimo. Cuando un productor arroja desperdicios en un arroyo y lo contamina, está ahorrándose el costo que representan otras formas más caras pero más seguras para desechar los residuos. Luego, el productor siempre puede reubicarse en un área nueva, eliminando de ese modo el problema, hasta que las nuevas áreas limpias se agoten. “En términos globales, esto es lo que ha estado teniendo lugar a lo largo de la historia capitalista, pero sólo hasta la segunda mitad del Siglo XX el agotamiento potencial de los sitios para la acumulación de desechos comenzó a percibirse como un problema social” [12].

Cualquiera que sea la actitud que se adopte con respecto a estas cuestiones, y sabiendo que en general los capitalistas no harán nada al respecto, la sociedad actual se enfrenta a tres alternativas. Una, los gobiernos podrían exigir a las empresas que internalicen todos los costos, lo que implicaría una inmediata compresión de sus beneficios. Dos, los gobiernos podrían pagar la cuenta de las medidas ecológicas –limpieza y restauración, más prevención– utilizando para ello el dinero de los impuestos, lo que provocaría, por lo menos, una enorme rebelión fiscal. O tres, podría no hacerse prácticamente nada, lo cual llevaría a las diversas catástrofes ecológicas sobre las que nos advierten los movimientos ambientalistas. “Hasta ahora, la tercera alternativa es la que va ganando” [4].

2.2. Premisa 2ª. El planeta está repleto y sin lugar para los residuos

“Que el planeta está lleno, es un enunciado de sociología y política, no de geografía física ni humana. Decir –sociológicamente– que el planeta está lleno, indica la desaparición de la tierra de nadie, de los territorios susceptibles de definirse y/o tratarse como exentos de habitación humana, así como carentes de administración soberana y, por ende, abiertos. Durante la mayor parte de la historia moderna, tales territorios –en gran medida, inexistentes hoy en día– desempeñaron el papel crucial de vertederos para los desechos humanos, materiales e inmateriales” [1]. Esa situación pudo prolongarse en tanto la modernidad seguía siendo un privilegio de pocos. Pero, una vez que la modernidad ha alcanzado las más remotas regiones del planeta, y las prácticas de la producción y el consumo humanos se han visto mediadas por el dinero y el mercado, como estaba destinado y obligado que sucediera, las condiciones universales de la modernidad (la igualdad, la libertad, la democracia, el libre mercado, los derechos humanos) se han vuelto en su contra.

Actualmente, existe una perspectiva plausible de que la modernidad capitalista –o el capitalismo moderno– se atragante con sus productos residuales que no puede volver a asimilar, aniquilar o desintoxicar: por todas partes se producen residuos y se expulsan gran cantidad de desechos, en ausencia de basureros apropiados para su almacenamiento y potencial reciclaje. Posiblemente, la más funesta consecuencia del triunfo global de la modernidad sea la aguda crisis de la industria de destrucción de residuos. Para abordar dicha crisis, las habituales herramientas y estrategias no parecen suficientes ni especialmente apropiadas.

Algo ha sido mal entendido: los residuos no son simples cosas malas de las que debemos deshacernos; son una categoría clave para entender el valor cultural de la creación y la destrucción. Los residuos encarnan el encuentro de dos pasiones humanas: el gozo de las cosas nuevas y diferentes, y la delicia de expulsar, apartarse y purgarse de una recurrente impureza. Este proceso dialéctico de creación-destrucción nos lleva a considerar cuestiones tales como “¿Cuál es, a la postre, la producción básica de la industria humana moderna: las cosas encantadoras y completamente nuevas recién creadas, o los montones de basura que no dejan de crecer?” [1]. Delicadas cuestiones, a decir verdad, y la tarea de responderlas no es menos complicada. Tal vez por ello “reflexionar sobre la eliminación de residuos implica hacer frente a los límites de nuestra sociedad” [13].

2.3. Premisa 3ª. Guerras por el espacio (o las penurias de ser local en un mundo globalizado)

La globalización es “el nuevo rostro del capitalismo: una red de poder centrada en los intereses corporativos y las instituciones financieras que controla los intereses de quienes detentan el poder en detrimento de los demás. Las estrategias de la globalización tienen que ver con la centralización del poder, la reducción de todo el valor al dinero y el sometimiento de los gobiernos a los intereses corporativos. Con base en ello, las grandes empresas han extendido su control sobre las instituciones democráticas, los sistemas de comunicación y los productos básicos, en la medida en que controlan los medios de los cuales dependen las personas para ganarse la vida” [14].

En este moderno proceso globalizador de gerencia empresarial, la movilidad se ha convertido en el factor más poderoso y codiciado de todos. A los que ocupan la cima de la jerarquía –los que producen– la libertad de movimiento les otorga muchas más ventajas que a los demás y les distancia en un grado altísimo de las obligaciones con los empleados que provienen de la población local, retenidos por deberes familiares y la propiedad de vivienda y que, difícilmente, pueden seguir a la empresa cuando ésta se traslada a otra parte. “A los dueños sólo les compete la tarea de trasladar la empresa allí donde descubren o anticipan la posibilidad de mejorar los dividendos, y dejar a los demás –que están atados a la localidad– las tareas de lamer las heridas, reparar los daños y ocuparse de los desechos” [3]. Quien tenga libertad para escapar de la localidad, la tiene para huir de las consecuencias. La libertad para trasladarse libera a la empresa del deber de contribuir a la vida cotidiana y la perpetuación de la comunidad.

Esto es así, porque “la globalización divide en la misma manera que une: lo que para unos es globalización, para otros es localización. La libertad de movimiento es una mercancía escasa y distribuida de manera desigual. Frente a los grandes jugadores, poco tienen que hacer el resto de participantes en el juego, sobre todo aquellos que no pueden permitirse estar en movimiento continuo. Los accionistas son el único factor libre en el juego. Ser local en un mundo globalizado es una señal de penuria y degradación social” [3].

2.4. Premisa 4ª. Hágalo usted mismo. La privatización extravagante de los riesgos

El campo de los estudios de riesgo surgió de las necesidades prácticas de las sociedades industriales para regular la tecnología y proteger a su ciudadanía de los desastres naturales y tecnológicos. Lo que antes era un proceso *predominantemente comunitario* –la explicación del peligro, la calamidad y la catástrofe– pasó a ser una tarea *para los expertos*. El soporte teórico de la sociedad del riesgo

fue que en esta sociedad “el riesgo se produce por procesos masivos que rebasan el control de sus víctimas, tanto en su impacto pragmático inmediato, como aún más en los efectos didácticos de largo plazo” [15].

No obstante, en un número considerable de casos, la llamada gestión de riesgos desecha este soporte teórico y transmite la información de peligros en manuales de *hágalo usted mismo* –recicle, reduzca, reutilice, cuide el agua, ahorre energía. Tal como funciona esa información, los peligros producidos colectivamente se ajustan a los mundos privatizados de víctimas individuales y se traducen como realidades que cada uno confronta y combate de manera individual. Es decir, los riesgos son preseleccionados y procesados de tal manera que la conciencia de peligro viene acompañada por la insinuación de que la culpa de la continua exposición al riesgo y de no evitarlo es individual.

En tales condiciones, es improbable que la acción colectiva proceda. En el caso de los daños atribuidos al mal manejo de los desechos tóxicos, las cortes alrededor del mundo han resultado reacias a certificar demandas grupales, bajo el argumento de que los miembros de una colectividad varían significativamente con respecto a los tipos y magnitudes de daños que cada uno de ellos han sufrido o pueden sufrir. En este sentido, “la sociedad del riesgo se origina allí donde los sistemas de normas sociales fracasan en relación con la seguridad prometida a sus ciudadanos y donde las instituciones y actores responsables de la gestión son cada vez más extraños, oscuros e inaccesibles para las personas afectadas por los daños colaterales de la modernidad” [16].

3. Conclusiones. Una iniciativa integradora

El concepto de degradación espacial es relativo. La degradación no existe para quien aprovecha el espacio como materia prima o para quien lo utiliza como depósito de sus desechos. El propio vertedero controlado de residuos es un ejemplo de tal relatividad: “por más bien diseñado y gestionado que esté, es inevitable la presencia de elementos que se perciben como negativos (olores, desechos, fauna nociva). Y a pesar de que cumple una función *positiva* para la sociedad –puesto que la situación es mejor que la que habría si no existiera tal vertedero– puede no resultar grato a un observador frívolo o desinformado” [5]. Entonces, calificar de degradado a un espacio requiere precaución y flexibilidad.

La escala de degradación de un espacio puede indicarse por la ausencia de vegetación donde debería haberla, procesos erosivos activos, envilecimiento y uso inadecuado del suelo, presencia de residuos, o por la acumulación de varias de estas circunstancias. Las posibilidades son variadas. Pero en lo que no parece haber discusión es en el hecho de que “un espacio degradado ofrece una imagen deplorable de los tres tipos de agentes implicados en la degradación: los causantes directos, las autoridades responsables y la población afectada –que propicia desconfianza” [5].

La carencia de una gestión que vele por el espacio al que se aplica, propicia la degradación, al menos en zonas de carácter antrópico, porque la falta de vigilancia y cuidados suele llevar a utilizaciones inadecuadas. La generación e inadecuada disposición de residuos peligrosos es un fenómeno mundial que ha venido ocurriendo tanto en los países desarrollados como en los países pobres. Y a pesar de ser una práctica que se estableció en tiempos de ignorancia, se ha perpetuado durante lapsos más ilustrados, tal vez por aquello de que todo agravio se eterniza por sí mismo.

La experiencia en la materia, debería alentar a los dueños y operadores de instalaciones, a las autoridades encargadas de la gestión, así como a los especialistas en los temas relacionados con el asunto a que conozcan y colaboren con las comunidades desde el inicio del proceso de exploración de un sitio, bajo el supuesto que dicha colaboración pudiera estimular soluciones creativas para la disposición de residuos peligrosos, y que la consideración de premisas espaciales y comunitarias podría facilitar la selección del sitio y las licencias de operación.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bauman, Z. *Vidas desperdiciadas. La modernidad y sus parias*. 1ª Edición. 2005. Paidós. Barcelona. Pp. 11-50.
- [2] Con el afán único de ofrecer una *buena consonancia retórica*, los términos residuo, residuo industrial y desecho tóxico aluden aquí al mismo fenómeno.
- [3] Bauman, Z. *La globalización. Consecuencias humanas*. 1a Edición. 1999. FCE. Buenos Aires. Pp.39-73.
- [4] Wallerstein, I. *Conocer el mundo, saber el mundo. El fin de lo aprendido. Una ciencia social para el Siglo XXI*. 1ª Edición. 2001. Siglo XXI. México. Pp. 14-94.
- [5] Gómez Orea, D. *Recuperación de espacios degradados*. 1ª Edición. 2004. MP. Madrid. Pp. 9-63.
- [6] Wallerstein, I. *El legado de la sociología, la promesa de la ciencia social*. 1ª Edición. 1999. Nueva Sociedad. Caracas. Pp.14-24.
- [7] Mason, G. "Closure and rejection of waste facilities. What effect has public pressure?" *Hazardous Material Control*. Vol. 3. 1989. Pp. 54-58.
- [8] Gutiérrez, V. *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. 1ª Edición. 2006. SEMARNAT. México. Pp. 13-26.
- [9] Cabrero, E. *La nueva gestión municipal en México. Experiencias innovadoras en gobiernos locales*. 1ª Edición. 1995. Porrúa-CIDE. México. Pp. 39-42.
- [10] Puig Ventosa, I. "Incentivos económicos para avanzar hacia la reducción y el reciclaje de residuos urbanos". *Revista interdisciplinaria de Gestión Ambiental*. Núm. 48. 2002. Pp. 22-32.
- [11] Bernache Pérez, G. *Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. 1ª Edición. 2006. CIESAS. México. P. 21-23.
- [12] Wallerstein, I. *Análisis de sistemas mundo*. 2ª Edición 2006. Siglo XXI. México. Pp.105-122.
- [13] Strasser, S. *Waste and want. A social history of trash*. 1a Edición. 1991. Metropolitan Books. New York. P. 9.
- [14] Chomsky, N. *Profit over people. Neoliberalism and global order*. 1a Edición. 1999. Seven Stories Press. Boston. P. 13.
- [15] Beck, U. *La sociedad del riesgo global*. 1ª Edición. 2002. Siglo XXI. México. Pp. 11-32.
- [16] Beck, U. *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. 1ª Edición. 1998. Paidós. Barcelona. Pp. 12-14.

Educación ambiental: estrategias utilizadas en la separación y manejo de residuos sólidos en espacios académicos del centro de Veracruz

Leticia Garibay Pardo, Héctor V. Narave Flores, Ma. de los Ángeles Chamorro Zarate, Erika Y. Cruz Aburto
lgaribay@uv.mx

Resumen

Estamos convencidos de la importancia de la Educación Ambiental en la resolución de la problemática de la generación excesiva de basura y sin manejo de ninguna índole. Es por ello que a través de la línea de Generación y Aplicación del Conocimiento; Investigación y Educación para el Desarrollo Sustentable (IEDES), hemos generado una serie de trabajos de investigación (Tesis) en escuelas de los diferentes niveles educativos, implementando la separación y manejo de los residuos en más de diez ocasiones y así imponer una cultura ambiental permanente, entre alumnos, maestros y en algunos casos padres de familia. Paralelamente hemos realizados manuales de la implementación del proyecto, adecuados al contexto y nivel educativo, que sean guías para replicarse en otros planteles educativos. Les hemos dado seguimiento a las escuelas trabajadas y estas actividades, han dado pie a nuevas investigaciones y a que a partir de ella se inicien propuestas de separación y manejo adecuado de RSU a todo el Municipio (a donde pertenece la escuela) a través de las Direcciones de Ecología Municipal, algunas de reciente creación a partir del conocimiento de esta problemática en la escuela del municipio donde se ha implementado la separación. En el presente trabajo, se describen brevemente las estrategias utilizadas así como las experiencias y resultados obtenidos.

Palabras Clave: *ecología municipal, niveles educativos, implementación, cultura ambiental*

1. Introducción

El estado de Veracruz en el 2009 [1], generó cerca de dos millones 70 mil toneladas de basura en el año. Colocando al estado en el cuarto lugar nacional. En Xalapa, la capital del estado se generan aproximadamente 394 toneladas diarias de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), de los cuales aproximadamente el 70% son aprovechables; de este porcentaje la mitad corresponde a materia orgánica la que es fácil transformarla en abono orgánico [10]. Y el promedio de generación se estima en 0.970 Kg para ciudades medias, 1.5 Kg en ciudades turísticas y en las comunidades rurales de 0.500 Kg, aproximadamente. Y datos actuales revelan que el estado de Veracruz, produce siete millones de Kg de basura cada día y esto en verdad es alarmante.

En la actualidad existen diferentes tratamientos, procesamientos y disposiciones finales de los residuos sólidos, siendo la mayoría inadecuados, por ejemplo, los desechos que son incinerados producen gases que provocan contaminación atmosférica; y casi todos los residuos sólidos municipales, se disponen en un terreno seleccionado y acondicionado para evitar un impacto negativo al ambiente y salud humana, sin ningún aprovechamiento de algunos residuos de valor económico, debido a que son reciclables y reutilizables [5].

En este sentido es importante considerar la problemática de los tiraderos de basura sin control situación apremiante, ya que por ejemplo en el 2007, fue estimado que alrededor de 13 millones de toneladas de basura en el país fueron tirados a cielo abierto [2].

En el estado de Veracruz, existen 18 sitios (rellenos sanitarios) para la recolección de basura y no todos funcionan adecuadamente, aunado a la mala práctica que existe en muchos municipios, de tirar la basura en laderas, bosques, manglares, selvas, ríos, lagos, laguna y hasta el mar haciéndose alrededor de 1,610 tiraderos a cielo abierto [7], sin ningún manejo; lo que ha contribuido a múltiples problemas como las inundaciones, azolves de cuerpos de agua, etc. y que tiene que ver con mas inundaciones, pérdida de agua limpia y contaminación. Por ejemplo, en el puerto de Veracruz y área conurbada de Boca del Río, de las 26 lagunas que quedan, 24 están siendo impactadas con basura y escombros que vierten camiones de limpia pública y de acarreo de manera clandestina [3]. Y sólo en 60 municipios de los 212 del estado de Veracruz, tienen alguna iniciativa; sin llegar a estar bien posicionada, excepto el municipio de Teocelo que cuentan con algún incentivo para la selección de residuos.

Considerando que en la actualidad, la Educación Ambiental (EA), constituye un proceso importante para desarrollar valores y actitudes en la población, en relación al manejo adecuado de los residuos sólidos y la conservación de los recursos naturales; en la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana, el Cuerpo Académico Investigación y Educación para el Desarrollo Sustentable (IEDES), se han realizado trabajos recepcionales de Educación Ambiental, y servicios sociales, con la finalidad de responder a los intereses de los estudiantes universitarios y problemas ambientales de la propia universidad y de atender algunas de las necesidades municipales relacionadas con el manejo de residuos sólidos, conservación de áreas verdes y conservación de los recursos en general.

Asimismo, se ha colaborado con académicos de otras entidades de la UV en la realización y revisión de trabajos recepcionales que sobre esta área se han desarrollado por estudiantes de Biología y de la Especialidad de Diagnostico y Gestión Ambiental en el marco de proyectos de investigación y vinculación de la institución. Siendo la principal actividad, implementar a través de la Educación Ambiental no formal e informal la separación y manejo adecuado de los residuos sólidos en escuelas de todos los niveles educativos, incluidos: la Universidad, algunos municipios, grupos sociales y eventos académicos.

2. Desarrollo

2.1 Educación Ambiental en Instituciones de Educación Superior

El sistema educativo es elemento clave para contribuir en el desarrollo del país; específicamente, al nivel de educación superior le corresponde proporcionar una formación integral a los alumnos, que les permita ser profesionistas competitivos, con la capacidad de percibir las necesidades de la sociedad para diseñar y aplicar proyectos que respondan a ellas en el marco de la sustentabilidad y para contribuir en la formación integral de los alumnos e impulsar el desarrollo local y regional, las Instituciones de Educación Superior (IES), han diseñado y aplicado diversas estrategias, por ejemplo, realización de proyectos de vinculación, colaboración con dependencias públicas y organizaciones civiles, desarrollo de proyectos de investigación y de gestión orientados a atender necesidades locales.

Para responder a este reto, la Universidad Veracruzana (UV), como institución pública de educación superior, ha diseñado y aplicado acciones para contribuir a transitar hacia la sustentabilidad. Por ello en el Plan de Desarrollo 2025 el eje 5 *Hacia una Universidad Sostenible*, se enuncian los programas genéricos que conlleven al cuidado del medio ambiente y a la formación de una cultura de la sostenibilidad en la comunidad universitaria [8].

Así, en el marco de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento IEDES, se han generado proyectos de vinculación, de investigación y trabajos recepcionales de licenciatura en Biología y de la Especialidad de Diagnóstico y Gestión Ambiental, orientados a atender estas necesidades. En ese sentido se han integrado diagnósticos sobre generación de residuos sólidos, además se han transmitido conocimientos sobre la situación ambiental, tratando de sensibilizar a diferentes sectores de la sociedad para impulsar su participación en acciones orientadas a promover el manejo de residuos sólidos, la conservación de áreas verdes y recursos naturales en el entorno local.

3. Resultados y Discusión

3.1 Proyectos de colaboración en Educación Ambiental

En los últimos cinco años, hemos generado 16 trabajos recepcionales de la licenciatura en Biología, con los que se ha abordado la EA, relacionados con la separación y manejo de residuos sólidos, mediante trabajos colaborativos con instituciones educativas, autoridades municipales y representantes de la sociedad de los municipios de Coatepec, Cosamaloapan, Nautla, Alvarado, Xalapa, Tlalnehuayocan, Teocelo, Xico, Banderilla, Alto Lucero y Acatlán del estado de Veracruz y la realización de estos trabajos recepcionales, ha permitido a los estudiantes de la licenciatura en Biología y de la Especialidad de Diagnóstico y Gestión Ambiental, estar en un contexto real atendiendo necesidades locales Tabla 1. A través de los diagnósticos realizados se ha obtenido información, para generar propuestas que respondan a situaciones particulares, y mediante el desarrollo de talleres se ha promovido la participación de diferentes sectores de la población en acciones orientadas al manejo de residuos sólidos urbanos y al cuidado de áreas verdes.

3.2 Educación Ambiental en la implementación de la cultura ambiental

Sin duda alguna, en el momento actual, la EA constituye un elemento indispensable para la formación integral de todos los profesionistas y a través de este proceso es posible vincularse con los diferentes sectores de la sociedad; identificar las necesidades ambientales y aplicar estrategias para atenderlas. Por esta razón, es recomendable aplicar acciones desde los niveles de educación básica y media superior de manera permanente.

Cabe destacar que para aplicar proyectos, de EA, y pasar a la apropiación de una cultura ambiental responsable, es necesaria la colaboración entre instituciones educativas de nivel básico, medio superior, superior, autoridades municipales, estatales y sociedad en general. Asimismo, es recomendable garantizar el seguimiento y evaluación de las actividades realizadas.

Simultáneamente al desarrollo de trabajos recepcionales, se han impartido conferencias y talleres para fortalecer y/o implementar la cultura de la separación de residuos sólidos urbanos y su manejo, en Tierra Blanca, Tuxpan, Cosamaloapan, Ixtaczoquitlán, Naolinco, Xico, Actopan, La Antigua y Emiliano Zapata. Algunos de estos han sido organizados en colaboración con autoridades municipales, estatales, así como autoridades educativas tanto de instituciones de nivel básico, medio superior y superior.

Tabla 1. Relación de Trabajos en escuelas y municipios del centro de Veracruz.

Tema	Autor	Municipio donde se realizó el trabajo	Tipo de actividad realizada	Participantes
Educación Ambiental para la conservación de los recursos naturales y el manejo de residuos sólidos. Una experiencia en el preescolar “Trinidad Pérez González”.	Erika Yaquelin Cruz Aburto	Xalapa, Ver.	Talleres, un foro e implementación.	Niños de preescolar, padres de familia, educadoras y directora
Manejo de los residuos	Francisco Martínez	Teocelo, Ver.	Talleres, capacitación e	Población en general,

orgánicos en el municipio de Teocelo, Ver.	Tlapa		instalación de módulo lombricomposta	personal de limpia publica
Propuesta de manejo de residuos sólidos para comunidades del municipio de Cosamaloapan, Ver., en la gestión 2005-2007.	Leopoldo Meneses Gutiérrez	Cosamaloapan, Ver.	Pláticas e implementación en algunas escuelas	Maestros, estudiantes, padres de familia. Presidencia municipal y Coordinación de Ecología
Prospección de la generación de residuos sólidos urbanos en la UV región Xalapa.	Jairo Cabrera Navarro	Xalapa, Ver.	Aplicación de encuestas	Estudiantes universitarios, maestros, personal administrativo y manual
Manejo de residuos sólidos en escuelas primarias de Banderilla, Ver. Una experiencia con alumnos de 1º, 2º, 3er. Grado.	Loreina Senyazzen López Díaz	Banderilla, Ver.	Talleres en coordinación con el ayuntamiento e implementación por seis meses.	Estudiantes de 1er a 3er. grado de primaria y profesores
Manejo de residuos sólidos. Una experiencia a través de talleres de Educación Ambiental con alumnos de 4º, 5º, 6º, grado en escuelas primarias de Banderilla, Ver.	Fabiola Hilario Quintero	Banderilla, Ver.	Talleres en coordinación con el ayuntamiento e implementación por seis meses.	Estudiantes de 4º a 6º grado de primaria y profesores
Cuantificación y clasificación de RSU generados en la facultad de Biología y Ciencias Agrícolas, zona Xalapa.	Estuardo Adolfo de los Santos Castillo	Xalapa, Ver.	Diagnóstico en base al pesado para obtener porcentaje de residuos sólidos urbanos generados por semana.	Personal de intendencia y administración
Análisis de la generación de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Xalapa, Veracruz.	Francisco Rafael García Vázquez	Xalapa, Ver.	Diagnóstico en base al peso para obtener porcentaje de residuos sólidos urbanos	Población en general de tres diferentes rutas de recolección en base a su posible nivel de generación
Manejo de residuos sólidos en la Escuela Primaria "Leonor Trumbull de Muñoz" de Consolapa, Ver.	Yolanda Rodríguez Cruz	Coatepec, Ver.	Talleres	Estudiantes de primaria, maestros y director
Educación Ambiental y capacitación para el manejo de residuos sólidos en el sector rural y educativo. Una experiencia en siete localidades y ocho planteles educativos del municipio de Xico, Ver.	Vicenta Muñoz Velasco	Xico, Ver.	Talleres	Estudiantes de primaria, secundaria y amas de casa
Programa de Educación Ambiental para la formación de promotores ambientales en el manejo de residuos sólidos en el Telebachillerato Col. Guadalupe Victoria, Tlalnahuayocan.	Luz María Fernández Valencia	Tlalnahuayocan Ver.	Talleres con alumnos y capacitación a directora y maestros	Estudiantes de bachillerato, maestros y directora
"Diagnostico actual del relleno sanitario del Tronconal, Xalapa, Veracruz, México".	David Alejandro. Monterrubio Hernández , Dolores. Reyes Bautista y Yolo Isis Vera Villanueva	Xalapa, Ver.	Visitas de reconocimiento, ubicación, solicitud de informes sobre el relleno sanitario y diagnostico en base a su apreciación	Personal del relleno sanitario; directivos y trabajadores
Diagnóstico del desempeño de la administración municipal en el manejo y gestión de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Xalapa.	Luisa Maria Cervantes Garcia y Teresa de Jesus Mayo Moreno	Xalapa, Ver.	Diagnóstico	Administración municipal 2009 en el manejo y gestión de residuos
Proyecto de manejo de Residuos Sólidos Urbanos en la Facultad de Biología-Xalapa.	Marigel.Baizabal Blanco y Lizbeth Bonilla Rodríguez	Xalapa, Ver.	Implementación del proyecto de separación	Alumnos, maestros y personal administrativo y manual
Educación Ambiental para la conservación de los recursos naturales y manejo de residuos	José Adrián Utrera Mora	Alto Lucero, Ver.	Talleres y foro con padres, maestros y autoridades municipales.	Adolescentes, maestros y directora, autoridades

sólidos en la telesecundaria “José Martí” de Mesa de Guadalupe, Alto Lucero, Ver.				municipales
Percepción para la implementación de manejo de residuos sólidos universitarios RESU en las facultades de la Universidad Veracruzana.	Marco Antonio Ostos Cazares	Xalapa, Ver.	Encuestas vía correo electrónico a cada uno de los secretarios académicos	Secretarios Académicos de todas las facultades de las cinco regiones de la Universidad Veracruzana

4. Conclusiones

Hemos obtenido referencias para retroalimentar nuevos proyectos y determinar datos reales de generación de residuos. En las mediciones corroboramos datos de cantidades en peso de residuos tanto en la zona urbana, como rural y en las escuelas de los diferentes niveles educativos, desde el nivel Preescolar hasta la Universidad.

Igualmente conocemos las tendencias para su implementación; ya sea por su posibilidad o grado de dificultad u oposición a la práctica de la separación; siendo el nivel de Preescolar el más factible de llevar a cabo pues se involucran completamente los/as maestros/as, padres de familia y demás personal y pareciera que la dificultad de adoptar la practica va siendo más resistente conforme a la edad de los educandos y niveles educativos.

Encontramos que en las comunidades rurales y suburbanas y con poblaciones debajo de 100 mil habitantes hay mayor posibilidad de que respondan exitosamente a la separación e igualmente en las comunidades rurales y suburbanas, la generación es hasta la mitad de lo que se genera en las ciudades más grandes.

La mayoría de las personas cree que los recolectores de la limpia pública revuelve los residuos y lo utiliza como *pretexto*, para no separarlo, sin embargo una de las investigaciones desmitifica esta idea ya que la realizó con los trabajadores de la limpia pública y demostró como ellos realizan una primera pepena en el camión e inician la separación para su venta.

Estamos plenamente convencidos que en el cambio de gobierno de las direcciones municipales; el avance de la separación disminuye y/o hasta se pierde por completo. Igualmente en las instituciones; si no hay algún maestro comprometido que realice y continúe el proyecto y la evaluación correspondiente del avance de la separación, este se puede perder.

Los rellenos sanitarios en su mayoría no cumplen con las normas de seguridad ambiental en realidad; el de acá de Xalapa, no es la excepción y no obstante que estaba predestinado para el 2017, ya se ha agotado y el impacto y daño a las comunidades cercanas es preocupante [4].

Si bien, no se han recuperado todos los residuos posibles, ya se ha iniciado en algunas instituciones y municipios la separación, acopio y venta o donación y consideramos que la práctica de la separación y manejo de residuos debe de ser reglamentada desde la escuela y así continuar al resto de la sociedad y gobierno.

Estamos convencidos que es una cadena de prácticas que no debemos de dejar y continuar pues estamos seguros que al menos un diez por ciento de la población, ya se ha sumado y hoy tiene una preocupación y ha reflexionado sobre nuestro consumo excesivo y malas prácticas en el manejo de la basura.

Agradecimientos

A todos los egresados de la Facultad de Biología-Xalapa y de la Especialidad de Diagnóstico y Gestión Ambiental de la Universidad Veracruzana que sus nombres aparecen en la tabla, quien con

su trabajo han contribuido a generar más conocimientos sobre el tema de la separación de los residuos sólidos en escuelas, municipios y el diagnóstico sobre el relleno sanitario.

Referencias Bibliográficas

- [1] INEGI, 2009. Abril 16 de 2011. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2009. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aeeum/2009/Aeeum091.pdf
- [2] Lara M. 2010. Abril 26 de 2011. <http://www.infoveracruz.com/noticias/2010/05/ocupa-veracruz-cuarto-lugar-a-nivel-nacional-en-produccion-de-basura/>
- [3] Medina Aguilar, L. Mayo 18 de 2011 “El plan de gestión integral de *residuos sólidos*, en nuestros municipios” [www.hoyveracruz.com.mx/...](http://www.hoyveracruz.com.mx/)
- [4] Narave Flores, H. V. 2011. Comunicación personal.
- [5] Sancho y Cervera, J. – Rosiles, G. Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. SEDESOL, 1999. Abril 17 de 2011 www.ine.gob.mx/publicaciones/.../residuos.html
- [6] SEMARNAT, 2010. http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet8681.html
- [7] SEMARNAT, 2008. <http://www.oem.com.mx/diariodexalapa/notas/n1882925.htm>
- a. Universidad Veracruzana (UV). 2008. Marzo 30 de 2011. Plan de Desarrollo 2025. Eje 5 *Hacia una Universidad Sostenible* www.uv.mx/planeacioninstitucional/.../PlanGeneraldeDesarrollo2025.pdf

El manejo integral de los desechos como sistema de autorregulación para el cambio social, caso: Mérida-Venezuela

Yodelis Coromoto Ron Henrique, Fanny Eglee Matos Ladera, José Wilmer Runfola Medrano
yode@ula.ve, ciulamide@ula.ve

Resumen

El manejo integral de los desechos como sistema de autorregulación social, pasa por la participación directa de la población, en la construcción de mejores condiciones de vida en el marco de la sustentabilidad. En Mérida, la gestión ambiental centra la mirada en lo local, hacia lo cotidiano, hacia el centro neurálgico del desarrollo social: *La convivencia*, que está más allá de las contradicciones políticas y dentro de la nueva morfogénesis del espacio. Es por ello, que se plantea un nuevo modelo de intervención social; marcado por la revisión de las *representaciones colectivas* dentro del *territorio*, mediante la visualización arquetípica del inconsciente colectivo, como lugar de integración: social, político, económico y físico-natural. También se valoriza la *vecindad*, como algo más que una condición de proximidad, es un enraizamiento social, una conjugación de modos de vidas, por tanto, determina la escala y los tiempos de los cambios sociales. Esta exploración se desarrolla con los grupos organizados, comprometidos en trabajar responsablemente con la gente, más cercanos a sus sueños y las capacidades del paisaje andino, inmerso en contradicciones y provisto de potencialidades, hacia la transformación sustantiva de la ciudad, mediante la conectividad que permite el *Manejo Integral de los Desechos* para un desarrollo *sustentable*.

445

Palabras Clave: *colectividad, gestión, representaciones, sustentabilidad, vecindad*

1. Introducción

Esta propuesta de manejo integral de los desechos como sistema de autorregulación social, se desarrolla bajo la condición de vecindad entre las comunidades de la Zona Norte de la ciudad de Mérida, Venezuela y la Universidad de Los Andes. Mérida “Por encontrarse sobre una meseta o terraza, en un pequeño valle, ocupando un área: de unos 10 a 15 km de longitud por 3 km. de ancho, la ciudad actualmente carece de espacio adicional para el desarrollo urbano. Su área poligonal, sin embargo, ocupa unos 60 km², de los cuales, al menos 25 km.² son ocupados por la ciudad, y el resto por las zonas de menor desarrollo o bien por algunos accidentes geográficos, tales como taludes o montañas (ver figura 1). Pese al limitado espacio físico para el desarrollo, Mérida posee el mayor índice de áreas verdes por habitante de Venezuela, gracias a sus numerosas plazas y parques públicos, destacándose entre éstos el parque que rodea al río Albarregas.”[1].

Para el inicio del trabajo en la *Zona Norte* de Mérida, se tomaron como comunidades pilotos: Santa Rosa, Bella Vista, La Milagrosa, San Pedro, Chorros de Milla, El Amparo y el núcleo Pedro Rincón Gutiérrez de la Universidad de Los Andes (ULA)); que se ubican a tan solo 10 km aproximados de distancia del centro de la ciudad, dicha zona cuenta con alta precipitación anual (más de 245 días de lluvias), con una vegetación propia de la selva nublada andina, donde gran parte de la población se ha asentando en las márgenes de la quebrada La Mónica (que nace en la Sierra la Culata, cerca de Santa Rosa) y el propio río Albarregas (el cual nace en el Sierra de la Culata, atraviesa toda la ciudad y desemboca en el Lago de Maracaibo), la población total es de 17.980 habitantes, 3.300 viviendas aproximadamente; en ella se moviliza una población universitaria de 21.923 estudiantes y 1.631 trabajadores entre: profesores, profesionales, técnicos y obreros. Aunado a estas condiciones,

últimamente la *Zona Norte* de la ciudad de Mérida se ha convertido en centro de manifestaciones estudiantiles, así como en centro de parrandas públicas espontáneas. [2]

Los habitantes del sector manifiestan, preocupación por la inseguridad, los cambios urbanísticos y el problema con la basura, que ocupa el tercer lugar entre los problemas más relevantes para los ciudadanos de toda el área metropolitana de Mérida, específicamente en cuanto a su deficiente manejo: desde la recolección hasta la disposición final. Otro elemento de inquietud es la contaminación de ríos y quebradas principalmente por desechos. Todo esto permite establecer la pertinencia de la propuesta de manejo integral de los desechos como sistema de autorregulación social, en el marco de la sustentabilidad; por considerar que los cambios que se efectúen dentro de la sociedad merideña, deberán crear espacios de encuentro y de crecimiento socio-cultural. Esta propuesta incorpora a las comunidades en la construcción del sistema de manejo integral de los desechos, dentro de la nueva perspectiva de *Vecindad*, es pensar la comunidad como un territorio dinámico, innovador y de renovación social.

2. Desarrollo

La condición de *vecindad*, de la Universidad de Los Andes y las comunidades de la *Zona Norte*, conllevó al Área de Educación y Promoción Ambiental del Circuito Universidad de Los Andes para el Manejo Integral de los Desechos, CIULAMIDE, a vincularse e incluirse como autores y actores en la Gestión del Territorio, en acuerdo con autoridades del Jardín Botánico de Mérida (único del estado).

Los sistemas de manejo de los desechos han sido ajustados a las condiciones locales de cada ciudad o localidad, en términos: eficientes o deficientes. En la actualidad, se evidencia el desgaste como elemento de autorregulación social, lo que obliga a revisar la participación de los individuos o grupos sociales, en los procesos de adaptación y transformación de los subsistemas sociales, entre ellos el manejo de los desechos, como elemento importante en el bienestar comunitario.

Para ello, se establece como estrategia descifrar el paisaje urbano, desde la cotidianidad, planteándose un nuevo dialogo con el espacio: la calidez de sus colores, su gente, sus organizaciones, sus sitios de encuentro, en fin, intentar comprender la estética y ética del paisaje; proceso que apenas se ha iniciado, con reuniones, talleres para el reconocimiento de esta realidad, recientemente se realizó un compartir comunitario, que se denominó “El Ambiente y Tú, Fiesta de la Amistad y el Ambiente”, entre otras actividades.

Entre los proyectos que actualmente se vienen desarrollando en la *Zona Norte* de la ciudad de Mérida se encuentran los siguientes:

2.1 Plan de Gestión Integral de los Desechos para la Universidad de Los Andes (GIDULA) formulado por CIULAMIDE

Busca propiciar un proceso de organización comunitaria y capacitación de las comunidades, *vecinas* de las dependencias universitarias de la Zona Norte de la ciudad de Mérida, en el manejo integral de los desechos y el desarrollo de programas de extensión e investigación ambiental. Asimismo, se pretende:

- Identificar el perfil estratégico comunitario para el fomento de la corresponsabilidad ambiental y el manejo integral de los desechos.
- Determinar niveles de conocimiento y disposición a participar y áreas de acción pilotos.
- Implementar acciones de sensibilización ambiental que fomenten el programa entre las comunidades y propicien la creación de redes de intercambio y cooperación.

- Identificar las potencialidades locales organizativas y productivas para la valorización de materiales recuperables.
- Proponer un conjunto de lineamientos para el desarrollo de un sistema de manejo integral de desechos.

2.2 Proyecto Sembrando Los Valores Ambientales (SELVA) del Jardín Botánico de Mérida

Tiene entre sus propósitos:

- Difundir información acerca de la importancia de la vida natural, de los ecosistemas y recursos naturales para nuestra supervivencia.
- Sensibilizar a la población, para que estén en capacidad de organizar su entorno con prácticas basadas en el cuidado y protección del medio ambiente.

Con este fin se ha inaugurado recientemente en el Jardín Botánico de Mérida un espacio de encuentro comunitario para la *Zona Norte*, denominado, Centro de Apoyo Social-Ambiental (CASA).

2.3 Proyecto Parque Metropolitano Albarregas, (PAMALBA)

El propósito primordial del proyecto Parque Metropolitano Albarregas, es promover su apropiación como espacio público de toda la ciudad y de la comunidad universitaria. Para hacer eficiente el trabajo que se quiere realizar y establecer una dinámica de actuación de la ULA, en sus espacios internos ubicados dentro del área del Parque Albarregas, los coordinadores, establecieron un conjunto de estrategias de trabajo con organismos universitarios y comunitarios. [1]

2.4 Proyecto Mérida Ciudad Educadora y del Conocimiento

Esta propuesta de Ciudad Educadora y del Conocimiento, está siendo trabajada por El Grupo de Investigación sobre la Consciencia Social en Venezuela y América Latina: GISCSVAL de la Facultad de Humanidades de la Universidad de Los Andes. Se fundamenta en la comprensión de la conflictividad social que se ha estado viviendo en el país en los últimos años, la cual exige una mirada interdisciplinaria y transdisciplinaria sobre las características históricas, políticas, antropológicas y psicosociales de nuestras sociedades.

La gestión del Manejo Integral de los Desechos en Mérida, desde la Universidad de Los Andes, apuesta por una visión educadora de la ciudadanía que integre saberes, cultive valores, y establezca acciones progresivas para la sustentabilidad de territorio. A este respecto, es posible evidenciar las interrelaciones presentes dentro la complejidad del comportamiento de los ciudadanos. Para ello, se presenta un boceto del rostro sociocultural de Venezuela, específicamente el impacto del consumismo, desde la primera mitad del siglo XX.

González Téllez, la influencia de la explotación petrolera en la cultura, transformó la mentalidad de los venezolanos, instauró una nueva filosofía de vida, arraigada en el imaginario colectivo y en los cambios históricos del modelo económico del Estado, quien controló los impuestos, las regalías petroleras, determinando los cambios socio-económicos del país y desarrollaron patrones de comportamiento “modernista” en las distintas esferas de la estructura social.

Actualmente las ciudades venezolanas, son el resultante de diversas orientaciones socio-políticas pero con una visión: la “modernización”, es decir, la suma de retazos contradictorios, propios del consumismo y los conflictos entre “subculturas”, afectando la calidad de vida de la población urbana. [3]

A fin de dinamizar la instauración del sistema de Manejo Integral de los Desechos en Mérida, iniciado estratégicamente en la Zona Norte, es necesario superar los tecnicismos del propio sistema, e incorporarlo a la cotidianidad de la gente, creando espacios de encuentro comunitarios, de vecinos, que les permita formarse e interrelacionar el manejo integral de los desechos como parte de su crecimiento socio-cultural, ya que el sistema se nutre de las vivencias y experiencias de la academia y de los saberes comunitarios.

3. Metodología

Desde una visión integradora y en el esfuerzo por superar los límites de un abordaje sectorial, esta propuesta se orienta desde la *Metodología Investigación Acción Participativa (IAP)* y la comprensión de la complejidad en la *Gestión del Territorio*, como instrumentos articuladores en la dinámica del *cambio social*.

Es por ello, que esta propuesta, en el marco de la *Sustentabilidad*: como ponderaciones entre la productividad económica, preservación de condiciones físico-natural y equidad social, se inclina hacia la posibilidad de intervenir en el devenir social, mediante la comprensión de esta realidad compleja a través de las interrelaciones y las interdependencias. Estas orientaciones como se observa, enfatiza un compromiso con el ser y promueve un compromiso con el presente que conlleven a la sobrevivencia y posibiliten el equilibrio dentro de la marisma de los cambios, es decir potenciando condiciones, oportunidades y minimizando conflictos. Por tanto, es pertinente decir, que uno de los grandes retos de nuestras sociedades es acrecentar las posibilidades de sobrevivencia de nuestra especie dentro de los límites de la biosfera del planeta; quizás también del cosmos. *“Les hace falta comprender tanto la condición humana en el mundo, como la condición del mundo humano que a través de la historia moderna se ha vuelto la de la era planetaria”* [4].

En este sentido, la *autorregulación social* se planteada en relación a los cambios necesarios que requiere la sociedad para alcanzar un buen vivir, acogiendo valores y principios socializadores que transformen las condiciones actuales de conflictos urbanos, para lo cual se requiere adquirir conocimiento y desarrollar potencialidades individuales y colectivas, que permite consolidar la ciudadanía con sentido de pertenencia y ético.

Los procedimientos técnicos a utilizar parten del análisis demográfico y socioeconómico, cuyo manejo permitirá establecer una muestra representativa de la colectividad y la caracterización. La integración de las comunidades en los procesos de caracterización de los desechos, tiene ente sus propósito sensibilizar e informar a la población de la Zona Norte sobre la complejidad del aprovechamiento de los desechos, ya que les permite conocer su magnitud a partir de la determinación de las cantidades y tipos de desechos que generan, así como proponer soluciones para el diseño del sistema de manejo y su implementación. [5]

En este proceso de exploración se utiliza las matrices de conflictos y potencialidades (ver tabla 1), del *Foro Latino Americano de Ciencias Ambientales, FLACAM*, como herramienta metodológica para realizar un diagnóstico y valorización inter-subjetiva de las relaciones sociales, específicamente en las comunidades de la *Zona Norte*; con el propósito de identificar los problemas más relevantes y los efectos multiplicadores, propios del área de trabajo. [6]

Tabla 1: Matriz de Conflictos / Potencialidades

CONFLICTOS:
Fragmentación territorial del paisaje. La desarticulación de la relación de vecindad entre la ULA y las comunidades de la Zona Norte de Mérida.
La no definición de la vocación productiva de la territorialidad local.
Contaminación ambiental por desechos, descarga de efluente en ríos y quebradas.
POTENCIALIDADES:
Belleza paisajística

Sensación de bienestar de la comunidad
Manifestaciones socio-culturales representativa de la zona: Fiesta de la patrona: La Virgen de Santa Rosa, fiestas de San Isidro, bailes de San Benito, Paradura del Niño, Niños Gaiteros de Santa Rosa,...
Actividades recreativas: caminatas de montaña, juegos tradicionales, excursiones. Actividades académicas y deportivas de la ULA.
Organizaciones ambientales que están vinculadas con Zona Norte: Jardín Botánico, Proyecto Selva, PAMALBA, Proyecto Mérida Como Reserva de Biosfera Urbana, Mérida Ciudad Educadora, CIULAMIDE, entre otras.

Otros conceptos a trabajar son el *Territorio* y la *Vecindad*: Se entiende por *Territorio*: lugar de integración de lo social, político, económico y físico-natural, pero además, en donde la cotidianidad pueda ser el espacio para la discusión y resolución de conflictos, pues el agrado de los espacios no está solo en disfrutar los paisajes, sino en entender que somos parte de ellos y en consecuencia se interviene en colectivo. En el caso particular de Mérida, la ciudad, los ciudadanos están buscando ampliar la mirada hacia lo sensible, hacia lo parroquial, hacia lo cotidiano, hacia los centros neurálgicos de la convivencia, quebrantada por la voracidad de lo político y los momentos amorfos de cambios que vive Venezuela, que dificulta reconocer sus nuevas formas, tal vez su nueva morfogénesis.

En cuanto a la *Vecindad*: es un término que está por conceptualizarse sin embargo a lo largo de la investigación, se aborda una primera reflexión desde la definición del diccionario: “proximidad entre dos o más personas o cosas”. La *vecindad* es algo más que una valoración de la condición de proximidad, es una condición de enraizamiento social, de conjugación de vidas, no obstante, la condición de *vecindad* es uno de los principios fundamentales para el cambio y establecimiento de la sustentabilidad de lo urbano.

Por tanto, se reconoce a la *vecindad*: como instaurador de las interrelaciones sociales en un territorio e incide en la escala de la sustentabilidad del espacio, es el contexto idóneo para la gestión de esta propuesta entre la Universidad de los Andes y demás comunidades de la *Zona Norte* de la ciudad de Mérida. Cuando se mira la realidad en el marco de los conflictos, se entiende que las insatisfacciones, están tejidas con la historia social, que ha sido construida a través imposiciones, conquistas o invasiones.

4. Conclusiones

Se espera promover la solidaridad a través de acciones concretas de voluntades (proyectos), de manera personal e institucional, sensible hacia la convivencia social. El Plan de Gestión Integral de los Desechos para la Universidad de Los Andes (GIDULA), del CIULAMIDE, es un espacio estratégico para transcender la condición operativa y funcional que les son propias, profundizando hacia el cambio de hábitos, del conocimiento social y la convivencia vecinal, cómo diría Morín, “*Nuestro optimismo se funda en lo improbable*” [7]. En cuanto a los avances y procedimientos específicos de la investigación, estos se asientan en:

1. Alianzas con proyectos ambientales universitarios en la Zona Norte de Mérida.
2. Utilización de la matriz de Conflictos y Potencialidades; en el marco de la Investigación Acción, Participativa, como instrumento para la visualización y la realización de la impresión diagnóstica, en la gestión ambiental. Lo cual, ha posibilitado definir los propósitos, guiar el proceso de sensibilización y establecer los lineamientos para las negociaciones.
3. Integración de un sistema de Manejo Integral de los Desechos, en un nuevo modelo de Gestión del Territorio; promoviendo la clasificación y aprovechamiento de los desechos desde el origen o fuente de generación. De igual modo, se está iniciando la valorización

2005 de los desechos mediante el fortalecimiento de pequeñas empresas recuperadoras e investigaciones en construcciones alternativas, con materiales de desechos, bajo los principios ambientales y la autorregulación social.

Referencias bibliográficas

- [1] Pérez, A.; Rangel Mora M. *Parque Metropolitano Albarregas*. 22-06-2011.
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/27667/1/articulo11.pdf>. 2008
- [2] [http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9rida_\(Venezuela\)](http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9rida_(Venezuela)). 22-05-2011.
- [3] González Téllez, S. *Ciudad Venezolana. Una Interpretación de su Espacio y Sentido en la Convivencia Nacional*. Fundación Para La Cultura Urbana –Econoinvest, 2005, Caracas. Págs.3-71
- [4] Morín, E. *Los Sietes Saberes Necesarios A La Educación Del Futuro*. FACES/UCV, UNESCO, IESALC, CIPOST. 2000. Caracas. Pág. 67.
- [5] Runfolá, J.; Ron, Y.; Matos, F. *Diagnóstico de los Desechos Sólidos Generados en las Comunidades del Programa Agenda Plátano, para el Diseño de un Sistema Piloto de Manejo Integral en Pequeñas Comunidades*. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 2008, Castellón.
- [6] Pesci, R.; Pérez, J.; Pesci, L. *Proyectar la Sustentabilidad*. Editorial CEPA, 2007, Buenos Aires. Págs. 203 -207.
- [7] www.edgarmorin.com/LinkClick.aspx?link=LA+NUEVA, 25-05-2011

El Manejo de los residuos en una comunidad rural de México: Prácticas actuales y planes futuros

Bruce Friesen-Pankratz, Luis Gregoria Bautista, Zoilo de Jesús Meza, Saturnino García Reyes,
Adrienne Wiebe
friesenpankratz@mexico.mcc.org

Resumen

La mayoría de los estudios sobre el manejo de residuos en México tienen como enfoque las áreas urbanas. Puesto que el tamaño de la población y otros factores socioeconómicos influyen en la calidad y la cantidad de residuos, es probable que los resultados en áreas urbanas grandes no sean aplicables en áreas más pequeñas. Comunidades pequeñas y rurales como Zacango (población 256) son comunes en el municipio de Olinalá, Guerrero. En este momento la municipalidad de Olinalá no provee servicios de manejo de residuos a Zacango. Se utilizó un cuestionario abierto y cerrado sobre el tema de residuos para recoger datos de los hogares y de la escuela. Las tendencias en cuanto al manejo de residuos cambiaron hace más o menos 40 años atrás; ahora todos los hogares queman su basura, mientras antes sencillamente botaban su basura al aire libre. La mayoría (80%) de sitios de quema están dentro de 10 metros de áreas residenciales. La gente de Zacango es consciente de los riesgos que implica la quema de basura para la salud humana, no obstante, creen que en este momento no se presenta una opción más viable para el manejo de residuos. Se estima que los residentes de Zacango producen 20 litros (sin apachurrar) de residuos inorgánicos por semana, y se sabe que la mayoría guardan su basura hasta una semana antes de quemarla. Tomando en cuenta lo anterior, un programa de recogida de residuos semanalmente debe de ser factible; el hecho que la mayoría (92%) de los residentes de Zacango estarían dispuestos/as a subsidiar un programa de manejo de residuos de forma económica, podría ayudar a convencer a la municipalidad de Olinalá proveer tal servicio.

Palabras claves: *quemar, Guerrero, Olinalá, estudio, Zacango*

1. Introducción

Como es el caso de muchos países en vías de desarrollo, México lucha con el manejo de los residuos [1]. Sin embargo, el problema no tiene que ver tanto con la falta de legislación sobre el mismo [2], [3] sino la falta de aplicación de la ley, que muchas veces tiene que ver con la falta de finanzas y/o personal calificado para hacerlo; más que todo en las áreas rurales de México donde se recoge solamente entre 30-80% de los residuos y la mayoría de los hogares no hacen parte de un servicio formal para la recogida de basura [4].

Muchos hogares recurren a quemar sus residuos sólidos domésticos (RSD) por falta de otras opciones; aun cuando están conscientes de los riesgos asociados para la salud [1], [5], [6]; además, muchos de los programas de manejo de residuos sencillamente consisten en recoger la basura y luego quemarla en botaderos sin ningunos controles [4]. Si los botaderos quedan cerca a las comunidades se puede presumir que los beneficios del programa de manejo de residuos para la salud, son casi nulos en comparación con la quema de RSD por hogares particulares.

La mayoría de los estudios sobre el manejo de residuos en México tienen como enfoque las áreas urbanas [7], [8], [9]. Taboada-González et al. 2010 estudiaron áreas rurales; sin embargo, las comunidades donde llevaron acabo su trabajo todavía tenían poblaciones de 10,000 [5]. La población y otros factores socioeconómicos influyen en la calidad y la cantidad de RSD, y por ende

es posible que los resultados de comunidades rurales más grandes, no apliquen a comunidades rurales más pequeñas; además, las características también difieren de manera regional.

Comunidades pequeñas (poblaciones < 1000) son comunes en el municipio de Olinalá, Guerrero. Hasta la fecha no ha habido ningún estudio publicado sobre el manejo de RSD en ninguna de estas comunidades. El estudio de RSD que se presenta en este ensayo, tiene como enfoque la comunidad de Zacango (17°48'02.69"N; 98°46'56.86" W); un poblado pequeño (256), rural e indígena de Guerrero.

2. Descripción del sitio de estudio

La mayoría de los hogares en Zacango obtienen su sostén de la agricultura (los cultivos principales son maíz, frijól, calabaza, y chiles), y dependen también del ingreso obtenido por miembros de la familia que trabajan en los Estados Unidos de América.

Zacango es una comunidad que se preocupa por su medio ambiente: miembros de la comunidad han tomado varios pasos para ayudar a conservar su agua y su suelo; usar letrinas secas, fertilizante orgánico (composta de estiércol de burro elaborado por lombrices), y el almacenamiento de agua de lluvia en cisternas. Con regularidad la comunidad también participa en iniciativas de limpieza de sus fuentes de agua potable, y en jornadas de recolección de basura de la calle y quemándola. En este momento Zacango también está elaborando un plan de manejo de su microcuenca, en lo cual se identifica el manejo de residuos como una necesidad comunitaria que se debe tratar.

3. Metodología

Para recoger los datos se utilizó un cuestionario abierto y cerrado sobre el tema de residuos. Se visitaron las 54 casas ocupadas en el momento y las dos escuelas de la comunidad, por lo menos una vez durante el mes de enero 2011. Si no hubo alguien en la casa, el investigador regresó al día siguiente. Si el segundo día no hubo alguien en la casa, no se incluyó la casa en el estudio. Se leyeron las preguntas a cada miembro del hogar responsable por deshacerse de su RSD. Los facilitadores de información dieron sus respuestas verbalmente; el investigador las anotó y luego leyó las respuestas de nuevo para verificar su fidelidad.

4. Hallazgos y proposición

Ochenta y siete por ciento (47 de 54) de los hogares respondieron a la encuesta. No hubo nadie en casa en las siete casas que no participaron cuando el investigador hizo sus visitas. Ambas escuelas públicas respondieron a la encuesta. Los 47 hogares representan 236 personas, con un promedio de cinco personas por casa. El número de estudiantes y personal en las dos escuelas fue de 83. Más que la mitad de los facilitadores de información dijeron que ellos creen que deshacerse de los residuos domésticos es una responsabilidad individual (Tabla 1).

La mayoría (73%) de los facilitadores de información dijeron que separan su basura en componentes orgánicos e inorgánicos; las razones por las cuales separan la basura, es con el fin de poder usar la parte orgánica para una composta de lombrices, y para alimentar a sus animales, o como fertilizante para sus huertos. Otra razón por la que separan su basura, es para aumentar el potencial de quemado de la porción inorgánica.

Todos los facilitadores de información dijeron que actualmente queman su basura inorgánica; sin embargo, esto no siempre ha sido así. La mayoría de los facilitadores de información que nacieron en los años 1930 y 1940 reportaron que sencillamente tiraron su basura al aire libre cuando joven (10 años y menos) (Figura 1). Estos facilitadores de información más mayores también reportaron

que cuando joven casi no existía la basura inorgánica, y que la tendencia de quemar la basura ha incrementado a través de las décadas.

Tabla 1. Porcentaje de respuestas a la pregunta “¿Quién debe responsabilizarse para deshacerse de los residuos domésticos?”

Respuesta	Porcentaje de facilitadores de información
Hogares	55%
Comunidad	20%
Municipalidad	15%
Hogares y Comunidad	4%
Hogares y Municipalidad	2%
Comunidad y Municipalidad	2%
Hogares, Comunidad y Municipalidad	2%

Setenta y nueve por ciento de los facilitadores de información en los hogares queman su basura cerca (dentro de 10 metros) de su casa, mientras que solo 21% queman su basura lejos (a una distancia mayor a 10 metros) de su casa. Ambas escuelas públicas queman su basura en el predio de la escuela y cerca (dentro de 10 metros) de las aulas. La mayoría de los facilitadores de información queman su basura una vez por semana (Tabla 2).

La mayoría de los facilitadores de información reportaron que producen un promedio de 20 litros de basura inorgánica semanalmente (Tabla 3). Más que la mitad (51%) de los facilitadores de información también reportaron que actualmente producen la misma cantidad de basura que durante el año anterior. Veintisiete por ciento de los facilitadores de información reportaron que producen más basura ahora que durante el año anterior. Dos razones que dieron tuvieron que ver con la apertura de una nueva tiendita dentro de la casa, y la llegada de un bebé y el uso concomitante de pañales desechables. Veintidós por ciento de los facilitadores de información reportaron que producen menos basura que durante el año anterior y dieron la razón que algunos miembros de la familia usan menos pañales desechables ahora que antes.

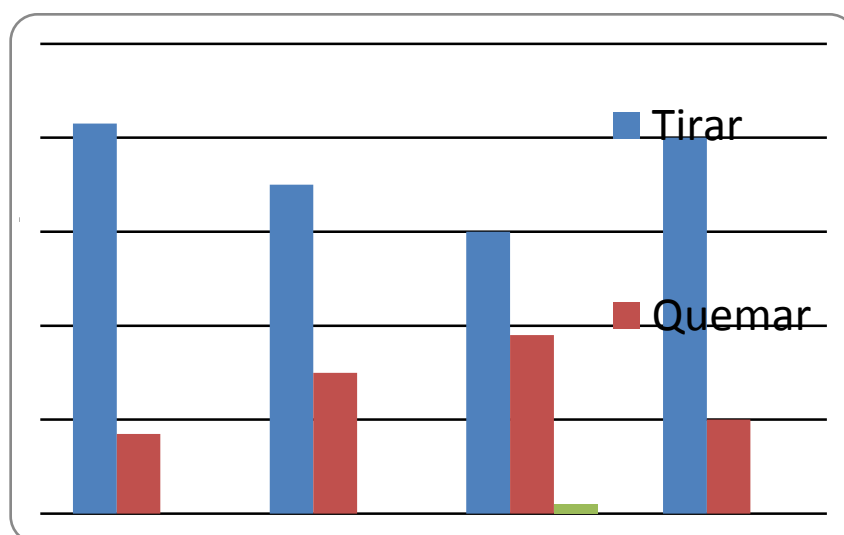


Figura 1. Porcentaje de respuestas a la pregunta “¿Cómo se deshicieron de la basura inorgánica cuando tenía 10 años o menos?” La respuesta “Tirar” indica que sencillamente se tiraba la basura. La respuesta “Quemar” indica que el hogar quemaba su basura. La respuesta “Recogida de Residuos” indica que se usó un programa formal de recogida de residuos. Los dos facilitadores de información que indicaron “Recogida de Residuos” no vivieron en Zacango cuando tenían 10 años o menos.

Tabla 2, Porcentaje de respuestas a la pregunta “¿Cada cuánto queman su basura?”

Respuesta	Porcentaje de facilitadores de información
A diario	8%
Una vez por semana	55%
Dos veces por semana	29%
Tres veces por semana	4%
Cada dos semanas	2%
No se sabe	2%

Solo dos facilitadores de información indicaron que no creen que quemar la basura dentro de la comunidad constituye un riesgo para la salud humana; muchos idearon que el humo de las quemas de basura podrían provocar problemas respiratorios, no obstante, no se mencionó otros riesgos relacionados con la salud. Algunos facilitadores de información indicaron que siguen quemando la basura, a pesar de los riesgos conocidos relacionados con la salud porque no existe un programa de manejo de residuos en Zacango. Solo tres facilitadores de información reportaron que sus hogares no estarían dispuestos a pagar por un programa de manejo de residuos; la mayoría indicaron que estarían dispuestos a pagar hasta cinco pesos mensuales para un programa de manejo de residuos.

Tabla 3, Porcentaje de respuestas a la pregunta “¿Cuántas cubetas de 20 litros*se llenan de basura inorgánica semanalmente?” *La cubeta de 20 litros es el recipiente estándar para basura en Zacango

Respuesta	Porcentaje de facilitadores de información
Menos que una cubeta	6%
Entre una y dos cubetas	63%
Entre tres y cuatro cubetas	23%
Entre cinco y seis cubetas	6%
No se sabe	2%

Tomando en cuenta el volumen relativamente pequeño de RSD que los miembros de la comunidad de Zacango producen (20 litros semanalmente) y la frecuencia con la cual lo queman, es factible considerar un programa de manejo de residuos que consiste de una recogida semanal de residuos. Además, muchos de los residentes de Zacango están acostumbrados a separar y usar la porción orgánica de su RSD, y se tendría que continuar esta práctica para asegurar que se mantengan los volúmenes de RSD bajos, y permitir una recogida semanal de residuos que sea accesible. El hecho de que la mayoría de los residentes están dispuestos a contribuir económicamente a un programa de manejo de residuos también indica que se podría iniciar este clase de programa; sin embargo, a través de una conversación con un servicio local de flete, se estima que el costo mensual para un programa de manejo de residuos en Zacango (que consiste de una recogida formal semanal de residuos) será de \$560 pesos mexicanos, lo cual implica que cada hogar tendrá que pagar \$93 pesos por mes; esto excede bastante en lo que los miembros de la comunidad indicaron que están dispuestos a pagar.

Puesto que el manejo de residuos en México compete a las municipalidades, parece razonable que la comunidad de Zacango solicite apoyo del gobierno municipal. Las dos posibles razones porque el gobierno municipal actualmente no maneja los residuos de Zacango podrían ser: en primer lugar, raras veces en México éstas tienen las finanzas o personal para cumplir con la ley en este campo en áreas rurales [5]; en segundo lugar, los miembros de Zacango no consideran que deshacerse de los residuos es una responsabilidad municipal (Tabla 1), a lo mejor porque miembros de la comunidad siempre han tomado responsabilidad por el manejo de sus residuos. Tal percepción debe de ser provechoso para el gobierno municipal, puesto que sin duda reduce el número de peticiones de comunidades rurales para tener programas de manejo de residuos.

Una posible solución para la situación antes mencionada, podría ser una asociación entre la comunidad y la municipalidad en lo cual la comunidad desarrolla un plan para su propio manejo de residuos, pero con los gastos compartidos entre la comunidad y la municipalidad.

5. Conclusiones

Muchos gobiernos municipales en México todavía practican y promueven un enfoque muy condescendiente de arriba hacia abajo en cuanto al desarrollo rural (básicamente repartiendo dádivas), y así subestiman el valor del recurso humano en las comunidades rurales. Los hallazgos de éste estudio con los miembros de la comunidad de Zacango, muestran que ellos comprenden su producción de RSD y los riesgos relacionados con la salud. La comunidad también ha mostrado que se puede organizar de manera autónoma para realizar sus planes de mejora en su medio ambiente, como por ejemplo, las jornadas de limpieza en la comunidad.

Las comunidades rurales que carecen de un programa de manejo de residuos, como Zacango, deben de presentar datos sobre su generación semanal de residuos, junto con un plan para trabajar con la municipalidad para alcanzar un programa de manejo de residuos. A través de un programa en conjunto, la comunidad y la municipalidad podrían superar las limitaciones de recursos financieros y humanos, que podrían impedir la realización de programas rurales de manejo de residuos en este momento.

Referencias Bibliográficas

- [1] Buenrostro, O. and Bocco, G. 2003. Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives. *Resources, Conservation and Recycling* 39:251-263.
- [2] SEMARNAP (Secretaría de Recursos Naturales Medio ambiente y Pesca). 1999. Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos, Dirección general de materiales, residuos y actividades riesgosas. Instituto Nacional de Ecología.
- [3] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2001. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de gestión para la protección ambiental, Dirección de manejo integral de contaminantes.
- [4] Maldonado 2006, L. 2006. The economics of urban solid waste reduction in educational institutions in Mexico: A 3-year experience. *Resources, Conservation and Recycling*. 48: 41-55.
- [5] Taboada-González, P., Armijo-de-Vega, C., Aguilar-Virgen, Q. and Ojeda-Benítez, S. 2010. Household solid waste characteristics and management in rural communities. *The Open Waste Management Journal*. 3:167-173.
- [6] Israel, P. 2007. People's awareness on effects of open burning of household waste in Kinondoni Municipality, Dar-es-Salaam. *Dar-es-Salaam Medical Student's Journal*. Official publication of the Tanzania Medical Student's Association. 15(1): 19-22.
- [7] Ojeda-Benítez, S., Vega, C.A.D., and Ramírez-Barreto, M.E. 2003. Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city. *Resources, Conservation and Recycling*. 39: 211-222.
- [8] Gómez, G., Meneses, M., Ballinas, L. and Castells, F. 2008. Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico. *Waste Management* 28: 2465-2471.

Condiciones socioeconómicas y psicosociales de los habitantes del botadero La Concepción en el municipio de Soledad-Atlántico-Colombia

Camilo Madariaga Orozco, Nury Logreira Diazgranados, Augusto Sisa Camargo, Sandra Quintero Gonzales
cmadaria@uninorte.edu.co

Resumen

El municipio de Soledad en el departamento del Atlántico, (Colombia) ha sufrido un crecimiento incontrolado, el cual se ve reflejado en el aumento de la población de bajos ingresos. Por causa de esta situación personas que no han tenido oportunidad de una formación laboral, se dedicaron a la recolección y reciclaje de los residuos domiciliarios durante más de treinta años. Su falta de conocimiento y control por parte de la autoridad ambiental, los llevo a utilizar sitios inadecuados para las labores de separación, aprovechamiento y disposición de residuos, generando numerosos botaderos a cielo abierto en el municipio. En el año de 2005, a nivel nacional y local se realizó un esfuerzo por erradicar los botaderos a cielo abierto, generando malestar en la población recicladora y recolectora la quienes se vieron afectados en su contexto social y económico. El botadero la “La Concepción”, por sus condiciones de uso, ubicación y dinámica social, presenta características especiales para las acciones de clausura. Ante esta situación y con el propósito de implementar estrategias de tipo integral para el manejo del problema, se realizó un estudio para identificar las características socioeconómicas y psicosociales de población involucrada para determinar posibles soluciones a la problemática, especificado en este estudio las variables relacionadas con sus condiciones socioeconómicas, de salud, características del núcleo familiar, acceso a servicios públicos, redes sociales, bienestar psicológico, estrategias de afrontamiento y otras. El estudio es de carácter descriptivo y las técnicas utilizadas son de corte cualitativo lo que se constituyó en una fuente valiosa de información que permitió enmarcar y contextualizar las observaciones y los datos arrojados por fuentes secundarias.

456

Palabras Clave: *afrontamiento familiar, bienestar, estudio socioeconómico, recicladores, redes sociales*

1. Introducción

El presente documento es el producto del proceso investigativo realizado por el equipo en el Barrio La Concepción del municipio de Soledad teniendo como marco de referencia los fundamentos de la investigación- acción –participación.

Debido al carácter del proyecto se hizo necesario trabajar directamente con la comunidad del barrio La Concepción que pertenecen al área de influencia del proyecto, quienes, valoraron la situación frente al tema del vertedero y las basuras, suministraron la información referente al contexto y describieron sus problemáticas sociales.

Fundamentados en la idea que todo proceso investigativo con comunidades vulnerables tiene como objetivo la participación del componente social, esta investigación se realizó bajo la óptica de conocer y analizar la realidad de esta comunidad con quienes la padecen: los actores, teniendo en cuenta los problemas y los efectos de los cambios ocasionados a lo largo del tiempo, en una búsqueda constante de la integración entre el conocimiento científico y popular para formar un conocimiento preciso y relevante de los hechos y de los procesos concretos.

2. Los Vertederos

Los recientes estudios medioambientales en América Latina, han puesto de manifiesto la precaria situación en la que viven determinados núcleos de población cercanos a vertederos y escombreras. La disposición inadecuada de residuos produce consecuencias dañinas tanto para el medio urbano circundante como para la cuenca hidrográfica en su totalidad. Además del mal olor y la proliferación de insectos y roedores transmisores de enfermedades, y la producción de gases, el paisaje se descaracteriza por completo con la pérdida de la vegetación original. Los vertederos son áreas sin ningún estudio geoambiental y prácticamente sin ninguna acción preventiva para minimizar los posibles impactos ambientales y sociales. La recuperación de estas áreas implica un conjunto de acciones que deben tomarse, planearse y ejecutarse para que el lugar brinde unas condiciones de seguridad, sanitarias y de controles ambientales satisfactorios, así como para reintroducir de la flora, original o no. Mientras tanto, para una toma de decisiones correcta, es importante que el lugar sea caracterizado adecuadamente, con un levantamiento de los principales agentes contaminantes para el hombre y para el ambiente [1].

Los datos existentes demuestran que, en Colombia, el 56 por ciento de los centros urbanos disponen de las basuras en botaderos a cielo abierto y el 5 por ciento los arrojan a los ríos. Estas y otras conclusiones igualmente preocupantes son el resultado de una investigación adelantada por el ente de control a partir de una muestra representativa de 194 municipios en los cuales habita el 60 por ciento de la población nacional. No obstante que la mayor parte de municipios que presentan este dramático cuadro cuentan con menos de 20.000 habitantes, resulta insólito que 13 centros urbanos con más de 50.000 habitantes y 6 con más de 100.000 operen sus botaderos a cielo abierto. Y como si esto fuera poco, la casi totalidad de los denominados rellenos sanitarios presentan graves deficiencias técnicas en su diseño técnico y operación.

457

En general, la mayoría de los sitios existentes para disposición de desechos han padecido de falta de evaluaciones técnicas para su ubicación y diseño, carecen de mediciones certeras del impacto ambiental y los registros de sus actividades operativas son superficiales. O sea que estos rellenos no cumplen su función sanitaria por lo cual es más correcto denominarlos como "botaderos que no están a cielo abierto". Simplemente la basura se está haciendo invisible a los ciudadanos sin que ellos sean conscientes de los diversos problemas de contaminación de los suelos, las aguas y el aire generados por su inadecuada disposición, con sus consecuentes impactos para la salud de la población. Incluso frente a la existencia de los rellenos sanitarios con alguna infraestructura y sistema operativo existentes en el país, se mantienen dudas sobre su comportamiento ambiental y la medición de sus impactos a nivel de emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación de acuíferos subterráneos, generación de olores ofensivos, vectores, estabilidad de las celdas de confinación, etc.

3. Diseño Metodológico

El estudio está dentro de la investigación participativa, la cual busca la comprensión de la realidad para la acción y no sólo el conocimiento por el conocimiento permitiendo una aproximación a la realidad tal como es, desde la comunidad que la vive y no desde la concepción del investigador ya que abre el camino para la solución de los problemas identificados en forma organizada. ([7], Pág. 73). En esta investigación se trabajó con grupos de amas de casa, recicladores, grupos organizados, ganaderos organizados y no organizados, organizaciones de la sociedad civil del municipio, de ambos sexos y de diferentes edades de la zona de interés del proyecto. También se obtuvo información de actores institucionales como el Edumas y la empresa privada. La elección de las familias fue de manera aleatoria y dependió de las causas relacionadas con los objetivos del estudio, del esquema de la investigación y de la contribución que el estudio propendía hacer.

4. Resultados

4.1 Aspectos socioeconómicos

La realidad de la vida cotidiana es una construcción intersubjetiva, un mundo compartido, lo que presupone procesos de interacción y comunicación mediante los cuales comparto con los otros y experimento a los otros. Es una realidad que se expresa como mundo dado, naturalizado, por referirse a un mundo que es "común a muchos hombres" [5]. En esa interacción persona-contexto o mundo se entretajan innumerables vivencias que de la mano con la cultura van formando un conocimiento comunitario de gran valor.

El conocimiento circula como evidencia anónima, independiente de los hombres y las situaciones que lo crearon, es conocimiento o más bien realidad dada y por tanto posibilidad de existencia y reproducción de la vida cotidiana. "El hombre, a diferencia de otras especies, establece una relación de apertura con su ambiente natural y humano, lo que hace que el ser humano, después de su nacimiento, continúe su proceso de desarrollo biológico en interrelaciones no sólo con un ambiente natural, sino también con un orden cultural y social específico" [5]. Pero ese orden social es una construcción constante del hombre; no se da el ambiente natural, ni deriva de datos biológicos, no forma parte de la naturaleza de las cosas; existe solamente como producto de la actividad humana y el ser humano se considera siempre en una esfera de externalidad activa.

Partiendo de externalidad activa, producto de su evolución social como ser humano, se hace un análisis de la realidad social integral, presente en el área de influencia del proyecto de recuperación del vertedero, partiendo de la ubicación de los pobladores, de los cambios ocurridos a través del tiempo, las satisfacciones generadas por vivir en esas comunidades, las características de las viviendas, la educación, recreación, salud, los aspectos socio-económicos y los aspectos socio-políticos que a diario nutren la experiencia individual y a su vez la comunidad.

4.2 Características de las redes

La red social hace referencia al conjunto de relaciones interpersonales que poseen los miembros del sistema social al que pertenecen y en los diversos contextos en que se desenvuelven, como son el espacio de relaciones con parientes, amigos, la comunidad y compañeros de trabajo, y por supuesto la familia. En el sistema de redes sociales se acude en búsqueda de apoyo y consejo para enfrentar y resolver las diferentes situaciones de crisis y tensión familiar propias de su diario vivir. Conocer la red social permite tener un mayor acercamiento a las estrategias de afrontamiento de tipo externo, empleadas por los pobladores del Vertedero para el afrontamiento y resolución de las situaciones de estrés y tensión. La red social también puede ser utilizada para medir el capital social, es decir, el valor que un individuo obtiene de los recursos accesibles a través de su red social.

Con el conocimiento de las redes sociales se pueden identificar los diferentes contextos a los que se dirige los pobladores y sus familias para obtener recursos que permitan minimizar el impacto generado por la presencia de eventos estresores en el sistema social en el que están inmersos y en esa medida, ampliar la información acerca de las estrategias para diseñar y desarrollar del plan de reubicación, cuando este se implemente.

En el vertedero con respecto al tamaño de estas redes sociales se encontró que el promedio de relaciones que mantienen los miembros de cada sistema familiar, no supera las 35 relaciones. Esto no indica que mantienen es un promedio bajo teniendo en cuenta que el promedio mínimo de relaciones que debe manejar una persona para que su red sea efectiva es de 60 relaciones. Lo anterior, deja en evidencia el bajo nivel de permeabilidad de estos sistemas, en donde probablemente se restringe el flujo de entrada y salida de información del sistema familiar, con el fin de proteger a sus miembros de las influencias del medio externo, al tiempo que limita las

posibilidades de ampliar las interacciones y los procesos de socialización en cada uno de los contextos en que se desenvuelven.

4.3 Estrategias de afrontamiento

Las estrategias de afrontamiento empleadas por los miembros del sistema familiar, determinan en gran medida los patrones de acción y los recursos que moviliza la familia como totalidad, al momento de enfrentar las crisis y eventos estresores que surgen en su diario vivir, respondiendo así al principio de no sumatividad que caracteriza a las familias desde el punto de vista de la teoría sistémica, según el cual, el todo es mayor y diferente a la suma de sus partes, por lo cual la familia no puede ser descrita simplemente por la adición de los rasgos de sus miembros individuales; la organización familiar y los procesos interaccionales implican un interjuego de la conducta de sus integrantes, de modo que lo que se enfoca en la observación del funcionamiento del sistema familiar son sobre todo los patrones de conexión, y no sólo el desempeño individual. Se observó que las familias del Vertedero, presentaron las siguientes estrategias de afrontamiento, como las más representativas del grupo: Movilización familiar, Evaluación pasiva, Orientación de apoyo social, Búsqueda de apoyo espiritual y Reestructuración

A partir de estos resultados podríamos afirmar que estas personas enfrentan sus dificultades buscando principalmente el apoyo emocional y espiritual de los demás y en esencia, los resultados evidencian estas familias emplean en mayor medida estrategias de tipo interno para afrontar situaciones estresantes, debido posiblemente a que esta población presenta un menor grado de escolaridad y las crisis propias de estas personas por su situación de carencia.

4.4 Sentido de Bienestar

Para la sociedad en general, el bienestar de una persona o de un grupo de personas tiene que ver con la tranquilidad, paz interior y satisfacción propia en todas las dimensiones de la vida. Sin embargo, el contexto social que envuelve al término bienestar reúne un cúmulo de experiencias significativas para los actores que las viven, siendo estos lo más apropiados para describir lo que realmente es el bienestar.

Aunque la idea de rescatar una perspectiva social del Bienestar es muy nueva, se puede entender entonces como la valoración que hacen los individuos de las circunstancias y el funcionamiento dentro de la sociedad. (Keyes, 1998, p. 122. Citado en [2]. p. 5.). El contexto social que rodea a la comunidad de La Concepción, es un contexto a la vista tranquilo. La actualización social, como una de las dimensiones del bienestar social describe “el sentimiento de confianza frente al rumbo de la sociedad, es pensar que ésta se dirige hacia un futuro prometedor de crecimiento y desarrollo.” (Keyes 1998, Citado en [2])

Sin embargo, las situaciones de la cotidianidad influyen el pensar y el vivir de la comunidad, fortaleciendo o debilitando sus relaciones y la visión futura en comunidad. Debido a esto muchos de los pobladores piensan que “para esta sociedad en la que vivimos el progreso no existe”. El 30.7% de las mujeres y el 42.9% de los hombres opinan que el progreso no existe. Atribuyen esto a injusticias y desigualdades sociales, guerras, corrupción, entre otras. Plantean que quizá el estilo de vida que han optado seguir no es más que producto de esa falta de progreso, ya que existen en la sociedad personas que tuvieron mayores oportunidades que ellos de salir adelante y progresar. Manifiestan que si el progreso existiera, todos estarían en igualdad de condiciones para vivir y triunfar. De igual modo asocian el bienestar con calidad de vida, afirmando que poseen calidad de vida pero que ésta puede mejorar.

Por otra parte, al percibirse con sus necesidades básicas satisfechas, el sentido de vida en sociedad adquiere un gran significado para las personas. La contribución social, como dimensión del bienestar social, es el resultado de las experiencias que a diario tienen como comunidad. El aporte

intelectual, psicológico y emocional que pueda brindar cada miembro a su propia comunidad, y la manera cómo éste sea retribuido por la misma, representa un intercambio de valores e intereses claves para el bienestar de la comunidad. Así en el vertedero el 84% de las mujeres se perciben como parte importante de la comunidad. Consideran que ser las cuidadoras del hogar, que velan porque las familias procuren una unión y una vida estable, hace que se perciban como personas claves e indispensables para las familias y por ende para la comunidad. Por su parte el 92.9% de los hombres se perciben como útiles e importantes para su comunidad. Considerarse proveedores del dinero y los ingresos del hogar, hace que se consideren indispensables e importantes para la su comunidad.

5. Conclusiones

En general se encontró bastante receptividad de parte de los pobladores al estudio y al proceso de intervención investigativa. Esta actitud es importante rescatarla y realizarle su respectivo seguimiento, pues se podría aprovechar en el proceso de reubicación y mejoramiento de la zona, ya que existe una alta disposición de los pobladores para desempeñar roles y cumplir tareas dentro del proceso, que serían garante de aceptación y éxito del proyecto.

Es importante tener en cuenta que el abordaje a las inquietudes y/o necesidades de la comunidad se mantuvo un carácter interdisciplinario, pues en el proceso de levantamiento de la información surgieron muchas preguntas de carácter técnico que fueron respondidas por aquellos que estaban capacitados sobre ese conocimiento científico y tenían la información precisa, intentando, siempre no suministrar información errada o confusa.

Al realizar la socialización de los resultados obtenidos en el estudio, la comunidad expresó aquellas necesidades, inquietudes y expectativas que percibían del estudio de clausura y restauración del vertedero La Concepción. Tales ideas van dirigidas a la posibilidad de mejorar sus condiciones de vida en los aspectos sociales, familiares, laborales y personales. Las familias destacan que contemplan una vida futura con mayores oportunidades para salir adelante y así garantizar unas condiciones de vida óptimas. La comunidad es consciente que en el estado actual en el que se encuentra el barrio, es muy difícil de progresar y que sus hijos y nietos tengan un futuro prometedor.

Al indagar sobre posibles soluciones para optimizar sus condiciones de vida, la comunidad contemplan tres posibilidades. Sin destacar preferencia por alguna de ellas, la primera de estas posibilidades corresponde a la optimización, “cotización” y mejoramiento de las 100 viviendas que aproximadamente hay en el barrio y que actualmente ocupan los habitantes. Líderes comunitarios se tomaron la tarea de investigar si la zona donde viven representa una zona de riesgo para las familias. Luego de encontrar resultados positivos y, teniendo en cuenta que la basura que antes existía fue eliminada de la zona por el gobierno, afirman que el estado actual de esta zona les puede garantizar unas condiciones de vida adecuadas para subsistir.

Como segunda posibilidad vislumbran la idea que el gobierno les compre sus viviendas, para que luego con el dinero recibido puedan comprar en otro lugar una vivienda sencilla o parcela que sea de menor valor que el recibido y no les represente mucha inversión, de tal manera que el dinero sobrante puedan alimentarse e invertirlo en negocios particulares.

Como tercera y última opción piensan en una reubicación si y solo si bajo ciertas condiciones. Las familias manifiestan que para que exista una reubicación, el estado debe tener en cuenta las necesidades, costumbres, tradiciones y cultura que estas familias han formado con el interactuar cotidiano. Piden que el gobierno tenga en cuenta las percepciones, expectativas, proyectos e ideas que la comunidad tenga en torno al tema y que garanticen una subsistencia de por vida. Argumentan que para poder darse una reubicación, el gobierno tendría que ofrecer una fuente de trabajo segura que les permitan obtener el alimento diario.

Finalmente es importante aclarar que la comunidad se siente defraudada por parte del gobierno municipal actual, aunque esta situación se ha repetido con la mayoría de las administraciones anteriores, afirman que muy poco creen en la palabra y las acciones del gobierno. Partiendo de estas experiencias previas, aseguran que prefieren que la alternativa de solución más viable sea ejecutada en lo posible por la empresa privada, o que ésta sea la interventora, ya que sienten que solo así se sentirían seguros, además que el gobierno podrá contar con la total colaboración de la comunidad.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bisordi, M. S. 1999. *Encerramento e projetos de recuperação ambiental de aterros sanitários*. Em: Seminário sobre Resíduos Sólidos São Paulo: ABGE
- [2] Blanco, A., y Díaz, D. (2005). *El bienestar social: su concepto y medición*. *Psicothema*, 17, 580-587.
- [3] Campos, E. (2006). *Los grupos en la vida cotidiana*. Revista de la facultad, 12, pag 113-122
- [4] Chávez, J. (2003) *La participación social: retos y perspectivas*. México: Plaza y Valdés Escuela Nacional de Trabajo Social.
- [5] Cordero, A. & Garcia, F. (2007) Equipos de trabajo: forma organizativa de la economía basada en el conocimiento. Consultado en marzo 2010 en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/510/51002002.pdf>
- [6] García, M. (2002) *Desde el Concepto de Felicidad al abordaje de las variables implicadas en el Bienestar Subjetivo: un análisis conceptual*. Revista Digital, Año 8, N° 48, pp 652-660
- [7] Marciales, L; Pubiano. (1984) *Introducción al trabajo comunitario*. Universidad Santo Tomas. Ediciones Usta. Santa fé de Bogota. Pág. 73.

Gestión para el manejo de residuos sólidos urbanos en Xico, Veracruz

Héctor V. Narave Flores, Leticia Garibay Pardo, María de los Ángeles Chamorro Zárate,
Francisco Martínez Tlapa
hnarave@uv.mx .

Resumen

Con la finalidad de atender el problema generado por el incremento en la generación de basura registrado en los últimos años en el municipio de Xico, Veracruz, la actual administración está implementando un proyecto de gestión para el manejo de residuos sólidos urbanos en coordinación con la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana. El proyecto está conformado por varias etapas; en este documento se describe la correspondiente al proceso de sensibilización de la población, para lo cual se están aplicando talleres de Educación Ambiental para promover la separación de residuos sólidos, los cuales son dirigidos a directores, profesores y estudiantes de educación básica, y son impartidos por profesores y estudiantes de la Facultad de Biología. Posteriormente se llevará a cabo difusión de la importancia de la separación de residuos sólidos a amplios sectores de la población para promover su participación en estas acciones. Al separar los residuos sólidos urbanos se tiene planeado recuperar los residuos orgánicos para canalizarlos a una planta de lombricomposta, así como materiales reciclables (papel, cartón, pet), y con ello disminuir en un 60% aproximadamente el volumen de basura a depositar en el relleno sanitario. Para estas actividades es imprescindible la colaboración entre las autoridades municipales, las instituciones educativas y la sociedad en general. A través del seguimiento de este proceso por parte de académicos de la Facultad de Biología, se espera generar información para que esta experiencia pueda replicarse en municipios con características similares a Xico, Veracruz.

Palabras clave: *basura, educación ambiental, participación*

1. Introducción

Los problemas ambientales son todas aquellas alteraciones del medio ambiente provocadas por procesos naturales o actividades antrópicas que están íntimamente relacionadas con los problemas sociales, económicos y para atenderlos se requiere aplicar un enfoque integral.

En los últimos años, los problemas ambientales se han incrementado considerablemente, por varias causas, tales como el aumento en las demandas de la sociedad, falta de información ambiental, modelos de desarrollo inadecuados, falta de valoración del impacto de las actividades humanas en el medio ambiente, desarticulación entre dependencias y sociedad, falta de aplicación de la legislación ambiental, entre otros.

Actualmente, en todos los municipios de la entidad veracruzana se perciben problemas ambientales relacionados con pérdida de la biodiversidad, contaminación de agua, suelo, aire, disminución de mantos acuíferos, cambios de uso del suelo, deforestación, aumento en la generación de basura, etc. Cabe destacar que estos problemas tienen una estrecha relación con aspectos económicos y sociales, por ello, para atenderlos y contribuir a solucionarlos, es necesario analizar las causas que los originan, las oportunidades de intervención, bajo un enfoque integral y establecer compromisos de colaboración entre los diferentes sectores de la población.

Respecto al problema de la basura, como lo menciona Puig en Novo [1], actualmente una tarea fundamental es detener e invertir la tendencia de aumento en su generación, tanto en volumen como en riesgos y daños al ambiente. Para esto, se recomienda emprender una estrategia de gestión de residuos para reciclarlos y reutilizarlos, en la cual es necesario incluir aspectos relacionados con investigación, optimización de la recolección y separación, reducción de costos y apertura de mercados.

En el municipio de Xico, en el estado de Veracruz, existe la iniciativa por parte de la autoridad municipal de atender el problema generado por la basura, a través de la implementación de un proyecto de gestión para el manejo de residuos sólidos urbanos, en el cual participen los diferentes sectores de la sociedad, pues se reconoce que para atender el problema de la basura se requiere de la participación conjunta de autoridades e integrantes de todos los sectores de la sociedad.

Por esta razón, en el marco de un Convenio realizado entre la Universidad Veracruzana y el Ayuntamiento, se ha establecido una colaboración con la Facultad de Biología, para definir acciones que contribuyan a sensibilizar a la población para separar los residuos sólidos urbanos. Esta colaboración surge de los trabajos realizados por académicos y estudiantes de esta entidad en proyectos de Educación Ambiental, así como de la experiencia adquirida a través del proyecto institucional de separación de residuos sólidos RESU-Biología-Xalapa [2]; llevadas a cabo por el Cuerpo Académico Investigación y Educación para el Desarrollo Sustentable.

Sin duda alguna, como parte del proyecto de gestión para el manejo de residuos sólidos, es necesario aplicar estrategias de Educación Ambiental, pues a través de estas es posible promover la participación activa de la sociedad para contribuir en la solución de algunos problemas ambientales, como es el caso de la basura, cuya atención requiere la participación de todos los sectores de la sociedad para separar los residuos sólidos y con ello disminuir los volúmenes de basura a depositar en el relleno sanitario y el excesivo gasto económico que esta práctica genera al municipio.

El objetivo de este trabajo es iniciar el proceso de sensibilización de la población para promover su participación y contribuir a solucionar el problema de la basura; a través de esta primera etapa se ha aplicado una estrategia de Educación Ambiental para informar y sensibilizar a directores, profesores, intendentes, personal de apoyo y alumnos de primaria para separar los residuos sólidos generados en las escuelas de Xico, destacando que su participación individual y colectiva en este proyecto es fundamental.

2. Desarrollo

Como parte de la estrategia, en un primer momento se llevó a cabo una reunión con el alcalde en la que se definieron los alcances del proyecto, los actores clave para participar y las acciones a seguir. En una segunda reunión se convocó al cabildo, representantes de distintos sectores sociales y directores de escuelas de educación básica del municipio, además, participaron académicos de la Facultad de Biología, quienes en conjunto con los representantes locales establecieron un compromiso de trabajo para implementar el proyecto de gestión para el manejo de residuos sólidos.

Posteriormente, se impartió el taller de sensibilización a profesores, directores, intendentes y personal de apoyo de 11 escuelas primarias y una escuela telesecundaria de Xico, para abordar temas relacionados con problemas ambientales, acciones para atenderlos e importancia de la participación individual y colectiva de todos los integrantes del sector educativo.

Durante la sesión, se aplicó un cuestionario para conocer la opinión de los asistentes sobre la basura, identificación de residuos orgánicos e inorgánicos e interés por participar en un proyecto de manejo de residuos sólidos urbanos; asimismo, en el marco de colaboración entre la Universidad Veracruzana y el ayuntamiento, se definió la participación que tendrían los estudiantes de la

Facultad para impartir los talleres de sensibilización e iniciar en las escuelas las actividades de separación de residuos sólidos.

Es importante destacar que para integrar un diagnóstico participativo, a través del cuestionario se incluyeron variables que permitirían obtener información sobre tres aspectos básicos del conocimiento que tiene la población sobre el tema: a) su opinión sobre considerar la basura como un problema, b) la identificación de residuos orgánicos e inorgánicos, c) su interés por participar en el proyecto de manejo de residuos sólidos.

Simultáneamente, como parte de la implementación del proyecto, se asesoró a estudiantes de la Experiencia Educativa Protección de la Biodiversidad de la Facultad de Biología, para el diseño y aplicación de los talleres sobre basura y separación de residuos sólidos, dirigidos a estudiantes de primaria. Cada taller se diseñó para desarrollarse en 40 minutos, en el primero el objetivo estuvo orientado a identificar la problemática de la basura; en el segundo taller el objetivo fue presentar las características de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos y dar las instrucciones para separarlos en el aula en tres recipientes, orgánicos, reciclables y no reciclables.

3. Resultados

Como parte de la primera etapa del proyecto de gestión para el manejo de residuos sólidos en Xico, Veracruz, se impartió el taller de sensibilización a directores, profesores, intendentes y personal de apoyo de escuelas de educación básica. Posteriormente se impartieron talleres a estudiantes de primaria.

3.1 Taller de sensibilización con directores, profesores e intendentes de escuelas de educación básica

El 4 de marzo del 2011 se llevó a cabo el taller de sensibilización con directores, profesores, intendentes y personal de apoyo de 11 escuelas primarias y una escuela telesecundaria de Xico, para reflexionar sobre el problema generado por la basura y las estrategias a realizar en coordinación con las autoridades municipales. En este participaron nueve directores, cuatro subdirectores, 104 profesores, 25 intendentes, seis integrantes del personal de apoyo pedagógico de las escuelas primarias: Adolfo L. Sosa, Álvaro Obregón, R. Coronel, Rafael Delgado, María Enriqueta, Emilio Dauzón, Melchor Ocampo (matutina), Melchor Ocampo (vespertina), Miguel Hidalgo, Benito Juárez y telesecundaria El Pípila.

El análisis de los resultados del cuestionario indica que el 88 % de los participantes considera a la basura como un problema. Entre los principales comentarios que señalan están los siguientes: *“por el consumismo la basura se genera a un ritmo acelerado; los espacios para depositarla están saturados; daña y deteriora los ecosistemas; puede constituir focos de infección y con ello enfermedades; provoca contaminación, produce mal aspecto, huele mal; es un problema económico, político y social; cuando no la recogen, se acumula; no se clasifica pues no hay cultura de separación y reciclaje y por ello no hay buen manejo de la basura ni dentro ni fuera de la escuela, no todos los niños la depositan en los botes, la tiran en el patio y cancha, para la solución de este problema debe participar toda la comunidad”*.

El 12% restante, no considera a la basura como un problema si se maneja adecuadamente, pues *“en algunas escuelas el manejo de la basura está bien controlado, en otras hay suficientes intendentes”*.

Al preguntar si les gustaría participar en un programa de separación de residuos sólidos en sus escuelas, al 96% respondió que sí porque: *“se debe frenar la contaminación, debe formarse una cultura en los niños sobre el manejo de residuos sólidos, contribuir en la formación de una cultura de valores para el cuidado y preservación del medio ambiente; fomentar conciencia y cambio de*

actitud respecto al tema, así como el hábito de separar los residuos sólidos, para reducir el volumen de basura generado; es urgente y necesario para cuidar el medio ambiente, es bienestar para la comunidad y el medio ambiente y esto sería una inversión para el Ayuntamiento. Por lo que es necesario arrancar un programa, siempre y cuando se den las herramientas y se apoye correctamente su proceso, sería un magnífico trabajo de todos, colaborar para el bienestar, implementar la cultura de la separación en los alumnos, porque es una forma de reducir el volumen de basura y aprovechar aquella que puede ser útil, contribuye a evitar la contaminación y es necesario que todas las personas participemos”.

El otro 4% de los encuestados mencionó que no le interesa participar porque no dispone de tiempo.

Finalmente, al preguntar sobre la información que tienen sobre los residuos sólidos, el 94% mencionó que si identifica a los residuos orgánicos, así como a los inorgánicos. Sin embargo, el 6% no puede diferenciarlos.

3.2 Talleres en escuelas primarias

Se aplicaron los talleres en 10 escuelas primarias del primero de abril al 30 de mayo de este año y participaron en la actividad 16 estudiantes de la Facultad de Biología-Xalapa y fueron 90 sesiones en total en la que abordaron la separación de la basura en residuos orgánicos, no reciclables y reciclables o recuperables y la razón por qué llevarla a cabo por la problemática que presenta.

El taller referente a la problemática de la basura se aplicó en las Escuelas Emilio Dauzón, Melchor Ocampo (matutina), Melchor Ocampo (vespertina), María Enriqueta, Adolfo L. Sosa, Xochiquetzal, Rafael Delgado, Benito Juárez, Eduardo R. Coronel, Álvaro Obregón. El taller destinado a la separación de los residuos sólidos se aplicó en las Escuelas Melchor Ocampo (matutina), Melchor Ocampo (vespertina), María Enriqueta, L. Sosa, Rafael Delgado, Benito Juárez.

465

4. Conclusiones

Con los resultados obtenidos en esta primera etapa de la aplicación del proyecto de gestión para el manejo residuos sólidos en Xico, Veracruz, se puede concluir que es necesario establecer una estrecha colaboración entre autoridades municipales, instituciones educativas y sociedad en general. Asimismo entre las primeras acciones por aplicar se recomiendan talleres de Educación Ambiental para sensibilizar a la población, a través de la escuela y de sus hijos y así promover su participación en la separación de los residuos sólidos.

Las instituciones educativas son indispensables en este proyecto, ya que la participación de autoridades, profesores, personal de apoyo y estudiantes es fundamental; además, los talleres impartidos contribuyen en la formación integral de los alumnos de primaria.

A través del diagnóstico realizado, se reconoció que los profesores, directores, intendentes, personal de apoyo de escuelas de educación básica de Xico, reconocen la problemática generada por la basura y están interesados en participar en proyectos para separar los residuos sólidos en orgánicos e inorgánicos.

La iniciativa del ayuntamiento en la gestión del proyecto de manejo de residuos sólidos, así como la organización de las actividades de esta primera etapa, la coordinación y colaboración con las instituciones participantes han constituido una pieza clave para lograr estos primeros resultados y con ello difundir la importancia del proyecto para promover la participación de todos los sectores de la población en el corto, mediano y largo plazo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Puig, J.A. Los residuos: reducir, reciclar, reutilizar. Los desafíos ambientales, reflexiones y propuestas para un futuro sostenible. 1999. pp 303-332.
- [2] Baizabal, M., L. Bonilla. Proyecto de manejo de Residuos Sólidos Urbanos en la Facultad de Biología-Xalapa. Tesis de Licenciatura, Facultad de Biología-Xalapa, UV. 2010. 86 p.

La evolución de la percepción de la basura del 2005 al 2011 en la ciudad de Ensenada, Baja California, México

Carolina Armijo de Vega, Adriana Puma Chávez, Sara Ojeda Benítez
carmijo@uabc.edu.mx.

Resumen

Los problemas derivados de las malas prácticas de manejo y disposición de residuos sólidos han sido una constante en la mayoría de las ciudades de México y Ensenada, B.C. no es la excepción. En el año 2005 Cota realizó un estudio sobre la percepción social de la basura doméstica en Ensenada, desde entonces la ciudad ha pasado por tres administraciones diferentes, un Reglamento Municipal de Manejo de Residuos entró en efecto y ha habido tiempo para conocer y poner en marcha las disposiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, que entró en vigor en el 2004. El objetivo de este trabajo fue el de comparar la percepción de la basura del 2005 a la fecha que tiene la comunidad de la ciudad de Ensenada. La metodología usada fue la aplicación de un cuestionario con 25 reactivos (con base un cuestionario usado en el 2005) a una muestra representativa de la población ($\alpha=95\%$). Se compararon los resultados obtenidos en el 2011 con los del año 2005. Se analizaron los resultados con base en las diferencias encontradas y se analizan bajo la lupa del contexto de las iniciativas de las administraciones vigentes en ese tiempo y de las regulaciones en materia de manejo de residuos imperantes.

Palabras Clave: *basura, manejo de residuos sólidos, responsabilidad compartida, sociedad*

467

1. Introducción

Los problemas derivados del manejo inadecuado de los residuos sólidos aquejan a México de manera importante. Los residuos mal manejados no sólo alteran la fisonomía del paisaje en forma de contaminación visual sino que también modifican de forma irreversible los elementos que constituyen el ambiente como aire, suelo y agua. Además de ser focos de infección en el lugar donde se genera la basura, cuando se recolecta y deposita en vertederos, la mayoría de los cuales carecen de manejo adecuado ya que no cumplen con los mínimos requisitos técnicos.

La ciudad de Ensenada no es la excepción y en ella la proliferación de basura ha creado problemas de diversa índole: ambientales, paisajísticos y sociales. En el 2005 Cota [1] realizó un estudio en el que diagnosticó la forma en que se estaban manejando los residuos en Ensenada y la percepción de la población de la ciudad hacia éstos; la autora identificó 36 tiraderos clandestinos de residuos sólidos urbanos (RSU), reportó también que el parque de los vehículos de recolección no había aumentado en 25 años y que no había estrategia alguna por parte del municipio para reducir o reciclar los RSU. A la fecha no se encontraron otros estudios que den seguimiento a esta situación, sin embargo el panorama no parece haber cambiado mucho puesto que la presencia de residuos en calles, terrenos baldíos y tiraderos clandestinos es común en muchos lugares de la ciudad. Esto hace suponer que el comportamiento de la comunidad de Ensenada ha permanecido sin cambios a pesar de que del 2005 a la fecha han ocurrido eventos importantes en materia de manejo de residuos tanto a nivel nacional como a nivel estatal y municipal. Para saber si esta situación es cierta el objetivo de este trabajo fue el de comparar la percepción hacia el manejo de los RSU del 2005 con la del 2011, que tiene la comunidad de Ensenada.

2. Metodología

Para comparar la percepción del manejo de los RSU que tiene la comunidad de Ensenada se utilizó como base el cuestionario utilizado por Cota en el año 2005. Este cuestionario se modificó y se agregaron algunos reactivos con el fin de contar con más información, sin embargo solamente se hacen comparaciones con los reactivos que son similares. Las comparaciones se hicieron entre los resultados obtenidos por Cota en el 2005 y los del cuestionario aplicado a una muestra estadísticamente representativa en el 2011. El cuestionario consta de 33 preguntas, las primeras 5 recaban información socio demográfica, las demás preguntas fueron encaminadas a indagar sobre tres aspectos principalmente, 1) el *conocimiento* de la población respecto a los temas de basura; 2) las *actitudes* de la población con respecto al destino final de la basura (basurero, calle, lotes baldíos) y su sentido de responsabilidad en cuanto a la limpieza de su calle y de la ciudad y 3) la *opinión* de los entrevistados sobre el estado de limpieza de la ciudad, su colonia y su calle; así como sobre los principales generadores de basura y cómo mejorar la limpieza de la ciudad

Para calcular el tamaño de la muestra se consideró a la población de Ensenada reportada por el INEGI en el censo del 2010 [2] en donde se publicó que la población de la ciudad de Ensenada es de 279,765 personas. Para el cálculo del tamaño de la muestra y metodología de aplicación se siguieron los lineamientos metodológicos propuestos por Hernández-Sampieri y colaboradores [3]. El tamaño de muestra resultante fue de 384 con un nivel de confianza del 95%, sin embargo se aplicaron 400 cuestionarios. La aplicación de los cuestionarios fue a través de entrevista personal en donde el entrevistador hizo las preguntas y anotó las respuestas. Se contó con un grupo de seis entrevistadores a quienes se capacitó para que la aplicación fuera de manera similar en todos los casos. Los datos se capturaron y trabajaron en el programa Perseus Survey Solutions®.

Ya que los datos del 2005 se tienen a manera de porcentajes, se obtuvieron los porcentajes de respuestas de cada reactivo del cuestionario del 2011 para compararlos con los de Cota [1], se realizaron las comparaciones y se graficaron algunos de los resultados. Cabe aclarar que en este trabajo no se reportan los resultados de todos los reactivos, solamente los que las autoras consideraron más relevantes para detectar si se presentó un cambio de percepción en la población.

3. Resultados y discusión

Las edades de la población dentro de las muestras están entre los 15 y los 90 años, siendo las edades más frecuentes de 35 a 45 años para el año 2005 con un 40% de representatividad y de 15 a 25 años para el 2011 con un 39.5% de representatividad de ese grupo de edades. En el muestreo del 2005 el 64% de los entrevistados fueron mujeres mientras que para el del 2011 el sexo femenino representó el 50%.

Respecto a las *preguntas de conocimiento* en la Tabla 1 se muestran los resultados comparativos de los años 2006 y 2011 sobre lo que la población entiende por basura.

Tabla 1. Concepto de basura

Concepto	Porcentaje	
	2005	2011
Desperdicios	36.1	22.0
Todo lo que ya no sirve	27.1	31.4
Lo que no se usa o necesita	22.3	13.7
Lo que perjudica la salud	6.6	12.3
No sabe	4.7	0.4
Materia orgánica, inorgánica	1.8	6.6
Todo lo anterior	1.3	13.6

En cuanto al conocimiento sobre residuos peligrosos (RP) se encontró una diferencia interesante entre ambos estudios, en el 2005 la población entrevistada incluye dentro de su universo de RP a los productos u objetos que son fuente de peligro y que pueden ocasionar daños a la salud o riesgo para las personas, como al vidrio o latas de lámina que las consideran como peligrosos porque cortan, o porque con la acción del sol (vidrio) puede ocasionar incendios; mientras que en el estudio del 2011 se mencionaron como RP a las pilas, insecticidas, desechos industriales, aerosoles, desechos de hospitales, objetos radiactivos, etc., productos que no fueron mencionados en el estudio del 2005.

Los resultados de este trabajo muestran que algunas opiniones de la población de Ensenada han cambiado del 2005 al 2011. En el caso del conocimiento del concepto de basura los resultados muestran que aumentó el porcentaje de personas que respondieron que basura se refiere a “lo que ya no sirve” y “lo que perjudica la salud” y disminuyó el porcentaje que opina que basura es “lo que ya no se usa o no se necesita”. Estos resultados podrían deberse a que la población tiene un mayor entendimiento del concepto de basura y que los residuos que ya no se usan o no se necesitan no necesariamente se convierten en basura sino que pueden tener como destino el reuso o el reciclaje. Así mismo disminuyó el porcentaje que no supo definir basura. Lo anterior es interesante puesto que la localidad se ha puesto en marcha numerosas campañas para reducir y reciclar los residuos, estas han sido promovidas tanto por el Gobierno Municipal como por organizaciones no gubernamentales (ONGs) y centros educativos. De tal manera que en diversos puntos de la ciudad se pueden encontrar centros de acopio de reciclables, información sobre la separación de los residuos así como botes y cajas señalizados para separar residuos. Estas campañas pueden estar ayudando a que la población esté más informada sobre estos aspectos. A pesar de estos resultados llama la atención que cuando se preguntó a la población sobre el destino final de los residuos los tres porcentajes (diferencias entre tiradero y relleno sanitario, conocimiento sobre centros de acopio y conocimiento sobre lugares donde vender los reciclables) disminuyeron en el 2011.

En el caso del conocimiento de los RP también se encontró un incremento en el conocimiento de éstos, ya que mientras en el estudio del 2005 de manera general definían a RP como aquel que potencialmente podía cortar o pinchar, en el estudio del 2011 ya se mencionan a los solventes, pilas, ácidos, fertilizantes, entre otros, como residuos que no solo pueden dañar la salud humana sino también al ambiente. Este cambio puede estar influenciado por la información que en los años recientes se ha incorporado a los libros de texto de diferentes niveles en donde ya se explican los conceptos de residuos, RP y los impactos al ambiente que éstos pueden producir. De la misma manera la Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) durante los últimos 3 años ha promovido campañas para separar pilas y baterías y ha colocado centros de acopio con información en oficinas de gobierno y universidades, estas acciones pueden estar ayudando a informar a la población sobre los RP y su manejo adecuado. La SPA también ha promovido campañas de acopio de teléfonos celulares y otros electrónicos, mismas que van de la mano con información sobre los agentes de potencial peligrosidad contenidos en estos artefactos. Este tipo de campañas no existían o no eran promovidas hace seis años cuando se hizo el otro estudio.

Sobre el conocimiento que tiene la ciudadanía con respecto al destino final de la basura, las preguntas se refirieron a su noción sobre la diferencia entre un basurero y un relleno sanitario; así como la información sobre otras opciones para depositar la basura (ver Tabla 2).

Tabla 2. Conocimiento sobre destino final de la basura

	Diferencia entre basurero y relleno sanitario (%)		Centros de acopio (%)		Venta de productos para su reciclaje (%)	
	2005	2011	2005	2011	2005	2011
Si	43.7	31.2	51.6	36.3	52.9	50.9
No	55.3	68.8	48.2	63.7	46.8	49.1

Los resultados mostrados en la Tabla 2 sugieren que el conocimiento sobre el destino final de los residuos y de los lugares donde pueden vender o entregar sus reciclables disminuyó, sin embargo con la información obtenida es difícil apuntar hacia una razón para esta disminución.

Respecto al conocimiento del Reglamento de Limpia de la ciudad en el 2005 el 95.2% de la población lo desconocía, mientras que en el 2011 este porcentaje fue de 84.4, el porcentaje de personas que lo desconoce bajó 10 puntos porcentuales, sin embargo sigue siendo muy alto el desconocimiento del reglamento en la actualidad, 84 % de la población. Cabe mencionar que actualmente se cuenta con un Reglamento de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y Aseo Público para el municipio de Ensenada [4] que fue publicado en abril del 2008, éste comprende aspectos y lineamientos marcados en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) [5], tales como la obligatoriedad de los Planes de manejo de Residuos para los grandes generadores. Aunque cuando se realizó el estudio del 2005 la LGPGIR ya tenía más de un año de haber entrado en vigor, era una ley muy reciente y en los estados iniciaba el camino para su entendimiento y operatividad. Ahora a más de 7 años de haberse publicado ha habido tiempo para hacerla operativa como para crear algunos mecanismos que aterricen sus lineamientos operativamente en el municipio. En este sentido en el municipio se han desarrollado foros de consulta con la comunidad para dar a conocer la problemática del manejo de residuos así como, las regulaciones para su manejo adecuado. Estos aspectos pueden haber ayudado a que la población conozca el Reglamento de Residuos de Ensenada.

En lo que se refiere a las preguntas de actitudes y valores, en el 2005 el 91.1% de la población opinó que era responsabilidad del gobierno municipal la de mantener limpia la ciudad, aún así el 32.1% de la población opinó estar dispuesto a pagar por el servicio. Para el 2011 disminuyó el primer porcentaje pues solo el 35.5% opinó que era el gobierno municipal el responsable de mantener limpia la ciudad y solamente el 23% se mostró dispuesto a pagar por el servicio. Respecto a los resultados de actitudes y valores es marcado el descenso del porcentaje de población que cree que es responsabilidad única del gobierno municipal el mantener limpia la ciudad pero disminuyó también el porcentaje de gente dispuesta a pagar por el servicio. Esto puede deberse a que tanto en la LGPGIR como en el reglamento de residuos de Ensenada se hace énfasis en la responsabilidad compartida del manejo de los residuos sólidos. Al mismo tiempo la disminución de la disposición para pagar por el servicio de limpia esto puede deberse a que en la ciudad se han mejorado el sistema de recolección y se han ampliado las rutas, esto se debe al aumento de la flota de camiones recolectores con los que cuenta el municipio. En el 2005 Cota [1] reportó que se tenían 20 años con el mismo número de camiones, sin embargo en el año 2007 el municipio adquirió 20 nuevas unidades recolectoras [6], que si bien muchas de ésta solamente sustituyeron a las que estaban descompuestas o averiadas, algunas si sirvieron para aumentar la cobertura y frecuencia de la recolección. Con esto, seguramente la población percibe menos presión por tener que pagar un servicio que ya es otorgado por el municipio.

Las acciones que realiza la población cuando el servicio de recolección no es puntual se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Acciones de la población cuando no hay recolección de RSU

Destino final	2005 (%)	2011 (%)
La quema	16.6	13.7
La tira en un lote baldío	7.7	2.5
La lleva al basurero	39.6	25.2
La deja en casa hasta que pase el camión	24.7	48.7
Otro	11.4	9.8

Los resultados muestran que disminuyó en tres puntos porcentuales la cantidad de personas que acostumbran a quemar la basura cuando ésta no es recolectada por el municipio, también disminuyó

en la cantidad de gente que acostumbra a tirar en lotes baldíos la basura. Estos datos nos pueden estar hablando de una mayor responsabilidad ambiental de la población ya que algunos de los entrevistados mencionaban que no tenían esas costumbres porque contaminaban. Por otro lado la disminución de personas que lleva la basura al relleno sanitario sus residuos y el aumento del porcentaje de personas que guarda los residuos en su casa hasta que pase el camión podría explicarse por el aumento de la eficiencia del servicio de recolección municipal, el cual es más confiable y las personas saben que si guardan los residuos tarde o temprano pasará el camión a recogerlos.

En lo relacionado a la opinión de la ciudadanía sobre el estado de limpieza de la ciudad y de su colonia en la Tabla 4 se presentan estos resultados para ambos años analizados.

Tabla 4. Porcentaje de opinión de la población sobre el estado de limpieza de la ciudad y de su colonia.

	2005		2011	
	Ciudad	Colonia	Ciudad	Colonia
Limpia o muy limpia	9.5	31.4	10.7	24.6
Regular	9.2	31.4	68.8	55.1
Sucia o muy sucia	80.5	37.2	20.6	20.2

En la Tabla anterior se puede observar que los porcentajes que tuvieron un mayor cambio son los que consideraron que el estado de limpieza de la ciudad era regular, mientras que en el 2005 éste era de 9.2% para el 2011 aumentó a 68.8%. Este cambio se vio reflejado también en la disminución de las personas que opinan que la ciudad es sucia o muy sucia, en el 2005 el 80.5% opinaba esto mientras que en el 2011 solamente el 20.6% de la población opina que la ciudad de Ensenada es sucia. Es probable que la percepción del estado de limpieza también está relacionada al aumento de cobertura y frecuencia de recolección por parte del servicio de limpia municipal y eso contribuye a que menos gente tire la basura en lotes baldíos y a que se acumulen menos residuos en las calles, lo que mejora el aspecto de la ciudad.

Cuando se comparan las opiniones de limpieza de la ciudad con las de la colonia del entrevistado tanto en el 2005 como en el 2011 aumentó la percepción de que la colonia es más limpia que la ciudad. Cota [1] explica esto diciendo que conforme la opinión se refiere al entorno más cercano la calificación de 'limpia' aumenta y argumenta que para interpretar la información que percibe respecto a mayor o menor limpieza en su espacio vital, el individuo utiliza los mecanismos establecidos en la percepción visual, particularmente el de fondo, lo cual le permite "limpiar" su entorno cercano. Esto también lo podemos ver como un mecanismo cognitivo de adaptación, cuya principal manifestación es una negación de la realidad a medias, con el fin de aliviar su participación en el problema de la basura.

Por último, en cuanto al nivel de involucramiento aunque un porcentaje alto (87%) dijo estar dispuesto a separar residuos, un porcentaje menor (72%) dijo querer participar en algún programa de reciclaje y uno aún menor (60%) pertenecer a algún comité de limpieza. Esto muestra que mientras los individuos tengan poca responsabilidad están más dispuestos a participar que cuando el involucramiento requiere ser mayor.

En el cuestionario aplicado en el 2011 se agregaron unas preguntas relacionadas con la disposición de la población a separar sus residuos, a participar en programas de reducción y reciclaje de residuos y sobre la participación en algún comité para mejorar el sistema de limpia. Al respecto el 87% mencionó que estaría dispuesto a separar sus residuos, el 72.7% mencionó estar dispuesto a participar en algún programa comunitario de reciclaje y el 60% opinó que le gustaría pertenecer a algún comité para mejorar el sistema de limpieza.

4. Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran que algunas opiniones de la población de Ensenada respecto al manejo de los residuos sólidos han cambiado del 2005 al 2011 y se puede concluir que:

- Se encontró un aumento del conocimiento sobre lo que son los residuos peligrosos.
- Disminuyó el porcentaje de personas que desconocen que existe un reglamento municipal de manejo de residuos, sin embargo el porcentaje que lo desconoce sigue siendo alto.
- Disminuyó de manera importante el porcentaje de personas que consideran que es responsabilidad exclusiva del gobierno el manejo de los residuos.
- Disminuyó en tres puntos porcentuales la cantidad de personas que acostumbran a quemar la basura y bajó el porcentaje de gente que acostumbra a tirar los residuos en lotes baldíos.
- La opinión sobre el estado de limpieza de la ciudad y de las colonias cambió muy poco del 2005 al 2011 (diferencia de 1.2%).
- Tanto en el 2005 como en el 2011 aumentó la percepción de que la colonia es más limpia que la ciudad.
- Aunque la ciudadanía dice estar dispuesto a separar sus residuos un porcentaje menor está realmente decidido a involucrarse en un programa de reciclaje.

Referencias Bibliográficas

- [1] Cota González, E. *Percepción social de la basura doméstica en la mancha urbana de Ensenada*, B. C. 2005. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada. México. 122 pp.
- [2] INEGI, 2010. Censo de población y vivienda 2010. (27, abril, 2011). <http://www.inegi.org.mx/sistemas/ResultadosR/CPV/Default.aspx?texto=Ensenada>
- [3] Hernández-Sampieri, R. Fernández-Colado, C. Baptista-Lucio, P. *Metodología de la investigación*. 4^{ta} Edición. 2006. McGraw-Hill. México. 850 pp.
- [4] Reglamento de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y Aseo Público para el Municipio de Ensenada, Baja California. Periódico Oficial No. 15 Tomo CXV, 11 de abril de 2008.
- [5] Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003. México, D.F.
- [6] Arenas Lío, V. 2008. *Comunicación personal*..

La familia, factor clave para la reducción de desechos orgánicos

Alan Ulises Beristain Aguilar, Sara Velasco Baca, Joyce Selene Beristain Aguilar, Ma. Dolores Aguilar Cruz, Jorge Beristain Carrera
ulisesber@yahoo.com.mx

Resumen

En la Ciudad de México se generan 11mil 850 toneladas de residuos sólidos diariamente, 50% de ellas son basura orgánica, el procesamiento y adecuado manejo de dichos residuos es muy importante. El objetivo de este trabajo es, mostrar que a través de la participación familiar, y con los recursos disponibles en casa, se pueden procesar los residuos orgánicos que se generan en ella. Para ello, después de concientizar y contar con el apoyo de la familia, se inició físicamente con el proyecto, para ello, en una cubeta con tapa se depositaron los residuos orgánicos, cada vez que se llenaba, su contenido se vació en otra cubeta, a la cual se le colocó encima una capa de 8cm de tierra y se sembraron semillas de plantas, las cuales se regaron con agua de lluvia. En tres años, se ha procesado 98% de residuos orgánicos generados en casa, generando aproximadamente 2500 Kg. de composta, los cuales a su vez se utilizaron para la naturación de 80 m² de superficie, evitando que 4000 Kg. de residuos orgánicos, tuvieran que ser transportados al tiradero y posteriormente procesados, ahorrando a la Ciudad aproximadamente 1800 pesos, solo por el manejo de estos residuos, adicionalmente se obtiene beneficios como el fortalecimiento de las relaciones familiares, la disminución de la contaminación y alimentos orgánicos. Si cada familia contribuimos con estas acciones, la “basura” en la Ciudad de México disminuirá considerablemente. El mayor logro de este trabajo, es que se ha llevado a cabo durante tres años, y no es un proyecto mas, no requiere grandes inversiones o conocimientos técnicos, solo se requiere la voluntad para hacer las cosas.

Palabras clave: *manejo, naturación, residuos sólidos, voluntad*

1. Introducción

La Ciudad de México, una de las Ciudades más grandes del mundo, tanto en superficie como en cantidad de habitantes, y también una de las más contaminadas, de acuerdo a datos de la Secretaría de Obras y Servicios (1), en la Ciudad de México, se generan 12 mil toneladas de residuos sólidos diariamente, se estima que el 50% de ellas son “basura” orgánica. Durante años miles de toneladas de basura, diariamente se fueron acumulando en los “rellenos sanitarios”, como el del ahora Parque Cuitlahuac, el de Santa Catarina y el bordo de Xochiaca, se depositaban revueltos: metales, ropa vieja, papel, vidrio, plásticos, restos de frutas y verduras, ocasionando actualmente varios problemas como la contaminación del suelo y el hecho de no poder ocupar el enorme espacio ya ocupado por la basura depositada.

En la última década, debido a la saturación de los “rellenos sanitarios” y ante la falta de nuevos espacios donde depositar la basura, los tres niveles de Gobierno, han tratado de implementar programas, proyectos, campañas, incluso le han propuesto a la iniciativa privada nacional e internacional, pagar enormes cantidades de dinero, para que se hagan cargo de la basura que se genera en la Ciudad de México, no obstante estos esfuerzos no han sido suficientes.

Después de analizar los resultados de diversas campañas y programas implementados, por los diversos sectores, llegamos a la conclusión de que tal vez el factor más importante para solucionar el problema de la basura, es la participación de cada miembro de la sociedad, cada habitante de la Ciudad de México debe hacer su parte, además proponemos que el siguiente nivel para la solución

del problema de la basura se da en la familia, como unidad básica que conforma una sociedad, lo cual es históricamente comprobable. Por lo anterior, desde hace más de tres años, en nuestra familia, nos hemos propuesto *no generar basura*, para ello el adecuado manejo de los residuos sólidos ha sido muy importante, teniendo en cuenta que desde antes de generarlos se debe prever cual será el trato que se les dará, es decir, cuando se consume algo, ya sea orgánico o inorgánico, se deben tener en mente diversos factores como: el costo beneficio, el desgaste al medio ambiente en su generación y el impacto al medio ambiente de los residuos que se generen, todo ello tratando de reducir la cantidad de residuos que se generen y obtener el mayor beneficio por el desgaste causado al medio ambiente. Para este trabajo, nos referiremos únicamente al proceso realizado con los residuos orgánicos, para cumplir nuestro objetivo de procesar todos los residuos orgánicos que generamos en casa.

2. Desarrollo

2.1 Primera Etapa

En la primera etapa, al inicio del proyecto, se informó a todos los miembros de la familia, en que consistiría el proyecto, la importancia y la forma en que cada uno participaría, se definieron principios básicos y lógicos como:

- A menor cantidad de residuos generados, menor será la cantidad de residuos que se deba procesar.
- Al separar desde el momento en que se generan los residuos se evita generar basura.

Esta etapa, aunque parezca muy simple, es muy complicada, ya que hay que *concientizar* a cada miembro de la familia, y continuamente, en todas las etapas del proceso, se deben hacer correcciones y recordar la importancia de la correcta separación de los residuos, aunque esto cause algunas incomodidades.

2.2 Segunda Etapa

En la segunda etapa, el proceso inició con la separación de los residuos en el momento que se generaron, los residuos inorgánicos se colocaron en los botes de basura con que se cuenta normalmente (ver Figura 1) y se les dio el tratamiento correspondiente. Por otra parte, los residuos orgánicos se colocaron en otros recipientes, tomando en cuenta que los dos principales sitios donde se generan este tipo de residuos son el baño (residuos sanitarios) y la cocina (principalmente restos de comida), aunque también pueden generarse residuos orgánicos cuando se da mantenimiento a plantas. Los residuos sanitarios son depositados en los botes de basura como regularmente se hace en todas las casa y se entregan al camión de la “basura”, para coleccionar los residuos orgánicos generados en la cocina y el resto de la casa, junto al bote de residuos inorgánicos de la cocina, se colocó un recipiente de plástico con tapa, reciclado y limpio (ver Figura 1), pueden usarse recipientes de 1 litro o mas, de helado, pintura, yogurt, etc., en este recipiente, se colocaron los residuos orgánicos que se generaron durante el día, por la noche, el contenido del recipiente se vació en una cubeta con tapa (ver Figura 2), la cual se encontraba en la esquina del patio más alejada de puertas y ventanas.

En esta etapa, se requirió de la participación de cada uno de los miembros de la familia para la correcta separación de los residuos desde el momento de su generación. Cabe mencionar que sobre todo al inicio de la implementación del proyecto, por costumbre o por descuido, en varias ocasiones se depositaron los residuos orgánicos e inorgánicos en el mismo recipiente (ver Figura 1), por lo que se tuvo que separar manualmente residuos orgánicos e inorgánicos en el momento de su detección, situación que en la mayoría de las veces no fue muy agradable, no obstante con el tiempo ha disminuido la frecuencia de esta “mezcla”.



Figura 1. Hojas de árbol en recipiente de residuos inorgánicos

2.3 Tercera Etapa

En la tercera etapa, cada vez que se llenó la cubeta, lo cual varió dependiendo de la cantidad de residuos que se generaron, su contenido se vació en otra cubeta, en ella, se colocaron también los residuos generados por el mantenimiento a las plantas, esta segunda cubeta, se llenó hasta un 85% de su capacidad, con residuos orgánicos y se cubrió perfectamente la superficie con una capa de aproximadamente 8cm de tierra, con ello se evitó que se generaran insectos o ratas.

Después de una semana, en estas cubetas, que ya se podían llamar *macetas verdes*, se sembraron semillas de plantas comestibles, medicinales y de ornato (ver Figura 2), las cuales se regaron una o dos veces a la semana con agua de lluvia, por aproximadamente 5 meses.

En esta tercera etapa, se requirió el apoyo de todos los miembros de la familia para conservar en buen estado las *macetas verdes* los recipientes donde se depositaron los residuos orgánicos, cuidando de no patearlas, tirarlas o moverlas, y regarlos adecuadamente, además de “prestar” una porción del patio, de su espacio, para desarrollar el proceso de compostaje (ver Figura 3).



Figura 2. Cubeta con residuos inorgánicos(al frente) y maceta verde (atrás).

2.4 Cuarta Etapa

En la última etapa del procesamiento de los residuos orgánicos en casa, los residuos fueron transformados mediante el compostaje, después de aproximadamente 5 meses, en nutrientes que fueron aprovechados por las plantas, para generar alimentos y plantas de ornato 100% orgánicas, el volumen del contenido de la maceta, disminuyó entre 15% y 30%. En los casos en que el tipo de planta fue “temporal” como (cilantro, epazote, frijol, perejil, malvón, etc.) ó el tipo de planta permitió el trasplante, el proceso de compostaje se repitió en la misma maceta, en los casos en que la planta es “perene”, o no se pudo trasplantar, como en el caso de las matas de chile, simplemente

se agrego *composta madura*, ya sea de otros recipientes o de años anteriores y se continuo el cultivo de la planta (ver Figura 3).

En esta última, la de cosecha, de frutos de las plantas y de composta, así como del tiempo y esfuerzo invertido durante varios meses, todos los miembros de la familia, se alegran y se motivan a continuar con la separación de residuos, la elaboración de composta y el cultivo de alimentos orgánicos.



Figura 3. Cubetas donde los residuos orgánicos son transformados en composta y esta a su vez, en nutrientes para las plantas (derecha), y alimentos orgánicos producidos en ellas (atrás)

3. Conclusiones

- a) En tres años, se han procesado aproximadamente 4000 Kg. de residuos orgánicos generados en casa lo que equivale al 98% de los residuos orgánicos totales generados en casa, el restante 2% de residuos orgánicos, corresponde a residuos sanitarios, los cuales por su naturaleza, son entregados al servicio de recolección de “basura”, ya que para su aprovechamiento se requiere un proceso especial, el cual resulta difícil realizar en casa.
- b) Evitando que 4000 Kg. de residuos orgánicos, tuvieran que ser transportados al tiradero y posteriormente procesados, sea ahorró a la Ciudad aproximadamente 1800 pesos, solo por el manejo de los residuos orgánicos, lo cual pudiera retribuirse en estímulos fiscales para quienes procesen sus propios residuos orgánicos. Adicionalmente se obtienen otros beneficios como el fortalecimiento de las relaciones familiares, disminución de la contaminación y alimentos orgánicos.
- c) Es posible procesar en casa la mayoría (98% aproximadamente) de los residuos orgánicos que en ella se generan, utilizando objetos que encontramos en casa, y con la participación y voluntad familiar, se han generando aproximadamente 2500 Kg. de composta, los cuales a su vez se utilizaron para la naturación de 80 m² de superficie y producir alimentos orgánicos.
- d) El principal factor para que el problema de la basura se resuelva, somos cada uno de nosotros, y la familia es la estructura organizativa clave para ello.

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaria de Obras y Servicios del Distrito Federal. Año 2011 (27 de mayo de 2011). http://www.obras.df.gob.mx/?page_id=85.

Los residuos sólidos en la educación primaria, caso de estudio México

Jose Luis Guevara Franco, Laura Patricia Flores Castillo, Andrés García Ruíz, y María Del Carmen García Gómez
luisguev@uqroo.mx

Resumen

El presente trabajo se realizó con la finalidad de conocer el estado actual de la enseñanza aprendizaje en materia de residuos sólidos a nivel primaria en México. La revisión y análisis de los contenidos Plan de Estudios de Educación Primaria nos indican que conocimientos, habilidades y actitudes se promueven en materia de Residuos Sólidos; en el Plan de Estudios de la Licenciatura en Educación Primaria denota una carencia entorno a la formación ambiental del futuro docente en este tema. El tema de los residuos sólidos demanda mayor atención ante la situación actual de contaminación, por lo que el profesor requiere de estrategias de capacitación y actualización en su formación para enfrentar el nuevo reto de la educación ambiental. ¿Como puede enseñar el profesor lo que no sabe? El tema de los residuos sólidos en los nuevos libros de texto gratuitos muestra una presencia implícita y transversal principalmente en los libros de Formación Cívica y Ética y Geografía principalmente, seguido de los libros de Español y Educación Física; en menor medida en los libros de Matemáticas y ausencia en los de Historia; independientemente del abordaje de este tema en los libros de Ciencias Naturales y Exploración de la Naturaleza.

477

Palabras Clave: *basura, desechos, educación, residuos*

1. Introducción

¿Porque la basura?

La basura es un problema que afecta a todos, todos formamos parte del problema como generadores de basura, pero no todos participamos en la solución de este problema. En nuestras casas, escuelas, oficinas, centros comerciales etc., producimos basura que no siempre llega al cubo de la basura generando contaminación.

Los residuos líquidos, sólidos y gaseosos han sido utilizados como índices e indicadores de desarrollo, calidad de vida, en lo que respecta a los residuos sólidos, ya no solo es el parámetro de generación per capita de residuos sólidos (cantidad de basura generada en promedio por habitante por día) que se analiza como en antaño, estudios recientes consideran ahora la separación de envases y vidrio como indicadores de sostenibilidad como lo propone García[1]. El informe Bruntland de 1987, considera a los residuos sólidos como uno de los principales problemas ambiental, fuente de contaminación marina al usar a los océanos y ríos como vertederos.

El tema de los residuos sólidos es uno de los principales temas ambientales a considerar en las escuelas y en la formación inicial de maestros, Rivarosa [2], en el planteamiento de problemas locales bajo un modelo didáctico basado en la resolución de problemas ambientales. Gutiérrez [3], describe una serie de programas de educación ambiental orientados a la comunidad escolar y local haciendo énfasis en el programa Agenda 21 escolar, donde uno de los temas tratados tradicionalmente es el de los residuos sólidos.

2. Desarrollo

La revisión de los libros de texto mediante la técnica Análisis de contenido permite registrar la presencia o ausencia del tema *basura, residuos sólidos, desechos o las 3 Rs (reducir, reusar, reciclar)* en los libros de texto gratuito de educación primaria en México ciclo 2010-2011. Se elaboró una ficha de registro para los siguientes datos: grado, asignatura, bloque, página, tema o ámbito, aprendizaje esperado, presencia en forma de texto o imagen, y presencia del tema en el título del objetivo (unidad) didáctico. El método de análisis de contenido resulta ser objetivo pues emplea procedimientos de análisis que pueden ser reproducidos por otras investigaciones de modo que los resultados obtenidos sean susceptibles de verificación por otros estudios distintos, es sistemático pues es sujeta a pautas objetivas determinadas, cuantitativa pues mide la frecuencia de aparición del tema en cuestión y obtiene datos descriptivos por medio de un método estadístico, cualitativo pues detecta la presencia y ausencia de un característica de contenido específico, es representativo y exhaustivo del universo muestral” [4].

2.1 Los libros de Texto

Los libros de texto elaborados por la Comisión Nacional de Libros de Texto Gratuitos desde 1959 han tenido cambios significativos y se puede distinguir las siguientes épocas según Díaz de Cossio [5]: la primera de 1959 a 1964 donde se elaboraron 20 libros y 20 cuadernos de trabajo para los seis grados de primaria, para primer grado un libro de español; en segundo español y matemáticas; en tercero, cuarto y quinto cinco libros por grado: español, matemáticas, geografía, estudio de la naturaleza (ciencias naturales) y el de historia y civismo; en sexto dos libros, español y estudio de la naturaleza (ciencias naturales). El segundo grupo de 1971 a 1976 se caracterizó por tener muchos cambios, ahora se presentan en cuatro áreas básicas: matemáticas, español, ciencias naturales y ciencias sociales, además se elaboró un libro para el maestro por cada grado. El tercer grupo se empezó a elaborar en 1991, estos presentaron más color y mejor papel, El área de ciencias sociales se dividió en historia, geografía y civismo; adicionalmente dos atlas.

La reforma educativa promovida en 1993 por la SEP, permite la incorporación del tema ambiental en las asignaturas, en especial lo referente a la contaminación por basura, en el Plan de estudios de educación primaria 1993 el tema de los residuos sólidos se aborda en: español quinto grado lección 8 La basura, pp. 54-59, matemáticas segundo lección 89 reutiliza la basura pp. 136 y sexto grado lección “cuidemos el ambiente, residuos sólidos”, pp.157-163; ciencias naturales tercer grado lecciones 6 “procedencia de los desechos que se producen en el hogar y en la comunidad, basura orgánica e inorgánica”, y lección 7 “destino de los desechos que se producen en el hogar y en la comunidad y la regla de las 3Rs”; cuarto grado lección 30 los desechos fabriles. Finalmente los cambios en la reforma educativa integran la educación ambiental como un tema emergente y transversal, así para los ciclos 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012 considerado como de transición se modifican los libros de texto presentando temas ambientales con mayor frecuencia y distribución en todos los grados y asignaturas.

2.2 El plan de estudios de la Licenciatura en Educación Primaria en México

La licenciatura en educación primaria forma parte del Programa para la Transformación y el Fortalecimiento Académico de las Escuelas Normales desarrollado por la Secretaría de Educación Pública en el marco del Programa de Desarrollo Educativo 1995-2000. La elaboración del nuevo plan de estudios se basa en la definición del perfil del egresado como punto de partida. Las competencias que definen el perfil de egreso se agrupan en cinco grandes campos: 1).- Habilidades intelectuales específicas, 2).- Dominio de los contenidos de enseñanza, 3).- Competencias didácticas, 4).- Identidad profesional y ética, y 5).- Capacidad de percepción y respuesta a las condiciones de sus alumnos y del entorno de la escuela.

El mapa curricular, que abarca ocho semestres de dieciocho semanas cada uno, cinco días laborables por semana con jornadas de seis horas, considera tres tareas de actividades de formación:

A).- Actividades escolarizadas, B).- Actividades de acercamiento a la práctica escolar, y C).- Práctica intensiva en condiciones reales de trabajo.

3. Resultados

3.1 Los libros de texto.

Para el ciclo 2010-2011 se tienen libros para las asignaturas de exploración de la naturaleza en primero y segundo grado, de tercero a sexto de ciencias naturales, de cuarto a sexto de geografía, un atlas de geografía de México en quinto grado y para todos los grados libros de educación artística, educación física, español, matemáticas, y de formación cívica y ética.

En todo el plan de educación primaria se tiene un total de 1591 unidades didácticas en forma de lecciones, temas, retos, proyectos o actividades, de los cuales en 57 de ellos (3.58%) se aborda el tema de la basura, residuos sólidos o desechos así como las 3 erres.

En Segundo grado, asignatura Exploración de la naturaleza y la sociedad, Bloque, V, Juntos mejoramos nuestra vida, lección ¿Qué hago para cuidar el ambiente?, en el objetivo de la unidad se busca identificar acciones que afectan al medio ambiente en el lugar donde viven, señalar acciones concretas para mantener un ambiente limpio y reducir la cantidad de residuos que se producen y clasificarlos en orgánicos e inorgánicos.

El tema de los residuos se trata de forma transversal en otras asignaturas, como por ejemplo en Español quinto grado Bloque III, Proyecto: Leer, resumir y escribir textos expositivos que impliquen clasificación, el objetivo es clasificar información en tablas o cuadros sinópticos para resumir textos expositivos, a partir de una propuesta para cuidar el ambiente, y los conocimientos esperados por el alumno son: el alumno pueda clasificar residuos; clasificar fuentes generadoras; clasificar de acuerdo a las 3 r's; clasificar los residuos de la escuela en : 1-orgánicos, 2-reciclables, 3-papel y cartón y 4- peligrosos; además de elaborar cuadros sinópticos y tablas; leer, resumir y escribir textos expositivos que impliquen clasificación.

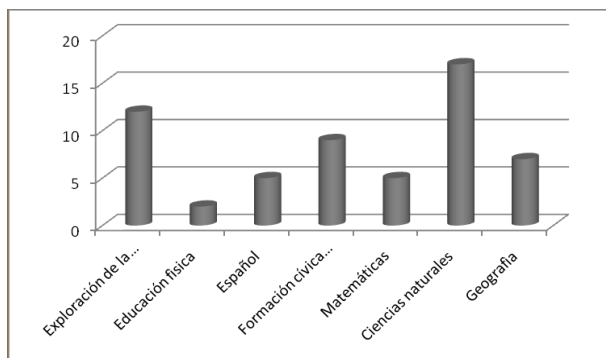


Figura. 1. Frecuencia de aparición del tema por asignatura.

La presencia del tema en los libros (Figura 1) de exploración de la naturaleza y ciencias sociales representa el mayor porcentaje de frecuencias como era de esperarse, sin embargo en la asignatura de formación cívica y ética se presenta el tema en todos los grados, el programa de formación cívica y ética se divide en cinco bloques que comprenden competencias cívicas y éticas que se desarrollan a través del trabajo transversal con otras asignaturas, del ambiente escolar y de la vida cotidiana del alumno.

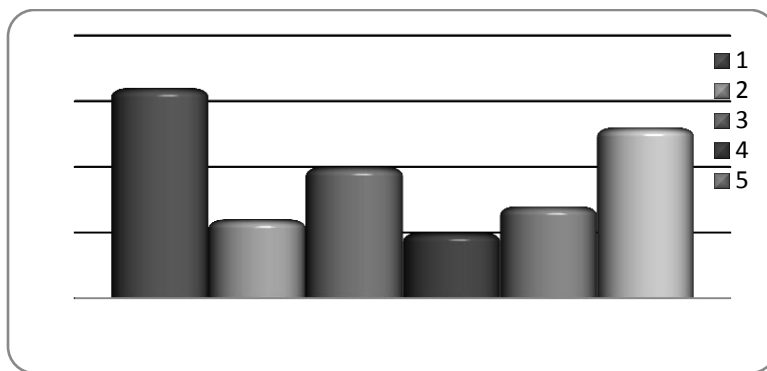


Figura 2. Frecuencia de aparición del tema en los libros de texto

La presencia del tema de los residuos por grado es en orden descendente de la siguiente manera: en primero, sexto, tercero quinto, segundo y cuarto (Figura 2).

3.2. La licenciatura en educación primaria,

La licenciatura en educación primaria esta diseñada, para estudiar los temas y problemas centrales de esta área de enseñanza el programa en el primer curso de la asignatura Ciencias Naturales y su Enseñanza está organizada en cinco bloques temáticos; a ellos se agregarán cuatro bloques más que conforman el segundo curso. Resulta muy importante hacer notar los comentarios en la organización de los contenidos de estas asignaturas (ver tabla 1): “Es conveniente insistir en que el objetivo de este bloque es que los estudiantes obtengan una visión inicial del curriculum de ciencias naturales –y no hacer una revisión detallada de sus contenidos–, como base para detectar campos o temas en los que es necesario reforzar la información de los futuros maestros. Los estudiantes cursaron varias asignaturas de ciencias a lo largo de su enseñanza básica y media, y debe suponerse, en principio, que poseen los elementos indispensables para manejar los contenidos científicos de la primaria.”

Además presenta como solventar alguna eventual deficiencia previa: “Sin embargo, con frecuencia se encontrará que los alumnos, porque los han olvidado o porque hubo deficiencias en su formación previa, presentan lagunas de conocimiento o comprensión de temas importantes. En esos casos lo más práctico es que el maestro oriente a cada estudiante para que se remita a la bibliografía complementaria que existe en la biblioteca, de manera que sólo en los casos de debilidades comunes en cuestiones centrales el maestro deba profundizar en el tema de la disciplina que corresponda”.

Tabla 1, Programa de estudios 4° y 5° semestres, contenidos de ciencias Naturales

Programa de Estudios, 4° Semestre, Ciencias Naturales y su Enseñanza I	Programa de Estudios, 5° Semestre Ciencias Naturales y su Enseñanza II
Bloque I. Las ciencias naturales en la escuela primaria	Bloque I. Estrategias de enseñanza: la experimentación.
Bloque II. El desarrollo cognitivo y valoral de los niños y sus formas de percepción y explicación del mundo natural	Bloque II. Estrategias de enseñanza: la investigación.
Bloque III. Medios para la enseñanza y criterios para su empleo	Bloque III. Contenidos de ciencias naturales de especial significado valoral y personal.
Bloque IV. Planeación de la enseñanza y evaluación del aprendizaje en las ciencias naturales	Bloque IV. La ciencia como obra humana y sus valores.
Bloque V. Estrategias de enseñanza: la observación y la manipulación	

4. Conclusiones

La inclusión del tema de los residuos se ha incrementado notoriamente en los libros de texto, no solo en el área de ciencias naturales, en algunas asignaturas aparece de manera constante en todos los grados. El tema de los residuos también se puede abordar desde la perspectiva de cualquier asignatura como un eje transversal en la formación integral del alumno como se puede apreciar en la asignatura de tercer grado de educación física en el Bloque I, Escucho y olvido, veo y recuerdo, hago y entiendo “*Reto*”: Desechos a su lugar, donde la competencia que se desarrolla es la Manifestación global de corporeidad a través de actividad física integrando el concepto de separación de los residuos.

En lo referente al plan de la licenciatura en educación primaria, en este programa para impartir ciencias naturales solo se necesitan los conocimientos adquiridos previamente en el nivel básico y medio. ¿Cómo puede enseñar el docente lo que no sabe?

González [6] pone en evidencia un nivel deficiente de información ecológica, así como actitudes y practicas incongruentes con el discurso elaborado en base a las necesidades de preservación del medio ambiente en un grupo de docentes de distintas escuelas de nivel básico de un municipio de México.

Las ideas es la forma en que se representa al mundo, a través de estas expresamos y asignamos significados, por lo que la forma en que el docente conciba el mundo y su cosmovisión, influirá en su actividad docente; el profesor no podrá enseñar lo que no sabe; como lo afirma Jiménez [7] “por ejemplo, si el maestro concibe la EA como la enseñanza de algunos hábitos como el de tirar basura en un lugar determinado, él se enfocará en este aspecto, sin que exista un proceso de conceptualización además del de concientización”.

Referencias Bibliográficas

- [1] García Ventura, D., Benayas, J., 2010. http://www.marm.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/0904712280038a77_tcm7-53073.pdf
- [2] Rivarosa A., Perales, F., “La Resolución De Problemas Ambientales En La Escuela Y En La Formación Inicial De Maestros”. *Revista Iberoamericana de Educación*. N.º 40. 2006, Pp. 111-124
- [3] Gutiérrez Bastida.. Abril 2011 http://www.programaagua.com/portal/secciones/formacion_educacion/reflexiones/2007_02gutierrez.pdf
- [4] Porta, L., Silva, M. Abril 2011. <http://www.uccor.edu.ar/paginas/REDUC/porta.pdf>
- [5] Díaz de Cossio, R. Los Libros Escolares Mexicanos 1959-2006. UNESCO. Primer Seminario Internacional de Textos Escolares, 2006 pp. 56-63
- [6] González Pelayo, M. *La educación ambiental como proceso formativo y operativo en los alumnos de la Escuela 680 de San Sebastián El Grande, Mpio. de Tlajomulco de Zúñiga, como alternativa de formación*. Instituto superior para la formación y docencia del magisterio, Tesis Maestría. 1994
- [7] Jiménez Salcedo, E (2003) *Las Concepciones De Los Docentes Sobre Educación Ambiental En El Aula De Sexto Grado De Primaria*. Universidad Pedagógica Nacional. Tesis de Maestría 2003. México. D.F.

Participación del sector informal en el manejo de residuos en sitios de disposición final en México

Hugo Favela Ávila, Sara Ojeda Benítez
hugfave@gmail.com,

Resumen

La actividad de recuperación de materiales reciclables provenientes de hogares, comercios, oficinas e industrias, se ha llevado a cabo desde hace mucho tiempo por personas pertenecientes al llamado sector informal (SI), conocidas como pepenadores. La participación de este sector representa la realización de un trabajo con impactos positivos en la economía personal de los trabajadores, medio ambiente, economía municipal y los sistemas locales de manejo de residuos, por lo que es importante analizar la posibilidad de integrar este sector a un sistema municipal. Es importante destacar que en México los pepenadores desempeñan un rol clave en la recuperación de materiales reciclables. Por lo que la relación entre el sector formal (SF) y el SI es necesaria y más cercana de lo que se cree. En este trabajo se analiza el rol que comparte ambos sectores en la recuperación de residuos en sitios de disposición final en Baja California México, así como su participación en el manejo de residuos sólidos, el cual varía de un municipio a otro, inclusive de una delegación a otra. La falta de un ordenamiento y un control adecuado en el manejo de residuos provoca malas prácticas en el manejo tanto por pepenadores, intermediarios y ayuntamiento, así como el caciquismo e injusticias sociales sobre los pepenadores que son actores del primer eslabón en la cadena de recuperación.

Palabras Clave: *tiraderos, pepenadores, recuperación, caciquismo, injusticias sociales*

482

1. Introducción

La forma de vida que se desarrolla en las comunidades es el reflejo de su dinámica económica, además muestra segregación de los distintos grupos a partir de su posición dentro de su estructura social. Se generan discriminaciones en habitantes que son segregados de acuerdo a su nivel de ingreso, la dinámica económica define en gran medida el crecimiento urbano [5]. En esta dinámica económica la aparición del sector informal urbano (SIU) es inevitable, en el que ubicamos actividades como: lava carros, boleros, comerciantes ambulantes, acróbatas, pepenadores, entre otros. El tipo de personas ocupadas en este sector tendrán por lo general ingresos bajos, una instrucción y formación profesional insuficientes, y consecuentemente un nivel bajo de educación.

El primer paso para el desarrollo de un sistema efectivo de manejo de residuos sólidos es establecerlo en la legislación y regulaciones locales y nacionales de un país [2]. Los pepenadores separan en los tiraderos (basureros) [6]. Los pepenadores son principalmente personas organizadas o agrupadas en bandas o gremios mientras en otras culturas los pepenadores son mujeres o familias enteras de hombres, mujeres y niños [1]. La presencia y actividades de los pepenadores no representan algo malo, ya que es una fuente de ingresos para ellos, y ayudan a reducir el volumen de los residuos.

2. Desarrollo

El estudio se llevó a cabo en Mexicali Baja California y en dos comunidades rurales del municipio de Ensenada Baja California (San Quintín y Vicente Guerrero). Mexicali cabecera del municipio con el mismo nombre con una superficie de 13,936 km², con 936,826 habitantes distribuidos entre

la zona urbana y su valle según el Instituto Nacional de estadística y Geografía [3]. El municipio de Ensenada con alrededor de 466,814 habitantes distribuidos entre la ciudad y su valle, es el municipio más grande del estado de Baja California ubicado en la zona costa del pacifico. Mientras en las comunidades definidas como área de estudio, San Quintín con una población de alrededor de 5021 habitantes y Vicente Guerrero con 10, 632 habitantes según datos del Iris Science 2005 [4]. En la figura 1 se observa la ubicación de las áreas de estudio.



Figura 1. Localización de áreas de estudio

Este trabajo es de corte descriptivo y la metodología realizada se basó en la visita a las zonas de estudio y la aplicación de encuestas a pepenadores y sus líderes. Con el fin de conocer sus expectativas en relación a la actividad desempeñada, se diseñó una encuesta en donde se incluirán categorías sobre la comercialización de subproductos e ingreso, condiciones laborales, esquema organizacional, modalidades de agrupación y cantidad de pepenadores.

En la aplicación de la encuesta se tomó en cuenta el número de pepenadores que estaban laborando en el momento de llegar al lugar. En la zona rural existe una cantidad pequeña de personas que trabajan en el sitio y el acceso es controlado por el encargado del predio. Mientras en la zona urbana es variable la cantidad de personas que trabajan por lo que se realizaron tres visitas al sitio. Como primera instancia fue necesario dirigirse con los encargados del área de manejo de residuos en la delegación de San Quintín y en la delegación Benito Juárez en Mexicali. El director de obras públicas fue el contacto en el área rural de Ensenada mientras en Mexicali el contacto es con la encargada del tiradero quienes propiciaron la entrada a los sitios para dirigirse después con los líderes, a los cuales se les solicitó la autorización para realizar la actividad.

3. Discusión y resultados

El sector informal (SI) participa directamente en la recolección de materiales reciclables con valor comercial, desviando algunos que se van a disposición final, son recuperados y destinados a reciclaje antes de ser descartados. Los tiraderos visitados en las zonas de estudio son trabajados de formas diferentes, cada uno ajustado a la necesidad de la comunidad y con características muy particulares (tabla 1).

Tabla 1. Condiciones de las áreas de estudio

Zona	Tipo de tiradero	Condición	Responsable	No. de pepenadores
Mexicali	Cielo abierto	Controlado	Delegación Benito Juárez	Variable (30 a 60)
San Quintín	Cielo abierto	Controlado	Dueño (renta ejidal)	Variable (10 a 30)
Vicente Guerrero	Cielo abierto	Controlado	Municipio (particular)	Máximo 4 o 5

1. En Mexicali se tiene un sistema de recolección regular con camiones recolectores que dan servicio dos veces por semana, actualmente se encuentra en un proceso de concesión de los residuos sólidos, lo que ha provocado toda una política y discusión alrededor de este cambio. Aun así, el tiradero ubicado en el ejido Benito Juárez sigue operando de una forma “poco controlada”, sin acercarse a lo adecuado. La recepción de camiones sin saber la procedencia es común, así como la entrada de pepenadores sin control genera un área de inseguridad y mal manejo evidente. Actualmente la delegación Benito Juárez es la responsable la cual tiene a una persona encargada en el lugar, la cual se encarga de llevar un lista de las personas que asisten a pepenar. El ayuntamiento aun tiene equipo operando en el lugar y se limita a enterrar residuos debido a que el lugar no ha sido clausurado conforme a la ley.
2. El tiradero de San Quintín es ejidal de aproximadamente 20 hectáreas de área, ubicado sobre un cañón de un arroyo y operado por una persona quien paga una renta mensual al ejido (aproximadamente 12,000 pesos m.n.). Esto genera un caciquismo ya que la persona encargada del predio decide quién entra y quién no a su tiradero, además que los particulares deben pagar (100 pesos m.n.) por tirar basura en el lugar. Existe un tipo de convenio verbal entre la delegación y el lugarteniente para permitir a camiones del ayuntamiento tirar en el lugar de forma gratuita. Mientras los pepenadores que trabajan en el lugar están conformados por personas solas de diferentes edades y familias completas con niños pequeños, estos deben vender todo lo que recuperan al dueño del predio sin tener otra opción.
3. El tiradero de Vicente Guerrero se encuentra a unos 20 kilómetros al norte de San Quintín; a tres kilómetros al este de la carretera transpeninsular, con un área aproximada de dos hectáreas manejadas por la delegación de San Quintín, aunque con diferencias en la operación. Esta comunidad cuenta con un tiradero más controlado en un terreno propiedad del municipio, aunque la operación es a través de un particular el cual se encarga de mantener “ordenado” el lugar. Este orden es dado por la limpieza del lugar por medio de la quema controlada realizando una disposición de un cierto número de camiones para que después que se acumula ciertos días es incinerada al aire libre. No se permite acceso a personas solamente existen entre 4 o 5 que son contratadas por el particular por un salario para rescatar algunos materiales reciclables.

En San Quintín y Vicente Guerrero fueron aplicadas 15 encuestas a personas que trabajaban en el momento. La tabla 2 muestra que el 86.6% de las personas que laboran en la pepena trabajaban en el campo del valle de San Quintín. Un 80% de los pepenadores dejaron sus trabajos anterior porque se acabo o no había más por lo que se decidieron a recolectar materiales reciclables. Las personas en este sitio prefiere recolectar metales (73.3%), ya que este material es el mejor pagado, aunque no es mucho lo que se recupera en esta zona. Por otra parte la situación de los pepenadores en esta zona es complicada ya que el 80% llega caminando al lugar, recorriendo un promedio de 6 a 8 kilómetros diarios de ida y vuelta. Esto hace más difícil el comercio de los materiales que recolectan, teniendo como única opción la venta al terrateniente de todo lo que acopian.

Tabla 2. Conceptos de trabajo de pepenadores (zona rural y urbana)

Actividad	Trabajo anterior	¿Porque trabaja aquí?	Material de preferencia
Zona Rural	Campo (86.6%)	No hay más trabajo (80%)	Metales (73.3%)
Zona Urbana	Variado (68.75%)	No hay más trabajo (28.125%)	Metales (68.75%)

En la zona urbana se encuestaron a 32 pepenadores de los cuales el 68.75% antes de trabajar en el tiradero se dedicaban a diversas actividades en las que destacan la de chofer de camión, cocinero y albañiles. Un 28.125% dejo su trabajo anterior por que se acabó y no había más oportunidades laborales. Y un 68.75% prefiere recolectar metales porque es el material con mayor mercado y mayor ganancia personal (tabla 2).

La composición de los residuos difiere entre las comunidades rurales y la urbana, en comunidades rurales con presencia de personas de bajos recursos es más común que los materiales con valor sean recuperados desde el hogar, por lo que al momento de llegar a disposición la basura va seleccionada. Esto se refleja en la baja recuperación en el sitio, y así mismo, en las ganancias de los pepenadores que tienen que trabajar más horas.

La tabla 3 muestra un comparativo de categorías como la jornada laboral promedio, el tiempo promedio laborando en el sitio y la ganancias promedio por día entre la zona rural y urbana.

Tabla 3. Condiciones de las áreas de estudio

Categoría	Zona Rural	Zona urbana
Jornada laboral promedio	9.1 horas/día	8.56 horas/día
Tiempo promedio laborando	3.29 años	7.15 años
Ganancias promedio	130.93 peso/día	207.5 pesos/día

Se observa que existe una diferencia de 0.54 horas en la jornada diaria del pepenador de la zona rural, empleando un horario más amplio con una ganancia menor (130.93 pesos por día). En la zona urbana un pepenador gana en promedio 76.57 pesos más por día, esto es una diferencia de más de un salario mínimo (59.82 pesos/día). En la zona urbana existe un tiempo promedio mayor por pepenador laborando en el sitio de 7.15 años, 3.86 años más que en la zona rural.

En la tabla 4 se enlistan los precios de los materiales comercializados en los sitios de disposición de ambas zonas (rural y urbana). Los precios de venta difieren en cada lugar ya que existe mayor mercado en la zona urbana, comercializando materiales que no se comercializan en la zona rural (bronce, plástico de alta densidad y el PET).

La ganancia en la corriente urbana es mayor con una diferencia de 54.475 pesos más de ganancia que en la parte rural.

Tabla 4. Precios de materiales comercializados en las áreas de estudio

Material	Zona Rural (pesos/kilo)	Zona urbana (pesos/kilo)	Diferencia (pesos/kilo)
Aluminio	12	18	6
Latas hojalata	1.3	2.5	1.2
Hierro	1.5	2.5	1
Cobre	60	60	-
Bronce	/	43	-
Plástico de alta densidad	/	1.4	-
Cartón	0.3	0.50-0.85	0.20-0.55
Pet	/	1.5	-
TOTAL	75.1	129.575	54.475
Para la suma total del valor por kilo, se tomo un promedio del valor del cartón siendo 0.675 pesos, el valor utilizado.			

El trabajo realizado en los tiraderos estudiados es diferente. La recuperación de materiales en la corriente urbana mayor ya que los residuos son más heterogéneos y diversos. Además que los pepenadores tienen mayores oportunidades al existir mas intermediarios y un comercio de materiales que en la zona rural no comercializan, generando mayores ganancias para el pepenador (figura 2).

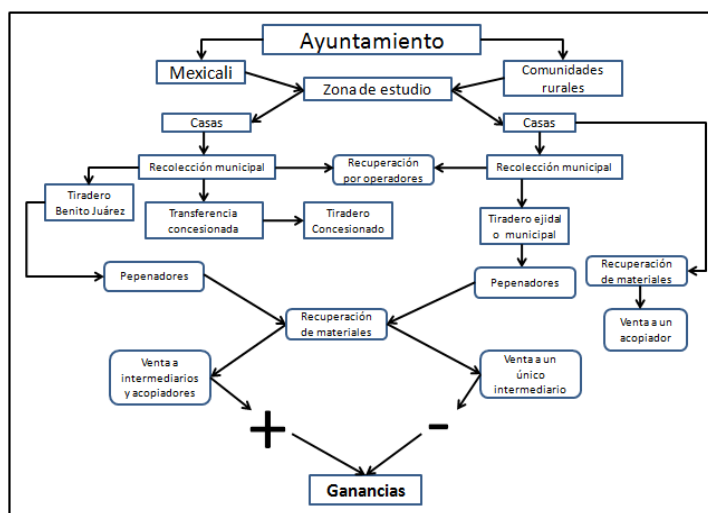


Figura 2. Recuperación de materiales reciclables

En la figura 2 se observa que en Mexicali existen más intermediarios que en la zona rural, esto provoca que exista mayor competencia y mejores ganancias para los pepenadores, ya que estos eligen con quien les conviene más trabajar. En la zona rural sólo le venden a un intermediario encargado del tiradero, por lo que este fija los precios de compra a su conveniencia.

4. Conclusiones

Los tiraderos estudiados en Baja California carecen de una infraestructura adecuada desde la recepción, manejo y disposición de los residuos en las áreas determinadas para ello. El trabajo de pepena es diverso y diferente según el área. Mientras en la ciudad de Mexicali se tiene un sistema más tecnificado con más camiones recolectores, en las comunidades rurales del municipio de Ensenada los tiraderos son manejados de una forma austera y en donde no existe la aplicación de los reglamentos en materia ambiental.

La participación de los pepenadores en la recuperación de materiales reciclables es importante, son la principal mano de obra en esta actividad, pero siguen siendo poco valorados y víctimas de abusos como el caciquismo de algunas personas. La carencia de recursos financieros y humanos para la aplicación de la legislación existente, provoca abusos en el pepenador como en el medio ambiente. La falta de un trabajo eficiente por parte de las autoridades en el manejo de los residuos incita a malas prácticas de manejo como la quema y el entierro de residuos, siendo estos las principales opciones de disposición y tratamiento.

La búsqueda de la supervivencia por parte de los pepenadores hace que estos tengan que soportar situaciones que complican su labor. Las grandes distancias que deben recorrer, así como el ambiente hostil generado por la competencia y presión de trabajo por obtener alguna ganancia, genera riesgos latentes, ya que estos se arriesgan más por obtener algo de valor, trabajando en laderas de desfiladeros e inclusive viviendo en los sitios, generando riesgos por insolación, contacto con residuos de todo tipo o por picaduras de animales ponzoñosos (arácnidos, víboras, escorpiones).

Bibliografía Bibliográficas

[1] Blight G., E., y Mbande C., M. Some problems of waste management in developing countries. Journal of solid waste Technology and management. 23, 1996, pp, 19-27.

- [2] Hristovski K., Olson L., Hild N., Peterson D., Burge S. The municipal solid waste system and solid waste characterization at the municipality of Veles, Macedonia, Waste Management, vol. 27, 2007, pp. 1680–1689.
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010. <http://www.inegi.org.mx/>
- [4] Iris-Science 2005. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
- [5] Mitchell C. L. Altered landscapes, altered livelihoods: The shifting experience of informal waste collecting during Hanoi urban transition geoforum. 39, 2008, pp. 2009-2029.
- [6] Wamsler C. El Sector Informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales en el Estado de México. 2000, Secretaría de Ecología.

Propuesta de un plan de manejo integral de los residuos sólidos urbanos en Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil, localidades del estado de Oaxaca

Melquiades Cortés Pérez, M.I.A. Miguel Ángel Curiel Olivera
yaguar.jo@gmail.com

Resumen

En la Sierra Norte del estado de Oaxaca el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) representa ya una problemática compleja, esto debido a la falta de información, capacitación, planeación y financiamiento, para formular estrategias enfocadas al manejo integral de los RSU. El presente trabajo se estructura en dos partes, el primer paso consistió en la formulación de un diagnóstico de la situación actual del manejo de RSU, basado en un estudio de generación y caracterización de los RSU, el análisis de las rutas de recolección de los RSU y la verificación de los sitios de disposición final de los RSU mediante la NOM-083-SEMARNAT-2003. En cada una de las localidades en estudio. En una segunda fase se diseñó un Plan de Manejo Integral de los RSU en el que se identificaron acciones, tales como un programa de educación ambiental que fomente la participación de la población con el fin de promover el manejo integral de los RSU mediante talleres, pláticas, folletos y manuales, también se contempló la propuesta de un relleno sanitario tipo D para cada localidad, un centro de acopio para separar los residuos susceptibles a reciclaje, y una serie de acciones para la reducción en el origen, la separación y el almacenamiento temporal de los RSU, además de estrategias para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSU. El manejo de residuos peligrosos en casas y oficinas también fue considerado. El fortalecimiento del reglamento municipal en materia de manejo de RSU es otra aportación.

488

Palabras Clave: *plan de manejo integral de residuos sólidos urbanos, Santa Catarina Lachatao, San Juan Chicomezúchil*

1. Introducción

En el estado de Oaxaca el manejo de los residuos sólidos al igual que en el resto del país, presenta ya una problemática muy compleja, que no solo es exclusiva de las zonas urbanas en donde se concentra la mayor parte de población, sino también ya es preocupante en localidades rurales, donde no existe un sistema de recolección y mucho menos un sitio técnicamente adecuado y destinado para su manejo y control, lo que ocasiona tiraderos clandestinos en cuerpos de agua y terrenos abandonados por lo general en la cercanía de la localidad, poniendo en riesgo tanto la salud pública como la salud de los ecosistemas naturales. En relación a lo anterior, las zonas rurales del estado de Oaxaca requieren atención apropiada enfocada a la gestión ambientalmente adecuada de sus residuos sólidos urbanos.

2. Metodología

2.1 Los estudio de generación, caracterización y peso volumétrico de los residuos sólidos urbanos de tipo domiciliarios

Para ambas localidades se realizaron bajo lo establecido en las siguientes Normas Mexicanas:

NMX-AA-61-1985, Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de la generación.

NMX-AA-15-1985, Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo.

NMX-AA-022-1985, Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-selección y cuantificación de subproductos.

NMX-AA-19-1985, Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-peso volumétrico "in situ".

2.2 Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos

Para la evaluación de las rutas de recolección vigentes en ambas localidades se optó por el Manual para diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales SEDESOL 1997. También se realizaron seguimientos a los vehículos de recolección en cada localidad.

2.3 Sitios de Disposición Final

En el caso de la evaluación de los sitios de disposición final, se llevaron a cabo bajo la guía de verificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003, para lo cual se requirió de visitas a los sitios de disposición final actuales de ambas localidades, con la finalidad de evaluar cada uno de estos.

2.4 Propuesta de Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos

Para la elaboración de la propuesta de plan de manejo integral de residuos sólidos en ambas localidades se tomaron como base los resultados de estudios de generación, caracterización y determinación de peso volumétrico de los Residuos Sólidos Urbanos de tipo Domiciliarios obtenidos en cada localidad, así también el análisis realizado a las rutas de recolección y la evaluación de las condiciones del sitio de disposición final bajo la guía de verificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003. También se realizó una revisión en artículos, manuales y normatividad vigente para el diseño de estrategias enfocadas al manejo integral de residuos sólidos.

3 Resultados y Análisis de Resultados

3.1 Generación per-cápita

La generación promedio de Residuos Sólidos Urbanos de tipo Domiciliarios obtenidos en la localidad de Santa Catarina Lachatao fue de 0.144 Kg/hab.día. y en San Juan Chicomezúchil fue de 0.074 Kg/hab.día. Comparando los resultados con el promedio nacional y estatal de Residuos Sólidos Urbanos se considera una generación per-cápita aceptable pues está por debajo de los ya mencionados parámetros nacional y estatal. Tomando como base los resultados de los estudios de generación de los Residuos Sólidos Urbanos de tipo Domiciliarios en Santa Catarina Lachatao y en San Juan Chicomezúchil y como complemento las estimaciones del Instituto Nacional de Ecología donde la fracción domiciliaria representa en promedio el 77% de los Residuos Sólidos Urbanos y el restante 23% proviene de espacios públicos, comercios, instituciones, etc. (INE, 1997) Se calculó la generación total de Residuos Sólidos Urbanos en cada localidad. Los resultados de las estimaciones para ambas localidades se presentan en la tabla 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1. Proyección poblacional y de generación de Residuos Sólidos en Santa Catarina Lachatao

Año	Habitantes en la localidad	Generación per-cápita kg/hab.día	Generación diaria ton/día	Generación anual ton/año
2010	199 hab	0.187	0.037	13.582

Tabla 2. Proyección poblacional y de generación de Residuos Sólidos en Santa Catarina Lachatao

Método aritmético		Método geométrico		Suma	Promedio habitantes	Generación per-cápita kg/hab.día	Generación diaria ton/día	Generación anual ton/año
2015	247 hab	2015	161 hab	408	204	0.206	0.042	15.330
2020	295 hab	2020	155 hab	450	225	0.224	0.050	18.250
2025	343 hab	2025	149 hab	492	246	0.243	0.059	21.535

Tabla 3. Proyección poblacional y de generación de Residuos Sólidos en San Juan Chicomezúchil

Año	Habitantes en la localidad	Generación per-cápita kg/hab.día	Generación diaria ton/día	Generación anual ton/año
2010	320 hab	0.096	0.030	11.212

Tabla 4. Proyección poblacional y de generación de Residuos Sólidos en San Juan Chicomezúchil

Método aritmético		Método geométrico		Suma	Promedio habitantes	Generación per-cápita kg/hab.día	Generación diaria ton/día	Generación anual ton/año
2015	359 hab	2015	238 hab	597	299	0.106	0.031	11.315
2020	398 hab	2020	224 hab	622	311	0.115	0.035	12.775
2025	437 hab	2025	211 hab	648	324	0.125	0.040	14.600

3.2 Peso Volumétrico

El Peso Volumétrico resultante en Santa Catarina Lachatao fue de 121.093 Kg/m³ mientras que en San Juan Chicomezúchil fue de 62.378 Kg/m³. Ambos resultados son necesarios para la propuesta del relleno sanitario en cada una de las localidades. Los resultados están dentro de los parámetros aceptables, siendo evidente una mayor compactación de los Residuos Sólidos Urbanos en Santa Catarina Lachatao que en San Juan Chicomezúchil. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos del peso volumétrico en las localidades objeto de estudio.

Tabla 5. Generación de Residuos Sólidos Urbanos de tipo Domiciliarios y Peso Volumétrico de ambas localidades

Peso Volumétrico obtenido en Santa Catarina Lachatao	Peso Volumétrico obtenido en San Juan Chicomezúchil
121.093 Kg/m ³	62.378 Kg/m ³

3.3 Caracterización y cuantificación de los Residuos Sólidos Domiciliarios

Para Santa Catarina Lachatao, el estudio de caracterización arrojó 14 subproductos distintos que se pueden observar en la tabla 6, estos datos denotan la variedad de residuos sólidos que se generan a diario en la localidad, siendo los residuos de la fracción orgánica los predominantes, los residuos de jardinería representan el 35% en peso, seguidos de un 27% de las cenizas, en tercer lugar se ubican los residuos alimenticios con un 12.7%, el cuarto lugar lo ocupa la fracción inorgánica con el 3.6% de PET (tereftalato de polietileno) encontrados y el 3.2% de bolsas de plástico. Para San Juan Chicomezúchil, el estudio de caracterización se obtuvieron 15 subproductos distintos, como se puede observar en la tabla 7, estos datos denotan la variedad de residuos sólidos que se generan a

diario en dicha localidad, siendo los residuos de la fracción orgánica los predominantes, los residuos alimenticios, representaron un 55% en peso, seguida de los pañales desechables con un 16%, 5% de cartón encerado (en su mayoría botes de leche). Las botellas de plástico representaron el 6% en la composición total de los residuos domiciliarios muestreados. Las bolsas de plástico representaron el 7% del total.

Tabla 6. Composición de los residuos sólidos urbanos domiciliarios en la localidad de Santa Catarina Lachatao

No.	Subproductos	Promedio en Kg	% en peso
1	Residuo de jardinería	49.297	35.976
2	Ceniza	37.196	27.145
3	Residuos alimenticios	17.397	12.696
4	Pet	4.947	3.610
5	Bolsas de plástico	4.446	3.245
6	Envase de cartón encerado	3.966	2.894
7	Vidrio	3.611	2.635
8	Papel	3.514	2.564
9	Lata	2.819	2.057
10	Pañal desechable	2.740	2.000
11	Cartón	2.726	1.989
12	Plásticos rígido	2.380	1.737
13	Otros	1.616	1.179
14	Trapo	0.372	0.271
Suma		137.027	100 %

Tabla 7. Composición de los residuos sólidos urbanos domiciliarios en la localidad de San Juan Chicomezúchil

No.	Subproductos	Promedio en Kg	% en peso
1	Residuos alimenticios	10.780	54.848
2	Pañal desechable	3.139	15.971
3	Plástico	1.426	7.253
4	Pet	1.140	5.800
5	Papel	1.086	5.527
6	Cartón encerado	0.944	4.803
7	Aluminio	0.273	1.388
8	Vidrio	0.205	1.041
9	Cartón	0.157	0.796
10	Residuos eléctricos	0.137	0.697
11	Trapo	0.120	0.608
12	Cerámica	0.104	0.530
13	Plástico rígido	0.068	0.343
14	Residuos de jardinería	0.057	0.290
15	Unicel	0.021	0.104
Suma		19.654	100 %

3.4 Rutas de Recolección

Arrojaron tiempos muy largos de recorrido, en Santa Catarina Lachatao fue de dos horas con quince minutos mientras que en San Juan Chicomezúchil fue de una hora con veinte minutos. Ambas localidades comparten las características de contar con un vehículo susceptible a fallas mecánicas por antigüedad, no hay una fecha definida para la recolección la cual varía entre ocho y quince días, cuando la ruta se lleva a cabo los participantes no utilizan protección personal lo que los hace susceptibles a contagio de enfermedades infecciosas como gastrointestinales. El personal involucrado en Santa Catarina Lachatao fue solamente el Topil municipal quien condujo el carro recolector y se encargo de las labores de recolección pública y domiciliaria en todo el recorrido. En San Juan Chicomezúchil los participantes fueron el Regidor de Ecología, integrantes del comité de salud y el chofer municipal. A excepción del chofer municipal los demás participantes realizaron las labores de recolección tanto de espacios públicos como domiciliarios.

3.5 Sitio de Disposición Final de los Residuos Sólidos Urbanos

En Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil no se cuenta con un sitio de disposición final que cumpla con la Normatividad actual vigente (NOM-083-SEMARNAT-2003), en ambas localidades opera lo que técnicamente se conoce como tiradero a cielo abierto, práctica que se caracteriza por la simple descarga (vertido) de los residuos sobre el terreno, sin medidas de protección ambiental ni de salud pública.

4 Propuesta de Plan de Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil

4.1 La educación ambiental como estrategia para promover el manejo integral de los residuos sólidos urbanos en Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil

El objetivo que persigue este apartado dentro del Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos es promover la Educación Ambiental en los habitantes de cada localidad, para que sea concebida como instrumento fundamental en la transformación de su entorno, mediante la utilización de estrategias y herramientas pedagógicas que provoquen el análisis y reflexión de la problemática ambiental actual, y que con esto revaloren sus actividades y prácticas de manejo de residuos sólidos. La propuesta pedagógica es un programa para la Gestión Integral Comunitaria de Residuos Sólidos Urbanos llamado “*Por un Mundo Limpio*”. El temario se propone abordar por medio de talleres, pláticas, así como dinámicas en las que los participantes se involucren de una forma teórica y práctica en la problemática y las soluciones al inadecuado manejo de los Residuos Sólidos Urbanos.

4.2 Reducción en el origen

Se propone la difusión y aplicación del consumo responsable en sus tres subdivisiones: Consumo Ético, Consumo Ecológico y Consumo Social o Solidario.

4.3 Compostaje como tratamiento y aprovechamiento de la fracción orgánica

Para Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil es sumamente factible la aplicación de compostaje o lombricompostaje como alternativa de tratamiento a la fracción orgánica, esto en base a los resultados de la caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarios en ambas localidades. En Santa Catarina Lachatao el 75% de la composición de Residuos Sólidos Urbanos de tipo domiciliar es de composición orgánica, y en San Juan Chicomezúchil es el 55%. Estos resultados hacen atractiva la aplicación de composta y lombricomposta en las viviendas de ambas localidades. La propuesta se enfoca al compostaje o lombricompostaje casero, el cual se difundirá por medio de trípticos y carteles informativos, así como una muestra física de ambos tipos de compostaje.

4.4 Propuesta de un Centro de Acopio

El centro de acopio se dimensionó teniendo como base los estudios de generación, caracterización y peso volumétrico de los Residuos Sólidos Urbanos de tipos Domiciliarios en Santa Catarina Lachatao y en San Juan Chicomezúchil. Para Santa Catarina Lachatao se propuso acopiar PET, Vidrio, Cartón y Latas de Aluminio y para San Juan Chicomezúchil se propuso acopiar PET, Vidrio, Cartón y Bolsas de Plástico. Lo anterior por presentar porcentajes notables en peso de la composición de Residuos Sólidos Urbanos de tipo Domiciliarios. Para ambos casos se recopiló la información de centros acopiadores de dichos materiales para garantizar el éxito. Este centro de acopio reciclaría un 15% de los Residuos Sólidos Urbanos de cada localidad, evitando la explotación de más Recursos Naturales así como también reduciría la carga de Residuos al relleno sanitario, dándole más tiempo de vida útil.

4.5 Propuesta de un Relleno Sanitario

La propuesta del relleno sanitario tuvo como base los estudios de generación, caracterización y peso volumétrico de los Residuos Sólidos Urbanos Domiciliarios además de complementarse con el cálculo de la generación de los Residuos Sólidos no Domiciliarios. Estos resultados nos indicaron que debe ser un relleno Sanitario Manual tipo D, además sirvieron para proyectar las dimensiones de las celdas que serán de 1400 m³ cada una, con un total de 4 y un tiempo de vida útil de 4 años, también se estimó el área total necesaria para su construcción la cual será de 1.2 hectáreas. Por las condiciones orográficas de ambas localidades se propone utilizar el método de área ya que su

construcción es más factible en terrenos accidentados. Dentro del Relleno Sanitario se propuso la construcción de un cuarto de almacén y vestidores, también una laguna de evaporación de lixiviados lo que obliga a instalar un sistema de drenaje de los mismos, la cerca perimetral para evitar fauna nociva y tener un mayor control en la entrada de Residuos al relleno. En el mismo terreno del relleno está proyectada la construcción del centro de acopio y de la composta para los Residuos Sólidos Urbanos no Domiciliarios de composición orgánica.

5 Conclusiones

Se identificaron diversos problemas con relación a la disposición final de Residuos Sólidos Urbano. Uno de ellos es relacionado con la carencia de información, tanto en los encargados como en general en la población. Sin una adecuada información se están generando las condiciones para propiciar fuertes problemas ambientales y de salud. Entre estos, por ejemplo la quema de residuos a cielo abierto, lo que es altamente contaminante por la liberación de gases tóxicos y de efecto invernadero. En algunos casos el manejo inadecuado de residuos sólidos (recolección, transporte y descarga) por parte de los encargados está vinculado con la aparición de diversos problemas de salud graves como infecciones dérmicas y gastrointestinales. Otro problema es el referido al gasto económico y energético en las rutas de recolección, ya que con una buena planeación estas pueden optimizarse ahorrándose tiempo, dinero y combustible que a la vez reduce la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera. Entre las alternativas valoradas está el fomento de la Educación Ambiental, que en cada comunidad se ha desarrollado de manera diferente. En Santa Catarina Lachatao presenta una mayor participación. Entre sus prácticas formativas tienen actividades de reutilización que desarrollan grupos como la casa de día para adultos mayores y el Centro de Atención Infantil Comunitario donde además se orienta a la concientización sobre la revalorización de los materiales para el ahorro de recursos naturales, otro de los puntos importantes es la cultura de la separación de residuos en el tiradero municipal donde los materiales susceptibles a reciclaje son separados para dicho proceso. Para San Juan Chicomezúchil se tiene un fuerte potencial para desarrollar aspectos de Educación Ambiental, esto reflejado en el interés de los habitantes por recibir capacitación para el Manejo Integral de sus Residuos Sólidos, en la localidad ya existen practicas de lombricompostaje, sin embargo, no todos cuentan con el material necesario pero si con la disponibilidad de realizar este tipo de compostaje en sus hogares. En cuanto a la disposición final, actualmente se encuentra en construcción un Relleno Sanitario Microregional, el cual cubrirá las necesidades de ambas localidades, esto nos hace concluir que el punto central en ambas localidades para lograr un Manejo Integral de sus residuos Sólidos es trabajar el aspecto educativo, o como ya se menciona anteriormente el punto clave es la Educación Ambiental enfocada a los habitantes de las localidades.

Referencias Bibliográficas

[1] INE. *Estadísticas e indicadores sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México* (Primera edición ed.). (1997). México. 58 pg.

Reuso de lonas de plástico; un ejemplo práctico de participación ciudadana

Monserrat Vidal Cobos, Dora Argelia Hernández Martínez, José Gpe. Melero Oláquez
sakura_mon15@hotmail.com

Resumen

Actualmente en la gran mayoría de las empresas e instituciones gubernamentales, el uso de lonas para hacer públicos los objetivos, decisiones o simplemente para llevar a cabo alguna campaña de interés para la propia empresa, o anuncios informativos, ha hecho de estas un artículo de mucho uso, pero también muy contaminante pues se usan un tiempo relativamente corto y se desechan como residuos sólidos. En este trabajo se presenta, además de sencilla, una forma práctica de cómo se pueden reusar estas lonas fabricando bolsas adecuadas y resistentes para cargar el mandado y con ello promover la reducción de la contaminación que se genera en el uso de bolsas de plástico, además de promover una cultura de educación ambiental en la sociedad.

Palabras Clave: *residuos sólidos, reusar, contaminación, lonas, educación ambiental*

1. Introducción

La ciudad de Mexicali recurre a distintos medios de propaganda publicitaria, entre ellos están las “lonas”. Éstas están compuestas por plásticos tales como el PVC y poliéster (termoplástico) los cuales no son biodegradables y pueden llegar a permanecer en el ambiente durante décadas o incluso siglos. La cantidad de lonas por negocio es variable pero puede alcanzar cifras muy elevadas. Lo anterior aunado a la permanencia de las lonas en el ambiente resulta en una amenaza para la integridad ecológica de la ciudad. Es necesario conocer el impacto que este fenómeno en crecimiento tiene sobre el ambiente ya que se trata de una situación pocas veces tomada en cuenta por las autoridades. Por este motivo se buscó hacer algo con esta materia prima, actualmente en las tiendas departamentales y supermercados se está buscando la forma de terminar con el consumo innecesario de las bolsas de plástico biodegradables que son una de las principales fuentes de contaminación y se producen cientos y cientos de bolsas para las industrias y comercios. Su consumo día a día cada vez es mayor debido a su distribución gratuita en supermercados y tiendas. Es por ello que la lona como materia prima resistente, se determinó darle un uso fabricando bolsas ecológicas, llamadas así debido a que cumplen con las expectativas de las tres R's de la ecología; Reciclar, Reusar y Reducir. La mejor forma de terminar con la contaminación producida por las lonas no es dejar de consumir sino de buscar otras alternativas que no solamente ayuden a la economía sino también al medio ambiente.

2. Desarrollo

En el tecnológico tenemos un centro de acopio de lonas, con ello buscamos recaudar las lonas publicitarias que ya no se usan y que solo están guardadas y empolvadas y que nosotros convertimos en bolsas para mandado, prácticas y resistentes. En general, nuestra sociedad no está informada que tanto pueden contaminar algunos objetos que usamos a diario. Es por ello que con ésta campaña además de recaudar lonas y no disponerlas en la basura, buscamos informar a nuestra sociedad del problema. Nuestro objetivo primordial es hacer uso de este material que nos beneficie tanto a nosotros como a nuestro medio ambiente.



Figura 1. Bolsas ecológicas, bolsas hechas de lona

2.1 ¿Qué es una lona de plástico?

La lona de plástico (también conocida como lona impermeable o polietileno) es una lámina de material fuerte, flexible, resistente al agua o impermeable. La lona se ha convertido en el medio más común de la ayuda para pintura de aceite, sustituyendo paneles de madera. Una lona estándar tiene un núcleo tejido o tramado negro y está laminada por ambos lados. Toda lona de plástico debe cumplir normas mínimas de desempeño. Una lona es tela cubierta por PVC donde el contenido medio de compuesto de PVC es de 60 a 70%, siendo el resto principalmente fibras de poliéster. Éstas a su vez tienen un cierto valor como materia prima para no tejidos, siempre que las fibras sean suficientemente largas; existen diferentes calibres y colores de lona.

Hoy, la mayoría de las lonas se hacen de algodón. La lona basada en algodón puede alcanzar el mismo nivel de la perfección que el lino pero de hecho puede ser un material mejor que el lino para la producción de las impresiones de la lona. La lona del algodón puede estirar más que el lino y tiene una armadura mecánica más uniforme que pueda durar por décadas.

También el material de las lonas se usa para fabricar albercas dando muy buen resultado tanto en lo económico como por su flexibilidad [1].

La lona publicitaria es un soporte que se coloca al aire libre conteniendo imágenes, slogans y otros mensajes publicitarios. Consiste en una tela xerografiada de grandes dimensiones a la que se han practicado unos orificios laterales. La superficie de la lona no es perfectamente lisa; por lo tanto la textura tiene un efecto en cada pintura cuando se aplica [2]. La lona de plástico se debe mantener fuera de los rayos del sol, lejos de los roedores y en un lugar seco.

2.2 Para usar la lona con seguridad

Es necesario limpiar la lona de plástico antes de reutilizarla. Se debe quitar el polvo de la superficie y lavarla después con una solución al 0.2% de cloro para desinfectarla. También es importante que la zona de limpieza esté ubicada a 50 metros de cualquier fuente de agua para no contaminar los arroyos o el agua potable. Si una pieza no se puede reparar para lograr un tamaño que sea utilizable, se puede formar una pieza uniendo retazos para usarla como protector de sol, división de ambientes, cubiertas para barriles o vehículos.

2.3 Forma de fabricar la bolsa.

2.3.1 Materiales del producto

- a) agua y jabón
- b) hilo de cáñamo
- c) tijeras

2.3.2 Pasos para realizar el producto

- a) Se lava la lona con agua y jabón
- b) Se deja secar al aire libre
- c) Se procede a reparar la lona si es necesario
- d) Posteriormente se hacen los cortes y medidas tanto de las astas como de la bolsa
- e) Finalmente se genera la bolsa (una vez generada la bolsa si el cliente lo desea se pueden decorar al gusto).

2.4 Problema ambiental

La contaminación publicitaria que sufren las ciudades plantea dos interrogantes:

1. ¿Cuáles son los efectos nocivos de esta saturación y sobre-exposición para la salud del paisaje?,
2. ¿Qué legitimidad y licitud tiene el mundo privado para tomar la calle, para servirse de un bien público?

Se inaugura, pues, un debate en torno a la ecología de la publicidad y a la insostenibilidad de la publicidad en las ciudades. De un tiempo relativamente corto a la fecha se contempla la contaminación como un problema cada vez más grave. No toda la contaminación visual es publicitaria ni toda la contaminación publicitaria es visual. La publicidad, además de las manifestaciones, está empezando a ser considerada como un importante motivo de deterioro del paisaje urbano. Si vemos a través del tiempo como ha cambiado la publicidad en general, nos daremos cuenta que ahora las empresas encargadas de ésta usan más plásticos en general y menos cartón para llevar a cabo campañas, esto tanto los partidos políticos como las diferentes instituciones y empresas. La saturación publicitaria es el principal agente de distorsión y de contaminación visual y ambiental en el ecosistema urbano principalmente en épocas de elecciones. Hoy día la publicidad en todas las ciudades llena los espacios públicos en todos los sentidos posibles, por lo que hablar únicamente de contaminación visual, ésta no refleje la verdadera dimensión del problema.

2.5 La bolsa no es biodegradable

Esta es una propiedad inherente a todos los plásticos y por supuesto al PVC. La biodegradación produce gases perjudiciales para el medio ambiente, tales como CO₂, metano y otros que son causa principal de los gases de efecto invernadero. Además para que se produzca la biodegradación es necesaria la presencia de aire y líquidos, pero como ya se mencionó anteriormente, la lona contiene elementos difíciles de degradar.

2.6 Ventajas

- a) Utilización eficiente de los recursos naturales no renovables. Requiere de ellos en menor proporción que otros materiales.
- b) Es amigo de la naturaleza. Su empleo en perfiles para recubrimientos, puertas y ventanas ayuda a minimizar el corte de árboles de manera indiscriminada y el uso de pinturas ya que no requieren mantenimiento.
- c) Es muy resistente y se usa en aplicaciones de larga duración. Esto explica que estudios realizados demostraron que en el total de los residuos domésticos, el PVC constituye menos del 1% del total. [1]

3. Resultados

A continuación se mencionan algunos eventos en los que se ha participado promoviendo el acopio, reúso y fabricación de las bolsas de lona.

3.1 Participación en exposiciones

Se ha participado con éxito en tres eventos masivos, a continuación se presentan datos relevantes de estos:

- a) La primera ocasión donde se dio a conocer nuestro producto fue en el Instituto Tecnológico de Mexicali donde se organizó una expo ambiente en el año 2010. Se realizó una muestra de 60 bolsas las cuales se vendieron a \$50.00 m/n, esto nos permitió observar que además de tener aceptación entre los alumnos y trabajadores de la Institución, nos dio la satisfacción de ver que el producto lo adquirirían por la motivación que se tiene del cuidado del medio ambiente, pues las bolsas para mandado que se venden en las cadenas comerciales son más baratas, pero mucho menos resistentes.
- b) En la segunda ocasión tuvimos el placer de que nos invitaran a una expo ambiente estatal, organizada por el gobierno del estado, a través de la Secretaría de Protección Ambiente, se llevó a cabo en abril de 2011. Se tuvo la oportunidad de interactuar con jóvenes de edad pre-escolar, primaria, nivel medio y superior. Fue muy interesante puesto que hubo intercambio de ideas de ambas partes, nosotros como expositores y ellos como audiencia, además que se logró con éxito dar el mensaje del cuidado del medio ambiente a través de la presentación de las bolsas y con información escrita que se les daba.
- c) El departamento de Ingeniería Química y Bioquímica se unió para realizar nuevamente una expo ambiente donde dentro de la Institución donde por segunda ocasión fuimos invitados en el mes de mayo de 2011. El lema de esta exposición fue: "El medio ambiente nos une". Con agrado vimos como nuestro producto tuvo aceptación entre los alumnos y docentes que asistieron, pues además de la información escrita que se repartió, también tuvimos demanda de nuestras bolsas ecológicas.



Figura 2. Expo ambiente organizada por el gobierno estatal

3.2 Generación de ingresos

Limpiar, cortar y reutilizar la lona de plástico requiere trabajo. Estas actividades se pueden incorporar a proyectos de generación de ingresos, en nuestro caso, contratamos a una persona profesional para la fabricación de las bolsas.

3.3 Si la lona no se reúsa

Si las lonas no son reusadas o de alguna forma reciclada, además de tirarlas a la basura y permanecer como tales sin biodegradarse pueden entrar a un proceso de:

- a) Incineración. Para incinerar lonas de plástico, o para usarlas como combustible, la temperatura de combustión debe ser superior a 1200 °C. Esta es una temperatura mayor a la de las cocinas domésticas o fuegos abiertos, por lo que se necesitaría incineradores industriales u hornos de cemento. Es importante anotar que la complejidad técnica de la incineración puede significar que no sea económicamente rentable [3].
- b) Enterrar las lonas de plástico. No se recomienda enterrar las lonas de plástico porque permanecen en el suelo sin degradarse durante cientos de años. (Necesita luz solar para la degradación). Sin embargo, es un material relativamente inerte y por ello es poco probable que contamine el suelo. Si es necesario enterrar la lona de plástico, se debe hacer lejos de todas las fuentes de agua.

4. Discusión

En varios países del mundo (como Francia, Dinamarca, Irlanda, España, China, Suiza e Italia) ya no se permite usar bolsas de plástico (pueden estar hechas de polietileno de baja densidad, polietileno lineal, polietileno de alta densidad o de polipropileno, los cuales son polímeros de plástico no biodegradable), particularmente en el D.F. ya hay una ley que prohíbe que las tiendas departamentales den bolsas de plástico para el mandado o cualquier otra cosa que los clientes compren, por lo que cada cliente debe llevar sus propias bolsas, con esto se busca evitar la contaminación por medio de estas bolsas, que además de ser muy frágiles y la gente las tira donde sea, por ser muy volátiles causan una mala imagen para la ciudad pues se pueden encontrar en cualquier rincón y barda de cualquier ciudad. Son muchas las ventajas de reusar las lonas, por ejemplo en la India [4] con las lonas se fabrican bolsos para celulares, buscando crear una cultura en pro del medio ambiente que además de obtener ganancias, se impacta en la sociedad con objetos además de creativos, respetuosos con el medio ambiente.

5. Conclusiones

Además de ser un producto de material reciclable, es muy resistente y flexible, ya que las bolsas tiene un sin fin de usos, para las amas de casa les ayuda mucho en las compras del mercado, esto hace que poco a poco se generen menos bolsas de plástico que dan en los supermercados y tiendas de conveniencia que además de ser muy frágiles, son altamente contaminantes; también se pueden usar para guardar herramientas ya que como se mencionó anteriormente son muy resistentes y pueden soportar entre 50 a 60 kilos.

Las exposiciones nos han permitido conocer gente tanto adulta como joven que ven con buen agrado el reúso de las lonas y les parece bien el trabajo de concientización que se está realizando con ellas, por eso podemos decir que además de generar un buen tema de educar ambientalmente a las personas, también se pueden generar ingresos monetarios con la venta de dichas bolsas. Este proyecto nos ha dejado satisfacciones tanto académicas como personales, puesto que hemos logrado cada objetivo que nos hemos propuesto, desde usar una materia prima con la característica de no ser biodegradable y transformarla en un producto viable, hasta el contribuir con inyectarles motivación a las personas para que en conjunto logremos grandes cosas.

La sociedad en general al escuchar la palabra biodegradable cree que el residuo realizará por sí solo la degradación, sin embargo muchas veces necesitan de los factores naturales para que el proceso se lleve a cabo rápidamente, y en el caso contrario, nos asusta mucho la idea de que no sea biodegradable, posiblemente agregando aditivos se pueda dar una solución, sin embargo en la actualidad es muy costoso y se prefiere no contemplar esta posibilidad. Pero podemos ver el lado positivo a este aspecto, un material que no sea degradable no significa que sea malo, puede tener mejores características que cualquier otro material, ¿Por qué no pensar en explotar ese material para beneficio ecológico?, en vez de tirarlo y tratar de deshacernos de él en los depósitos de basura. Si

todos pensáramos un poco más en el medio ambiente antes de pensar en nosotros mismos lograríamos grandes cambios, nos daríamos cuenta que al final del día nos estaríamos beneficiando a nosotros mismos y a las futuras generaciones, tendríamos la satisfacción que por lo menos pusimos un granito de arena y no nos quedamos con los brazos cruzados dejando que las cosas sigan su curso y dañando aún más nuestro planeta.

Referencias Bibliográficas

- [1] Goette, H. Año 2005 (Fecha de consulta: 26 Mayo 2011).
http://www.sonne.com.ar/contenido/espaniol/piscinas/manual_recomendaciones.htm
- [2] Graham Saunders, FICR, Rick Bauer. Oxam GB. "Guía sobre las especificaciones y uso de la lona de plástico en la ayuda humanitaria". La lona de plástico. Julio 2007. (pp.32-33)
- [3] BCN-SJU. "Bolsas de lona reciclado", Arquillano (arquitectura y diseño). Mayo 2011.
- [4] Patodia, M. (Fecha de consulta: 26 Mayo 2011). <http://www.patodiagroup.com>

Variables psicográficas que influyen en el comportamiento proambiental del consumidor por estrato socioeconómico

Wendolyn Elizabeth Aguilar Salinas, Sara Ojeda Benítez
tunny23@gmail.com

Resumen

Una de las actividades principales en la sociedad que involucra la generación de residuos sólidos, es el consumo. Para el desarrollo de estrategias que permitan la disminución en la generación de residuos sólidos, será necesario del conocimiento de las características que llevan al consumidor a desarrollar conductas ambientales en el proceso de compra. Las variables psicográficas han sido indicadores de comportamientos ecológicos, ya que muestran los criterios que los individuos siguen para seleccionar y justificar sus acciones y que permiten la identificación de distintos tipos de consumidores, por lo que serán el punto principal de este trabajo. Debido a esto, se analizarán las actitudes y creencias encontradas en la población y que se han vuelto parte del desarrollo de comportamientos proambientales, mediante el estudio de una muestra representativa de la población de la ciudad de Mexicali, dividida en siete estratos socioeconómicos.

Palabras Clave: *comportamientos proambientales, consumo, proceso de compra, psicográficas, residuos sólidos*

1. Introducción

En los últimos años se ha constatado una creciente sensibilización por parte de los consumidores acerca de las consecuencias de sus decisiones de compra sobre el medio ambiente en general, y sobre su salud, en particular. El principal obstáculo para el desarrollo de este mercado en México radica en dos aspectos: escasa disponibilidad de producto ecológico en establecimientos convencionales y elevados precios de venta, superiores a la disposición a pagar del consumidor por el atributo ecológico [1]. Sin embargo, se considera que las motivaciones de los consumidores a la hora de adquirir productos ambientalmente correctos se sitúan más en la esfera del prestigio y la calidad del producto, que en la mejora del medio ambiente o los beneficios a la salud que dichos productos ofrecen [2].

En términos absolutos, la preocupación por el deterioro ambiental es muy destacada. Sin embargo, en términos relativos, al compararlo con otros problemas de carácter económico y social, la problemática ambiental no es tan valorada. Por lo cual necesitamos de un consumo responsable que implique un compromiso mayor por parte del consumidor que no solo opta por un producto frente a otros por sus características, sino además entiende que el dinero que entrega a cambio del producto favorecerá a un grupo determinado, con las prácticas productivas, sociales y ecológicas que ello acarrea [3]. Y aunque el costo de un producto sea importante para algunas personas, la satisfacción de sus necesidades o valoración del producto lo pueden ser para otras [4].

De todas las variables que afectan al comportamiento del consumidor, algunos autores han demostrado que las psicográficas son las que tienen mayor relación con su comportamiento medioambiental [5, 6], las cuales son muy difíciles de medir [7] y describen características de los consumidores que las variables sociodemográficas no pueden.

Por lo tanto en esta investigación se busca establecer cómo influyen las variables psicográficas en el comportamiento del consumidor, y que se vuelven parte de la generación de residuos sólidos.

Las variables psicográficas se enfocan en actividades, intereses y opiniones, o a un estilo de vida [8] que permitirán crear una intención de conducta que permita caracterizar a cada consumidor e influir en su comportamiento final [9]. Una de las características que construye a las variables psicográficas, es la actitud, la cual es simplemente una evaluación general de una alternativa, y va de positivo a negativo. Una vez formadas las actitudes, juegan un papel director en la elección futura y son difíciles de cambiar [10]. Así mismo, se caracterizan por su dificultad de medición, por su rigidez de cambio cuando ya están formadas y por la creación de estereotipos [11]. Tener una actitud favorable hacia un producto es prácticamente siempre un prerequisite esencial para que los consumidores tengan una intención favorable de compra o consumo. Sin embargo, las actitudes favorables hacia un producto no se traducen de manera automática en intenciones favorables de compra. El tener una actitud favorable hacia cierto producto, no es lo mismo a tener una actitud favorable a comprarlo o consumirlo [10]. Lo cual nos indica que no siempre al tener actitudes positivas hacia la compra de productos ecológicos, significa que realmente lleven a cabo la compra de estos. Por lo que es necesario analizar si los consumidores actúan conforme a lo que piensan. Las actitudes serán medidas a través de la relación cognitiva-afectiva-intencional, necesaria para entender su intervención entre la conducta y la personalidad.

Las creencias se refieren a aspectos evaluativos, atributivos, informativos, culturales o individuales, que predisponen una acción o comportamiento. Sin embargo, los aspectos que se consideran definitorios constituyen un abanico de difícil integración para la explicación del comportamiento. Comprenden el aspecto básicamente convencional y social, en la investigación de la conducta protectora del ambiente, las cuales permiten hacer una conceptualización mediante la interpretación lógica de tales comportamientos [12]. Donde dichas creencias ambientales, surgen en función del análisis de costos y beneficios que la persona realiza sobre las consecuencias de la conducta [13].

Para dicha interpretación, se clasificará a las creencias en tres dimensiones: De dispendio material, de austeridad y de conservación. La creencia materialista concibe al materialismo como un valor o creencia duradera sobre la importancia de la adquisición y posesión de bienes materiales y que no varían significativamente en función de la edad, definida como una creencia sostenida y perdurable, en el deseo de adquirir y poseer bienes [14]. Las creencias de austeridad pueden definirse como estilos de vida limitados en el consumo de productos y servicios [15], que enfatizan las necesidades de limitar el consumo de recursos [16]. Y las creencias de conservación del medio ambiente que incluyen la disposición a realizar prácticas y hábitos de consumo que permiten disminuir la cantidad de residuos que generan o aminorar el impacto que tienen sus residuos en el medio ambiente. Dichas prácticas proambientales son las que producen mayor efecto, debido al desarrollo de conductas que proporcionen mecanismos que reduzcan el efecto que tienen los residuos que se generan en el medio ambiente.

2. Materiales y métodos

2.1 Definición de área de estudio y metodología

El presente estudio se realizó en la ciudad de Mexicali, B.C., México, por ser una ciudad fronteriza, que cuenta con una gran diversidad cultural, y que se ha dado a conocer por su atractivo laboral. Dicho estudio se llevó a cabo con una muestra representativa de las viviendas de la ciudad, para conocer las características de la población, el compromiso y la responsabilidad que sienten con su entorno, y que permita la creación de estrategias que faciliten la promoción de prácticas para la mejora del medio ambiente.

Se desarrolló una investigación cualitativa, a través de un instrumento que recababa los factores psicográficos: actitudes y creencias, basados en la escala de comportamiento ecológico, escala de creencias ambientales y escala que mide las actitudes, etc. La medición se realizó con una escala Likert de cinco puntos (1 = Totalmente en desacuerdo hasta 5 = Totalmente de acuerdo).

2.2 Identificación de estratos y tamaño de muestra

La investigación manejó una segmentación basada en la variable sociodemográfica, estrato socioeconómico. Para ello se dividió a la ciudad en siete estratos socioeconómicos (Residencial, Medio, Popular, Interés social, Popular progresista, Precario y Granjas). Dicha clasificación fue desarrollada por el IMIP (Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana) de la ciudad, por medio del programa de desarrollo urbano de censo de población 2025, para conocer el tipo y las características de cada una de las viviendas, y las características de cada uno de estos estratos socioeconómicos, lo que permitirá la identificación de sus patrones de consumo. Una vez identificadas las colonias de cada AGEB'S y su correspondencia con el estrato socioeconómico, se planeó la ruta para encuestar a las viviendas seleccionadas.

Se identificaron el número de viviendas por estrato socioeconómico, para establecer el tamaño de muestra que permita estimar la media poblacional con una precisión del 90% (Ecuación 1).

$$n = \frac{Nk^2}{N\beta^2 + k^2} \quad (1)$$

Donde:

K es el intervalo tal que siendo $(1-\alpha)$ la confiabilidad o grado de seguridad de que la precisión se cumpla.

N el número de unidades en la población.

β es la fracción de la desviación estándar o del coeficiente de variación poblacional, que se desea como precisión.

Se determinó el número de viviendas a encuestar (Tabla 1), encontrando las siguientes proporciones para cada uno de los estratos, haciendo un total de 1800 viviendas a encuestar, analizando un total de 2832 viviendas. Las cuales se realizaron mediante el procedimiento de muestreo aleatorio simple, con base en la detección de las colonias que corresponden a cada uno de los siete estratos y tomando a aquellas que representen homogéneamente al estrato.

3. Discusión y Resultados

Las encuestas recabadas fueron analizadas mediante herramientas de inteligencia artificial, utilizando la técnica ANFIS de Sugeno para la determinación del comportamiento del consumidor y SPSS Statistic 17.0 para las correlaciones entre los tipos de comportamientos.

Tabla 1. Número de viviendas por estrato socioeconómico.

Estrato	Observadas	Esperadas	Analizadas
Residencial	7063	261	268
Medio	14445	266	488
Popular	69103	269	619
Interés Social	53876	269	477
Popular Progresista	27592	268	416
Precario	2291	242	282
Granjas	1333	225	281

Utilizando las variables asociadas a la actitud: cognitivo (AC), afectivo (AA) e intencional (AI), se generó un modelo difuso, donde dichas variables alcanzaron todos los niveles de realización, desde el más positivo hasta el más negativo, en cuanto a la conservación del medio ambiente.

Se puede observar en la figura 1, que la actitud intencional es la que influye en mayor medida a la generación de comportamiento proambientales, ya que son las causantes del desarrollo de un

comportamiento en específico. Y aunque el afecto en el desarrollo de determinadas acciones de protección es importante, para la realización de estos comportamientos no resulto relevante, mostrando un comportamiento negativo cuando se cuenta con dicha actitud. A diferencia de la actitud cognitiva, que permanece en un rango de comportamiento variado a ignorante, para todos los niveles encontrados.

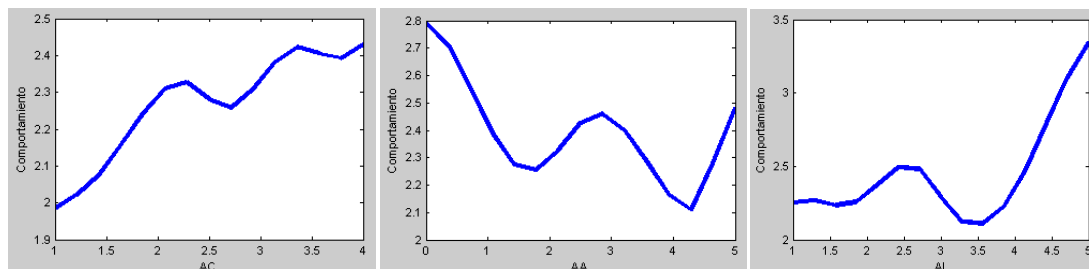


Figura 1. Tendencia de los componentes de la Actitud: Cognitivo (AC), Afectivo (AA) e Intencional (AI)

Otra de las variables predictoras a un comportamiento protector del medio ambiente, son las creencias, ya que mueven al individuo a desarrollar una determinada intención de conducta, las cuales se utilizarán en términos de dispendio material (CM), austeridad (CA) y conservación (CC).

Para el análisis de la variable creencias, se generó otro modelo difuso, en el que se pudo apreciar que al igual que la actitud, la variable creencia se encuentra en los cinco niveles de valoración, lo que significa que en la muestra analizada encontramos individuos desde muy conscientes hasta con ausencia de creencias, en la producción de conductas de protección del medio ambiente.

Con lo que respecta a la tendencia encontrada en cada una de las variables que constituyen las creencias (Figura 2), se puede hacer notar como el proceder de las creencias permanece indiferente en el desarrollo de conductas que benefician el comportamiento del consumidor con su entorno. Y que en esta ciudad, el contar con creencias materialistas no es sinónimo del desarrollo de un comportamiento negativo hacia el medio ambiente. Sin embargo, el poseer creencias de conservación marca una tendencia positiva en el consumidor. Y que las creencias afectivas no se vuelven causantes de comportamientos proambientales, ya que se encuentran en un estado variante, pero, si dicha creencia alcanza el nivel negativo, el comportamiento se cambia a un estado de ignorancia.

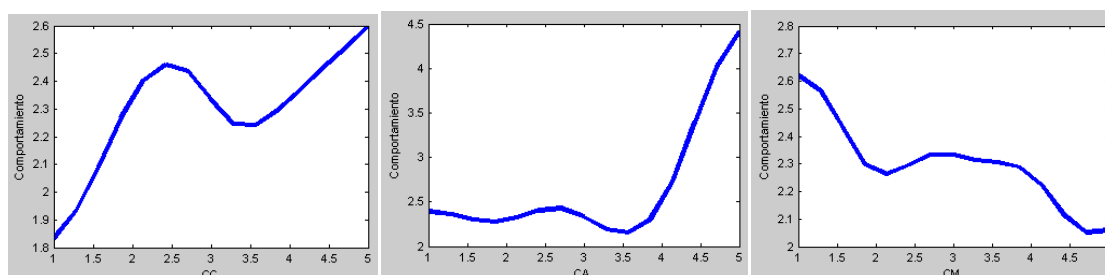


Figura 2. Tendencia de los tipos de Creencia: De conservación (CC), austeridad (CA) y de dispendio material (CM)

4. Conclusiones

Existen diferentes perspectivas en el análisis del comportamiento del consumidor, para determinar un comportamiento proambiental, en este trabajo se consideraron tres tipos de comportamientos: pro-ambiental, variado e ignorante, como resultado de la integración de numerosos factores

involucrados en su comportamiento. Sin embargo únicamente para efectos de esta investigación se utilizaron actitudes y creencias hacia comportamientos proambientales.

De acuerdo con los resultados obtenidos por la muestra, contamos en la ciudad de Mexicali con 355 consumidores proambientales, 1312 con comportamiento variado y 1164 ignorantes. Lo que indica que la mayor parte de la población se encuentra en la esfera de un comportamiento medio a negativo, marcando un 12.5% únicamente a aquellos consumidores con comportamiento protectores. En cuanto a la valoración obtenida por cada una de las variables estudiadas en la generación de comportamientos de protección al medio ambiente, se encontró que el factor actitud en cualquiera de sus tres modalidades permanece relevante para la generación de dichos comportamientos a un nivel de significancia del 1%. Sin embargo, en lo que comprende al factor creencias, la creencia de conservación fue la única que se encontró significativa, dejando fuera a las creencias de austeridad y de dispendio material.

Para un posterior análisis de las variables psicográficas, se recomienda la utilización del factor personalidad, ya que puede ser indicador de una conducta protectora del ambiente. Hay que tomar en cuenta, que el comportamiento del consumidor se rige por gran cantidad de factores que hacen que este actúe de una forma u otra. Dichos factores involucrados en cada una de las etapas del proceso de compra, dirigen su conducta a un determinado comportamiento. Cada uno de esos factores, como el conocimiento medioambiental, los hábitos de consumo, las prácticas proambientales y otras como las variables ambientales y situacionales, modifican la conducta del consumidor, por lo que son merecedores de ser estudiados.

Todas las conclusiones mencionadas anteriormente no pueden ser consideradas sin tomar en cuenta las limitaciones y las características con las que este estudio fue realizado.

Agradecimientos

A Dios porque siempre está conmigo.

A Gabriela Lozano porque me enseñó el camino para seguir creciendo y me armó de valor para continuar. Y que dondequiera que este, siempre me guía y acompaña.

A Sara Ojeda por ser amiga, compañera, profesora, y la meta que quisiera alcanzar.

A Conacyt por la aportación de los recursos necesarios para el desarrollo de este estudio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Orozco Abundis, M. A. Cortes Lamas, A. I. González, M. Gracia Villar, S. “Mercadotecnia ecológica: actitud del consumidor ante los productos ecológicos”. 2003. mario_orozcoabundis@hotmail.com acortes@cuaad.udg.mx Universidad de Guadalajara. División de Tecnología y Procesos, CUAAD. Tel. 93 359 99 05
- [2] Fundación entorno. 2001. http://www.fundacionentorno.org/Data/Documentos/habitos__0027-45D5-AFB6-1F8141D385AF915340423.pdf
- [3] De Esteban Curiel, G. “Actitudes de los españoles ante los problemas ambientales”. *Observatorio medioambiental*. No. 3. 2000. pp. 107-122.
- [4] Luna Lara, M. G. 2003. <http://www.tesisenred.net/handle/10803/2668>
- [5] Ramanaiah, N. Clump, M. Shape, J. “Personality profiles of environmentally responsible groups”. *Psychol Reports*. Vol. 87. 2000. pp. 176-178.
- [6] Chan, R. Chan, K. “Determinants of Chinese consumers green purchase behavior: psychology and marketing”. *Psychology and Marketing*. Vol. 18. 2001. pp. 389-413.
- [7] Santesmases Mestre, M. “Marketing: conceptos y estrategias”. 5ta Edición. 2001. Editorial Pirámide. Madrid. pp. 1120

- [8] Schiffman León, G. Kanuk, L. L. "Comportamiento del consumidor". 8va Edición. 2005. Prentice Hall México. España. pp. 587.
- [9] Fraj Andrés, E. Martínez Salinas, E. "Comportamiento del consumidor ecológico". 1ra Edición. 2002. Esic Editorial. España. pp. 272.
- [10] Blackwell, R. D. Miniard, P. W. Engel, J. F. "Comportamiento del consumidor". 9na Edición. 2002. Cengage Learning Editores. pp. 571.
- [11] Fraj Andrés, E. Martínez Salinas, E. Grande Esteban, I. "Un estudio exploratorio sobre las variables psicográficas que influyen en el comportamiento del consumidor ecológico", *Revista de economía y empresa*, Vol. 21(50). 2004. pp.61-87.
- [12] Obregón Salido, F. J. "Sistema de creencias y conducta protectora". 1996. <http://kunkaak.psicom.uson.mx/maestria/informacion/TESISFOS.htm>
- [13] (Corraliza, J. A. Berenguer, J. "Environmental values, beliefs and actions: A situational approach". *Environment and behavior*. Vol. 32(6). 2000. pp. 832-848.
- [14] Lado Cousté, N. Villanueva Orbaiz, M. L. "Efectos del materialismo en las decisiones del joven consumidor: un estudio exploratorio". 1998. <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/6391>
- [15] García Lirios, C. "Los estudios psicológicos de la sustentabilidad". *Mneme revista de humanidades*. Vol. 6(3). 2005. pp. 1-63.
- [16] Baldi López, G. García Quiroga, E. "Una aproximación a la psicología ambiental". *Fundamentos en humanidades*. Vol. 7(14). 2006. pp. 157-168.

TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS

Construcción de una cámara de intemperismo acelerado UV para evaluación de la degradación de plásticos en el ambiente

Mauricio Cano B., Gerardo Aragón G., Alejandro León G., Miriam H. Osada V., Ma. Fernanda Rabell C., Alethia Vázquez M.
mcb@correo.azc.uam.mx

Resumen

Las propiedades inherentes de los plásticos, y las consecuencias provocadas por su amplio uso y acumulación, han orientado a usuarios y fabricantes hacia el desarrollo de nuevos plásticos más amigables con el ambiente. Uno de los aspectos esenciales de estos materiales nuevos es su capacidad para biodegradarse en menos tiempo, comparados con los plásticos tradicionales. La mayoría de los plásticos requiere de varias décadas para presentar alteraciones, por el efecto de la radiación UV, temperatura y humedad, por lo que en condiciones de descomposición natural es complicado evaluar su capacidad de degradación. El desarrollo y evaluación de materiales plásticos biodegradables exige la realización de pruebas y ensayos acelerados en laboratorio. Las condiciones ambientales se pueden simular de manera intensificada en equipos especializados. Se construyó una cámara de intemperismo acelerado para deteriorar muestras de plástico y estudiar su degradación, al ser sometidas a radiación UV con temperatura y humedad controladas. Las muestras de plástico degradadas en la cámara presentan resultados que comprueban el funcionamiento del equipo, con la ventaja de que un día de exposición en laboratorio equivale a 8 días de exposición en condiciones ambientales. El diseño y construcción de este equipo tuvo un costo menor al 20% del costo de los equipos comerciales. En este trabajo se presenta la construcción, operación y caracterización del prototipo.

Palabras clave: *degradación, intemperismo, radiación UV, residuos plásticos*

1. Introducción

La contaminación por desechos plásticos constituye un problema mundial. La creciente demanda de productos plásticos, la ineficiente disposición de sus residuos y su persistencia en el ambiente durante cientos de años han provocado un grave impacto. Se producen 140 millones de toneladas de plástico en el mundo, y una gran parte se incorpora al ambiente como desecho [1].

En México el plástico constituye entre el 6 y el 12% de la masa generada total de residuos sólidos municipales, de la cual se recupera y recicla sólo el 21% [2-4]. Por ello se han desarrollado tecnologías para acelerar la degradación de los plásticos y reducir su acumulación en el ambiente. Para evaluar la efectividad de estas alternativas es necesario someter muestras de los polímeros a distintos tratamientos físicos y químicos. La prueba de intemperismo es una de las más empleadas; en esta prueba se analiza la degradación del plástico por su exposición a condiciones ambientales, en función del tiempo de exposición, intensidad de radiación UV, humedad, temperatura y viento.

La acción combinada de diversos factores ocasiona la degradación de los plásticos (temperatura, radiación UV, agentes químicos, agentes biológicos y manipulación mecánica [5]). Las condiciones de intemperismo influyen en la formación de radicales libres, los cuales pueden reaccionar con el oxígeno en la superficie y formar peróxidos e hidroperóxidos e iniciar una cadena de reacciones de oxidación, que disminuye su masa molecular y su capacidad hidrofóbica e incrementa la biodisposición y biodegradación del polímero [6]. La componente UV de la luz solar es el principal factor en la degradación de los plásticos en la intemperie [7], por la capacidad de los plásticos para

absorber la fracción más dañina de la radiación del sol. Esta fracción incluye los rayos UV-B (~295–315 nm) y UV-A (~315–400 nm), responsables de la fotodegradación directa. La fracción visible del espectro solar (400–760 nm) acelera la degradación polimérica por calentamiento [8].

Las pruebas de intemperismo se pueden efectuar en condiciones naturales o artificiales. En condiciones ambientales naturales los plásticos se sujetan sobre bastidores o racks y se exponen a la intemperie. Los bastidores se orientan de modo que las muestras de plástico reciban directamente la radiación UV [9], durante un tiempo determinado. La prueba en condiciones naturales presenta varias desventajas: requiere una caracterización previa de la irradiancia en el lugar de prueba, periodos largos de exposición y depende por completo de las condiciones climáticas del lugar.

Las pruebas que se realizan en condiciones artificiales requieren una cámara de intemperismo, equipada con lámparas de Xenon o luz UV y controles de humedad y temperatura. Este equipo permite realizar pruebas de degradación acelerada en diversos materiales, como plásticos, maderas, pinturas y adhesivos. Las cámaras de intemperismo mantienen condiciones semejantes a las que reciben los materiales expuestos a la intemperie, pero permiten disminuir significativamente el tiempo de exposición de las muestras.

La adquisición de una cámara de intemperismo puede implicar un gasto muy elevado. Por ello, en el Programa de Desarrollo Profesional en Automatización (PDPA) se desarrolló un prototipo, con características de operación semejantes a las cámaras de intemperismo comerciales pero con un costo mucho menor. El desempeño del prototipo se evaluó mediante la degradación de muestras de polietileno, y se determinó la equivalencia entre el tiempo de irradiación inducida en laboratorio y el tiempo de exposición a la luz solar directa en condiciones locales.

2. Desarrollo

2.1 Características de la cámara de intemperismo

La cámara se diseñó para su empleo en las condiciones típicas de una instalación de laboratorio. Sus dimensiones, consumo de energía y requisitos de instrumentación son fácilmente compatibles con las capacidades de casi cualquier institución dedicada al trabajo de investigación y docencia. La cámara está contenida en un gabinete de lámina de acero, con forma de prisma rectangular y puertas deslizables en la cara superior (Figura 1).



Figura 1. Vista exterior de la cámara de intemperismo acelerado

El gabinete mide 0.60 m por 1.4 m de base y 1.0 m de altura, pesa 86 kg y se desplaza sobre cuatro rodajas. Su altura permite que los operarios trabajen de pie e ingresen las muestras al espacio de pruebas a través de las puertas deslizables. Las paredes están aisladas con una capa intermedia de 30 mm de espuma de poliuretano, para reducir la transferencia de calor con el ambiente. Para su funcionamiento la cámara requiere alimentación eléctrica a 110 V, 60 Hz y consume 1.85 kW.

La mayoría de las cámaras de intemperismo consisten en un espacio cerrado, donde se acomodan las muestras de material para someterlas al proceso de degradación. Utilizar un espacio cerrado

facilita el control y la uniformidad de las condiciones de tratamiento. El prototipo tiene un espacio interior de 0.145 m^3 , con las paredes internas recubiertas con lámina de acero inoxidable AISI 304, acabado espejo. La elevada reflectancia de este material favorece la distribución uniforme de la radiación en el interior de la cámara. Las dos puertas deslizables están construidas con espejos, con las superficies reflejantes apuntado hacia el espacio interior de exposición de las muestras.

El espectro de radiación UV se suele dividir en tres regiones, en función de la longitud de onda emitida. En el mercado existen diferentes modelos de lámparas que producen radiación UV, para las tres regiones del espectro, con diferentes potencias y dimensiones geométricas que van de los 30 cm a 1.2 m de longitud. La cámara está equipada con ocho lámparas Philips TL40W/05, que irradian en el espectro UV-A entre 350 y 400 nm; son lámparas tubulares de 1.20 m de largo y 35 mm de diámetro, con un consumo de 40 W de potencia.

Las lámparas corren en arreglos de cuatro filas, sobre cada una de las paredes verticales más largas del gabinete (Figura 2). La intensidad de radiación se puede controlar de manera escalonada, pues las lámparas se pueden energizar en parejas y permiten elegir entre 80, 160, 240 y 320 W de potencia total para irradiar las muestras.

2.2 Instrumentación del prototipo

La temperatura en el espacio de exposición para las muestras se puede incrementar por encima de la temperatura ambiental. Para ello se emplea una pistola calefactora eléctrica, de uso industrial, con capacidad de 1.5 kW, colocada en un extremo del gabinete. La pistola succiona aire del ambiente y lo descarga en el espacio de exposición, favoreciendo la uniformidad de la temperatura interior. En el extremo opuesto al ingreso del aire caliente se colocó un ventilador axial, que genera la succión necesaria para forzar el flujo de aire a través de las muestras de plástico.



Figura 2. Lámparas UV montadas sobre una pared y recipientes para agua en el fondo

La operación continua de las lámparas produce un aumento significativo de la temperatura interior. Pero es la elección del flujo, forzado por el ventilador o sólo inducido por la pistola calefactora, y el ajuste del control de temperatura de la pistola lo que define la temperatura del espacio de exposición. Las pruebas de la cámara se han llevado a cabo con 50 muestras montadas simultáneamente, estableciendo temperaturas entre 40 y 70 °C.

Para mantener una humedad relativa elevada la cámara cuenta con tres recipientes de acero inoxidable, que se inundan con 8 litros de agua. Están colocados en el piso del espacio interior y la superficie del agua recibe la descarga de la pistola calefactora, lo cual favorece que el aire que ingresa aumente su contenido de humedad.

La temperatura y la humedad relativa del espacio de exposición se registran con un *data logger*, marca Lascar modelo EL-USB-2 (Figura 3 izquierda). Este equipo registra y almacena hasta 16382 lecturas de temperatura, entre -35°C y 80°C, y hasta 16382 lecturas de humedad, entre 0 y 100%, con intervalos regulares entre 10 segundos y 12 horas. Las lecturas se trasladan posteriormente a una computadora, a través de un puerto USB.

Para medir la intensidad de radiación UV-A que reciben las muestras se emplea un radiómetro modelo VLX-3W, serie 9811-50, de Cole Parmer Instrument Co. (Figura 3 derecha). Registra lecturas en mW/cm^2 , en el intervalo de 320 a 400 nm y con su mayor sensibilidad en 365 nm, por lo cual se utiliza frecuentemente en las pruebas de intemperismo y foto degradación.



Figura 3. Registrador de datos para temperatura y humedad (izquierda), radiómetro UV-A (derecha)

La cámara cuenta con un tablero de control ubicado en uno de sus costados (Figura 4). Por medio de interruptores se gobierna la puesta en marcha y paro del ventilador, la pistola de calor y las lámparas UV. El tablero también tiene un interruptor de paro total y un sistema de alimentación protegido por un fusible de 15 A, para la alimentación general.



Figura 4. Tablero de control y puertas deslizables

2.3 Colocación de las muestras

En el espacio de exposición se pueden instalar hasta 60 muestras de plástico, cortadas en forma de tiras rectangulares de 0.05 m por 0.25 m. Las muestras se colocan sobre varillas de acero que cuelgan de un sistema de tracción, semejante a un carrusel. Las tiras de plástico se sujetan con pequeñas pinzas metálicas colocadas en los extremos de las varillas (Figura 5).

Las muestras se transportan en un trayecto paralelo a las cuatro paredes verticales del espacio interior del gabinete, con el propósito de uniformar su exposición a la radiación. Una cadena de rodillos, impulsada por una catarina acoplada al eje de un motoreductor eléctrico, desplaza a las varillas de montaje que cuelgan de los eslabones. Las muestras viajan lentamente, pues la velocidad angular del motoreductor es 1 rpm; así recorren un ciclo dentro de la cámara cada 20 minutos.



Figura 5. Sistemas de tracción (izquierda), varillas y pinzas para la sujeción de las muestras (derecha)

3. Resultados

3.1 Caracterización del prototipo

Se realizaron mediciones en 15 puntos diferentes, dispuestos sobre un plano horizontal, para calcular la radiación promedio dentro de la cámara. En la Figura 6 se muestra la localización de los puntos de medición; las mediciones se repitieron para tres planos horizontales con diferente altura sobre el piso de la cámara (superior, media e inferior). El sensor se orientó con la cara paralela a las lámparas, primero a las del lado izquierdo y luego a las del lado derecho, dando un total de 90 lecturas. En cada punto se obtuvo una radiación total, considerando que la radiación del lado derecho se suma a la radiación del lado izquierdo.



Figura 6. Puntos de medición de radiación UV-A en la cámara de intemperismo

Con el mismo radiómetro se realizó la medición de incidencia de la radiación UV solar, en la unidad Azcapotzalco de la UAM (19° 30' 10" N, 99° 11' 19" O, altitud 2249 m), los días 7 y 8 de enero del 2011. El radiómetro se colocó sobre una superficie plana, sin la interferencia de estructuras que proyectaran sombra, con el sensor apuntando hacia arriba y direccionado hacia el sur. Las mediciones se realizaron en intervalos de media hora desde las 7:00 hr hasta las 18:00 hr.

Con estas mediciones se estableció la equivalencia entre la exposición dentro de la cámara de intemperismo y la exposición a la radiación UV-A en la ciudad de México. El resultado indica que un día de exposición en la cámara, con la máxima potencia de emisión, equivale a 8 días de exposición en condiciones ambientales.

3.2 Discusión

En la UAM Azcapotzalco se desarrolla un proyecto para estudiar la biodegradabilidad y ecotoxicidad de polietileno formulado con aditivos pro-oxidantes, en las condiciones ambientales de la Ciudad de México. La oxo-biodegradación funciona a través de una modificación química en la estructura del plástico, mediante la introducción de un aditivo pro-oxidante que acelera su degradación biótica en el ambiente por efecto de la luz UV y la humedad; así se generan fragmentos de menor masa molecular, los cuales pueden ser biodegradados mediante el composteo.

La degradación de los materiales oxo-biodegradables se evalúa mediante el método de prueba ASTM 6954-04. Inicialmente se provoca degradación fisicoquímica, sometiendo muestras del

material a condiciones intensivas de radiación UV. Las muestras degradadas mediante este procedimiento se mezclan con un sustrato orgánico, con el fin de inducir su biodegradación.

Se prepararon muestras de película plástica PEBD y OXO-PEBD, de 25 cm x 5 cm, y se colocaron en la cámara de intemperismo en 3 lotes de 40 muestras. Se irradiaron durante 4 días con una radiación promedio de 19.42 W/m². Al finalizar la prueba se evaluó la degradación abiótica, midiendo el porcentaje de elongación con una máquina universal Instron, por el estándar ASTM D88.

En la Figura 7 se muestra el porcentaje de elongación de las muestras PEBD y OXO-PEBD, para diferentes condiciones de prueba. El porcentaje de elongación del OXO-PEBD disminuyó 94.21% después de la irradiación.

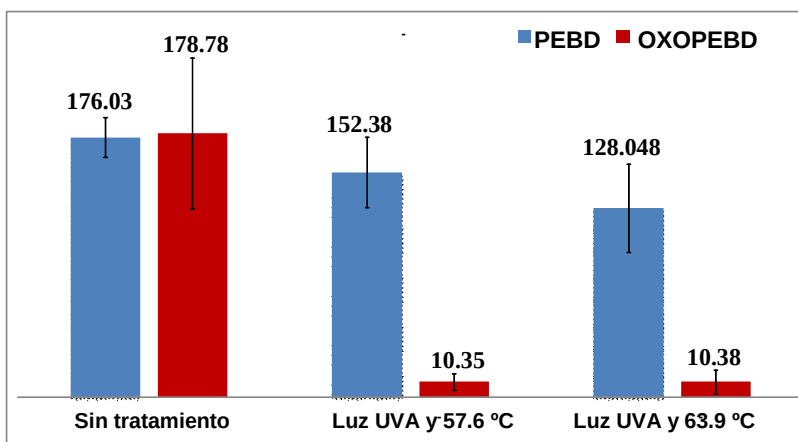


Figura 7. Porcentaje de elongación en muestras de PEBD y OXO-PEBD foto y termo oxidadas.

4. Conclusión

Para evaluar el funcionamiento de la cámara se sometieron a prueba muestras de PEBD y OXO-PEBD. Se midieron las alteraciones producidas en algunas propiedades; la disminución en la elasticidad fue un indicador del proceso de foto y termo oxidación producidos por la cámara.

En una siguiente fase de trabajo se refinará la instrumentación de la cámara de intemperismo, con el propósito de reproducir y controlar distintas condiciones de exposición de las muestras. Las modificaciones pueden incluir desde sistemas de control, para la temperatura y la humedad, hasta dispositivos mecánicos que desplacen a las muestras dentro del espacio de exposición, para garantizar la uniformidad de la radiación recibida.

Por supuesto, la cámara de intemperismo funcionará como una herramienta para la evaluación de la biodegradabilidad de los plásticos, antes de proceder a su disposición. El compostaje de plásticos, previamente foto y termo-oxidados por radiación, es una opción viable para favorecer la degradabilidad de los polímeros desechados en la Ciudad de México.

Referencias Bibliográficas

- [1] Shimao M. Biodegradation of plastics. *Curr Opinion Biotechnol* 2001;12:242–7.
- [2] Cristán A., Ize I., y Gavilán A. Situación de los envases plásticos en México. *Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT* 2003; 069:67-82.
- [3] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2008. Compendio de estadísticas ambientales 2009. Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 380.

- [4] Volke S. Los plásticos en la actualidad y su efecto en el entorno. Ciencia y Desarrollo 1998; 24(139): 54-61
- [5] Dehbi Abdelkader, Bouaza Amar , Hamou Ahmed , Youssef Boulos , Saiter Jean Marc. Artificial ageing of tri-layer polyethylene film used as greenhouse cover under the effect of the temperature and the UV-A simultaneously. Materials & Design 2010; 31: 2, 864-869
- [6] Ojeda Telmo, Freitas Ana , Birck Kátia , Dalmolin Emilene , Jacques Rodrigo, Bento Fátima, Camargo Flávio. Degradability of linear polyolefins under natural weathering. Polymer Degradation and Stability 2011; 96:703-707
- [7] Lucas Nathalie, Bienaime Christophe, Belloy Christian, Queneudec Michèle, Silvestre Françoise, Nava-Saucedo José-Edmundo. Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques. Chemosphere 2008; 73: 429–442
- [8] Shah Ali, Hasan Fariha, Hameed Abdul, Ahmed Safia. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. Biotechnology Advances 2008; 26: 246–265
- [9] ASTM D5272–08, Standard Practice for Outdoor Exposure Testing of Photodegradable Plastics

Diseño de una trituradora para plástico Polietileno de Tereftalato (PET)

José Emmanuel Medina García, Claudia E. Saldaña Durán, Víctor M. Hernández Ramón, Sergio Becerra Anzaldo
emg4532@hotmail.com

Resumen

Actualmente se consume gran cantidad de materiales plásticos para beneficio del ser humano. Esta elevada producción lleva consigo el cómo reutilizar o reciclar los productos desechados. Un ejemplo muy singular es el consumo de bebidas; la mayoría de las personas consume una cantidad considerable de bebidas contenidas en envases de plástico comúnmente en plástico Polietileno de Tereftalato (PET) y que después de haber cumplido con su objetivo estos envases son desechados. La problemática con el plástico PET es que su producción es muy elevada y que el reciclaje o reutilización del mismo, a nivel nacional, se podría considerar demasiado bajo, es por ello que se ha decidido trabajar en ésta área proponiendo el diseño de una trituradora (actualmente en vías de construcción) que tendrá la capacidad de triturar entre 2000-4000 kg de PET dependiendo de las horas de trabajo. Para la Universidad es una opción a la fomentación de una cultura hacia el reciclaje dirigida a los compañeros universitarios con la creación de equipos innovadores y eficientes que lleve consigo la mejora del medio ambiente. Los beneficios de éste equipo son el de reducir la cantidad de residuo que se acumula en los rellenos sanitarios de nuestra ciudad, reduciendo así los volúmenes del mismo, ya que los materiales plásticos no tienen un peso elevado pero si ocupan un volumen considerable; otro beneficio muy importante es la generación de empleos.

514

Palabras clave: *envases, plástico, reducir, relleno sanitario*

1. Introducción

Sería difícil imaginar el mundo moderno sin los plásticos. Hoy son una parte integral del estilo de vida de todos, con aplicaciones que van desde artículos para el hogar hasta los sofisticados instrumentos científicos y médicos [1].

El plástico es un material industrial utilizado en muchas aplicaciones en la vida diaria moderna. Aunque los desechos plásticos no se degradan fácilmente y conducen a problemas de contaminación en su entorno, con respecto a otros materiales como metal o papel, los plásticos tienen su única ventaja en su fácil producción, su calidad, su apariencia y su peso ligero.

Los plásticos son polímeros sintéticos, obtenidos generalmente a partir de hidrocarburos derivados del petróleo. Un polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, cada una de las cuales está hecha de unidades que se repiten y conectan entre sí. En una sola molécula de polímero puede haber miles, incluso millones, de unidades. La palabra se deriva de los vocablos griegos poly, que significa muchos, y meros (que se contrae a mero), que es parte [2].

Tienen altos pesos moleculares, son ligeros, resistentes a la corrosión y al ataque microbiológico, impermeables y de bajo costo, por lo que son útiles en aplicaciones diversas como la agricultura, fabricación de autopartes, equipos electrónicos, prótesis médicas y artículos de uso cotidiano; sin embargo, una proporción significativa de los plásticos fabricados se emplean en envases y embalajes [3].

En la ciudad de Tepic se separa 6317.70 kg de plástico, esto indica que la cantidad de plástico que se genera y se encuentra depositado en el relleno sanitario “El Ixtete” es muy elevado.

Tabla 1. Separación de plástico en la ciudad de Tepic [4]



2. Reciclaje mecánico

El reciclado representa una de las mejores historias de éxito ambiental del siglo XX. Algunos beneficios del reciclado son la conservación de recursos, la reducción de contaminantes, ahorros de energía, creación de trabajos y menor necesidad de rellenos sanitarios e incineradores [5].

En este proceso se recogen los plásticos de los procesos de fabricación de la industria (petroquímica o transformadora). El procesamiento de materiales plásticos utilizados consiste en trocear el material para introducirlo posteriormente en una máquina extrusora-granceadora. El material obtenido se moldea mediante los métodos tradicionales. Solamente puede aplicarse a los termoplásticos, que son aquellos que se funden por acción de la temperatura [6].

Este tipo de reciclado presenta dos problemas fundamentalmente; el primero es que el plástico ya utilizado pierde parte de sus propiedades, lo que obliga a emplearlos en la fabricación de otro tipo de productos con menos exigencias; el segundo, es la dificultad para separar los distintos tipos de plásticos.

El proceso de reciclado se puede realizar varias veces, pero se debe de tener en cuenta que cada vez que se lleva a cabo, el material tiende a perder entre los 5 y 10% de sus propiedades mecánicas, que con el agregado de ciertos aditivos se pueden restituir [7].

Mediante el reciclado mecánico se pueden fabricar otros materiales, como por ejemplo aglomerados, aunque este proceso genera a su vez algunos residuos. Por otra parte, estos aglomerados son útiles para aislamiento o para revestimiento de baja calidad [8].

3. Diseño del equipo

Con el paso del tiempo, la molienda de los materiales plásticos ha sido considerada muy importante para el reciclado. Años atrás, la molienda de materiales plásticos no era una operación de alta tecnología pero hoy en día se han desarrollado equipos capaces de procesar grandes cantidades de material con gran eficacia.

Actualmente se han diseñado equipos que realizan en una sola etapa el lavado y triturado del plástico, pero es conveniente llevar a cabo los procesos de lavado y triturado de forma separada, por ejemplo, la empresa MACCAD desarrolló una trituradora con ciertas características para moler 275 kg/hr de plástico, la tolva está diseñada para eliminar el ruido que se ocasiona en la molienda, también contiene una criba que permite pasar las hojuelas de plástico con dimensiones de 2" o ¾" según los criterios que se requieran.

Los molinos HULVIC están diseñados para capacidades de 200-300 kg/hr y 300-500 kg/hr, con motores de 15 y 30 hp respectivamente; éstos molinos son del tipo rotor abierto lo cual permite moler las botellas de PET enteras sin necesidad de aplastarlas antes de alimentarlas a la trituradora.

La molienda del Polietileno de Tereftalato (PET) se realiza dentro de un molino de cuchillas giratorias, las cuales tienen como función triturar las botellas hasta convertirlas en hojuelas con dimensiones específicas, dichas cuchillas están unidas a unos portacuchillas; los portacuchillas están unidos a un eje rotatorio por medio de cuñas colocado sobre un par de chumaceras; en un extremo del eje está acoplado un volante de inercia, el cual tiene como función almacenar energía para moderar las fluctuaciones de la velocidad a la que gira el eje cuando se esté triturando el PET, y por el otro extremo del eje está unida una polea que es parte del sistema de transmisión de potencia. (Ver figura 1).

Para determinar la capacidad del molino se debe tomar en cuenta la cantidad de plástico que se quiere triturar, la velocidad con la que el material será alimentado y cómo el material será transportado después de obtenido. Todos estos factores ayudan a determinar el tamaño apropiado de la trituradora, el sistema de alimentación, la cámara de molienda, la disposición del rotor y las cuchillas, la velocidad de giro del rotor, la potencia del motor, la configuración de la criba y el sistema de extracción del material molido.

También es necesario conocer apropiadamente las características del material que se pretende moler, ya que en base a estas características se determinará el material de la cuchilla y sus respectivas dimensiones.

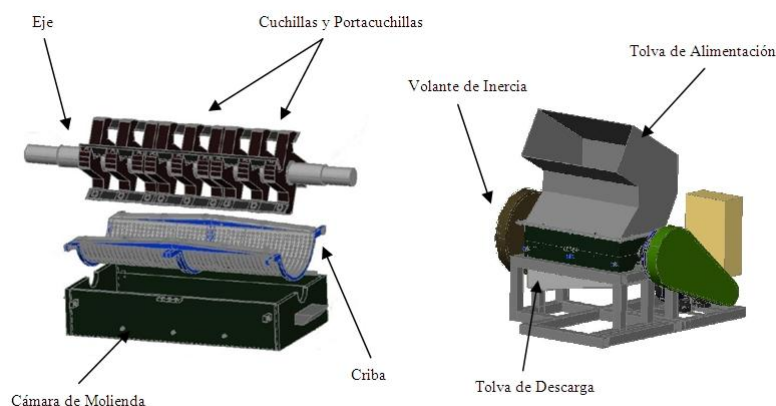


Figura 1. Componentes de la Trituradora

El molino está constituido por una tolva en la parte superior, la cual posicionará el PET directamente al sistema de trituración. Para obtener las dimensiones exactas de las hojuelas de PET es necesario incluir al sistema una criba; la criba es un componente fundamental para la trituradora porque ésta es la que determina las dimensiones de las hojuelas que resultarán del proceso de molienda.

La potencia del equipo se determinó tomando en cuenta la velocidad de alimentación de PET a la cámara de molienda y en la inercia de cada uno de los componentes del sistema (considerando que la inercia es la energía que adquiere el eje, los portacuchillas, la polea y el volante de inercia cuando se encuentran en movimiento). Para transmitir dicha potencia generada por el motor eléctrico se ha calculado la transmisión de potencia por medio de bandas. La figura 2 muestra el despiece del equipo de trituración que se ha diseñado.

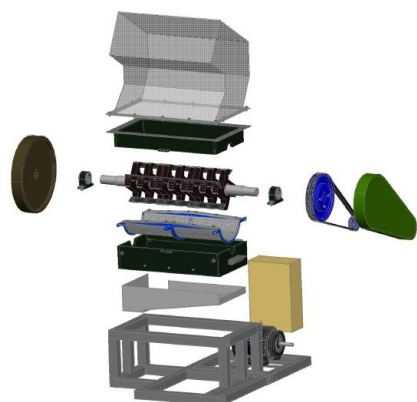


Figura 2. Trituradora para Polietileno de Tereftalato (PET)

4. Impacto ambiental

En la actualidad, en todo el mundo, incluyendo México, existe una problemática importante por la contaminación del agua, aire y suelo, ocasionada en gran medida por los grandes volúmenes de residuos que se generan diariamente y que recibe escaso tratamiento. Esta situación se agrava porque la basura, que está conformada por residuos de composición muy variada, generalmente se junta y se mezcla durante las labores de recolección lo que dificulta su manejo final. Los plásticos representan un riesgo para el ambiente porque no pueden ser degradados por el entorno. Se han desarrollado algunos plásticos biodegradables, pero ninguno ha demostrado ser válido para las condiciones requeridas en la mayoría de los vertederos de basura. Su eliminación es por lo tanto, un problema ambiental de dimensiones considerables. La siguiente tabla muestra la composición de la basura en México.

Tabla 2. Composición de la basura en México

Fuente: INARE, 2000

Componente	%
Desechos orgánicos	47
Papel	14
Otros	14
Plásticos	11
Materiales peligrosos	10
Metales	2
Vidrio	2

El proceso de reciclado mecánico es el que no repercute de manera considerable al medio ambiente. La molienda obtenida es procesada para la fabricación de nuevos materiales de distinta calidad como: fibras para alfombra, ropa y geotextiles. Esto es lo que hace que el equipo sea amigable con el medio ambiente ya que el producto destinado a almacenarse en el vertedero de la ciudad tendrá como destino la fabricación de nuevos productos y como resultado la disminución considerable de residuos plásticos.

5. Beneficios del proyecto

Como ya se ha mencionado, el consumo de materiales plásticos en México y en el mundo es muy elevado, de lo cual sólo un pequeño porcentaje de éstos es reciclado para darle un nuevo uso.

La trituradora está diseñada para triturar 2-4 toneladas de plástico polietileno de tereftalato (PET) por día, este porcentaje de plástico, sin ser reciclado, sería enviado a un vertedero de basura y se

generarían grandes volúmenes de plástico, esta cantidad a largo plazo provocaría el pronto abastecimiento del vertedero.

El principal objetivo del proyecto es el buen manejo de grandes cantidades de plástico para así evitar que éste se acumule en los vertederos, generando fuentes de trabajo y la reutilización del plástico triturado.

6. Conclusiones

Se puede concluir que el diseño propuesto desde el inicio de este trabajo fue satisfactoriamente bien realizado ya que cumple con los objetivos planteados, la trituradora es capaz de moler los montos anteriormente establecidos (250-500 kg/hr) debido al diseño de sus componentes principales como los portacuchillas, cuchillas y el eje.

Debido a los costos de equipos de trituración a la venta (para una capacidad similar a la del equipo desarrollado se encuentran alrededor de 125,000-160,000 m/n), la construcción del equipo es muy factible, ya que requiere de una inversión muy baja de aproximadamente \$115, 000 m/n y la recuperación de la inversión se realizará en aproximadamente 1 año ya que con este equipo se molerá gran cantidad de plástico diariamente.

También se concluye que este equipo es muy eficiente ambientalmente, porque el proceso que se lleva a cabo reduce los volúmenes utilizados por estos materiales en los vertederos.

El equipo se ve bien justificado porque el consumo del plástico PET es muy elevado y es necesario realizar actividades de reciclaje y reutilización de estos materiales, es justificado también porque el material resultante de la molienda en el equipo se puede utilizar para un siguiente proceso y así convertir el plástico en nuevos productos de uso común.

Referencias Bibliográficas

- [1] Crawford R. J., *Plastics Engineering*, 3ª. Edición, Editorial Butterworth-Heinemann, ISBN: 0 7506 3764 1.
- [2] Groover P. M., *Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales, procesos y sistemas*, 1ª Edición, ISBN: 968-880-846-6.
- [3] Morillas A. V., Villacencio M. B. y Valdemar R. E.; *Encuentro Nacional de Residuos Sólidos*, UAM 2010.
- [4] Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos de Tepic, 2009.
- [5] Enger E. D. y Smith B. F., *Ciencia Ambiental*, Editorial McGraw-Hill, 10ª Edición, 2006, ISBN: 970-10-5616-7.
- [6] Sanchez, E., *Elementos Metálicos y Sintéticos*, Editorial EDITEX, 1ª Edición, 2006, ISBN: 9788497714068, pág. 248.
- [7] Barreto, S., *Diseño de Calzado Urbano*, Editorial Nobuko, 2006, Vol. 1, ISBN: 987-584-041-6.
- [8] Seoanez Calvo, M., *Tratado de Gestión del Medio Ambiente Urbano*, Editorial MUNDI-PRENSA, 1ª Edición, 2001, ISBN: 9788471149596, pág. 396.

Estudio de factibilidad de biodegradación de plásticos mediante composteo

María Fernanda Rabell Contreras, Alethia Vázquez Morillas, Rosa María Espinosa Valdemar, Margarita Beltrán Villavicencio, Miriam Hidemi Osada Velázquez, Jorge Ulises González Filio
al209386251@alumnos.azc.uam.mx

Resumen

Las modificaciones realizadas a la Ley de Residuos del D. F. en 2009 y 2010 propiciaron el uso de bolsas fabricadas con polímeros oxo-degradables. Estos materiales son susceptibles de biodegradarse si se han sometido a una etapa previa de oxidación, debida a la temperatura, la radiación UV, la fricción o una combinación de ellas. El método propuesto por la ASTM (5338) para evaluar la biodegradabilidad de estos materiales implica el uso de composta madura, en reactores sometidos a aireación permanente y a una temperatura de 58°C. En este trabajo se evaluó la factibilidad de degradar estos materiales mediante un proceso controlado de composteo a nivel experimental que, a diferencia de los métodos estandarizados propuestos por la ASTM, utiliza residuos orgánicos y condiciones ambientales equiparables a las locales. El sistema, construido en reactores de 200 L, demostró la factibilidad de compostear plásticos oxo-degradables, que después de 45 días mostraron degradación evidenciada por fragmentación, disminución de la elongación a la ruptura y aumento en el índice de carbonilo. Con ello se propone una metodología alternativa para evaluar la biodegradabilidad de este tipo de materiales, lo que permitirá dar un cumplimiento adecuado a las disposiciones normativas establecidas en la Cd. de México.

Palabras Clave: *plásticos, oxo-degradable, composteo*

1. Introducción

En el 2006, fueron fabricadas en México 219,724 toneladas de “bolsas y sacos de polietileno”, considerando tanto los impresos como sin imprimir [1]. En ese mismo año se generaron 36,135,000 toneladas de residuos sólidos urbanos. En ese sentido, si todo lo que se produce se desecha como residuo sólido urbano, el porcentaje que representarían las bolsas y sacos de plástico dentro de los RSU en México no es mayor al 0.61% [2]. Sin embargo, dado el bajo porcentaje de reutilización de este material, el reciclaje biológico de polímeros puede considerarse como alternativa para los procedimientos tradicionales de reciclaje, lo cual estimuló en los últimos 30 años el desarrollo de avances tecnológicos para modificar los polímeros sintéticos existentes, así como la síntesis de nuevos polímeros que puedan incorporarse al ciclo biológico al ser desechados [3]. En la Ciudad de México como consecuencia de reformas en materia de medio ambiente se integraron al mercado resinas convencionales con aditivos pro-oxidante debido principalmente a que no hay cambio en sus propiedades mecánicas y ópticas respecto a las resinas termoplásticas originales [4], [5]. El uso de este tipo de polímeros modificados inició en 2008, cuando grupo BIMBO comenzó a utilizar empaques de polietileno degradable en las bolsas para pan de caja [6]. El uso de los materiales oxo-biodegradables se extendió y en la actualidad pueden encontrarse en muchas de las bolsas de plástico que los establecimientos comerciales obsequian a sus clientes.

El proceso de biodegradación de plásticos modificados puede llevarse a cabo mediante el compostaje dado las condiciones de manejo de los residuos orgánicos en el Distrito Federal (D.F.), ya que existen 6 plantas de composta. La que cuenta con mayor capacidad es la de Bordo Poniente, que trata 73,000 ton/año. Las restantes se encuentran en algunas Delegaciones del D.F. y son de

capacidad reducida, mismas que en promedio manejan 1,430.2 ton/año [7]. El destino o uso de la composta producida puede variar de una planta a otra, sin embargo, se emplea por lo general en áreas verdes y de cultivo, así como en parques y jardines; para donación a la población en general y, en algunos casos, para escuelas [8]. El fin principal de las plantas de composta es reducir la cantidad de RSU que ingresen al relleno sanitario Bordo Poniente.

La biodegradabilidad de las bolsas de plástico oxo-degradables se evalúa mediante el método de prueba ASTM 6954-04, que permite evaluar la degradación en aquellos plásticos que se degradan por la combinación de procesos de oxidación y biodegradación, tomando en cuenta la posible ecotoxicidad de los productos de la degradación. Este estándar, sin embargo, no refleja las condiciones locales que podrían conducir a la degradación de los plásticos oxo-biodegradables. México no cuenta actualmente con normatividad ni instituciones que certifiquen la degradabilidad, biodegradabilidad o viabilidad de compostaje de materiales plásticos, lo que hace necesario realizar actividades de investigación relacionadas con la evaluación de la efectividad de degradación de los mismos. Esto permitirá obtener las bases técnicas que ayuden a cubrir las necesidades legales y ecológicas adecuadas a las condiciones ambientales, al tipo de residuos que se generan en el Distrito Federal y a la forma en que se manejan.

2. Metodología

2.1 Sistema de compostaje para evaluar de biodegradación de oxo-polietileno oxo-degradado

La Ley de Residuos del Distrito Federal establece la separación y reaprovechamiento de la fracción orgánica. Por ello, para simular el manejo de residuos sólidos orgánicos en el Distrito Federal se desarrolló un sistema de composteo conformado por cuatro reactores de polietileno de alta densidad con una capacidad de 200 L, los cuales contaron con un sistema de aeración artificial y natural para mantener condiciones aerobias durante el proceso de biodegradación, como se muestra en la figura 1. El sistema de aireación natural consistió en un sistema de 2 tuberías de 40 mm por reactor con perforaciones para asegurar el flujo de aire en el centro del sustrato. Las superficies frontal y posterior del tanque fueron perforadas para mejorar el flujo de aire y poder eliminar el vapor de agua y CO₂ generados por el proceso de biodegradación e incorporar oxígeno al sistema de manera constante. El sistema artificial consistió en tres tuberías de 40 mm con perforaciones, las cuales se conectaban a un compresor. Las compostas se airearon artificialmente una vez al día por 20 minutos durante la primer semana. Adicionalmente la composta de cada reactor fue aireada manualmente por el sistema de paleo cada 8 días para eliminar el exceso de humedad generado por el tipo de residuos orgánicos seleccionados.

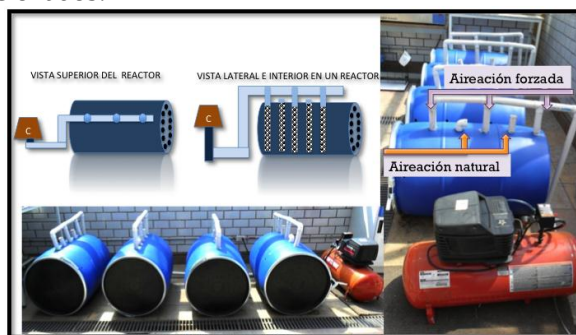


Figura 1. Reactores para proceso de compostaje y sistema de aireación

2.2. Proceso de Compostaje

La proporción de los sustratos fue medido en volumen, la mezcla general fue de 1100 L de los cuales el 50% fueron residuos sólidos orgánicos (RSO), 25% mulch y 25% composta madura. Una vez homogenizada la mezcla de sustratos se llenaron los reactores de 200 L, el reactor 1 fue el control, el reactor 2 fue llenado con composta y con 110 tiras de 30 x 5 cm y 3 tiras de 100 x 30 cm de PEBD convencional irradiado, distribuidas en todo el reactor, en el reactor 3 y 4 se realizó el mismo procedimiento pero se cambió el tipo de plástico por Polietileno de baja densidad con aditivo pro-oxidante OXO-PEBD sin oxidar y oxidado previamente, respectivamente. El oxo-plástico oxidado por radiación presentaba evidencias de degradación, con un porcentaje de elongación antes de la ruptura de 10.35.

Se determinó el pH del sustrato y la humedad total. Durante las dos primeras semanas se monitoreó diariamente la humedad y la temperatura con vástagos mediante 6 puntos fijos de monitoreo y el pH por método potenciométrico. Para evaluar la degradación se determinó la elongación a la ruptura por el método de prueba ASTM D-882 10 y la determinación de índice de carbonilo con un espectrofotómetro FTIR. Para ello se realizaron muestreos de 10 tiras de plástico a los 11, 30 y 45 días. Al finalizar el tratamiento se realizó registro fotográfico de cada tipo de plástico.

3. Resultados y Discusión

3.2 Evaluación del proceso de compostaje

El proceso inició el 14 de febrero del año en curso. A los 8 días hubo una disminución de $\frac{1}{4}$ del volumen en los 4 reactores y para los 15 días el volumen había disminuido a la mitad en cada reactor.

Para asegurar que el proceso de compostaje sea aerobio durante todos los días de prueba se requiere monitorear pH, temperatura y humedad, estos parámetros se comportaron de acuerdo a lo esperado. El pH inicial estuvo cerca de la neutralidad los primeros días, disminuyó por la actividad fúngica y después comenzó a aumentar como se muestra en la figura 2, sin embargo 45 días de prueba no son suficientes para obtener una composta madura con un pH entre 7 y 8 en un proceso a pequeña escala. Respecto a la temperatura, como se esperaba, los procesos de biodegradación por bacterias termófilas se llevaron a cabo entre el día 2 y 5 días alcanzando las temperaturas máximas el tercer día de proceso donde en el centro de la composta se registraron temperaturas de hasta 60°C. En promedio se registraron temperaturas entre 50 y 55 °C, como se muestra en la figura 3. La disminución de la temperatura fue directamente proporcional a la disminución del volumen, lo que indicó una disminución de los procesos de biodegradación.

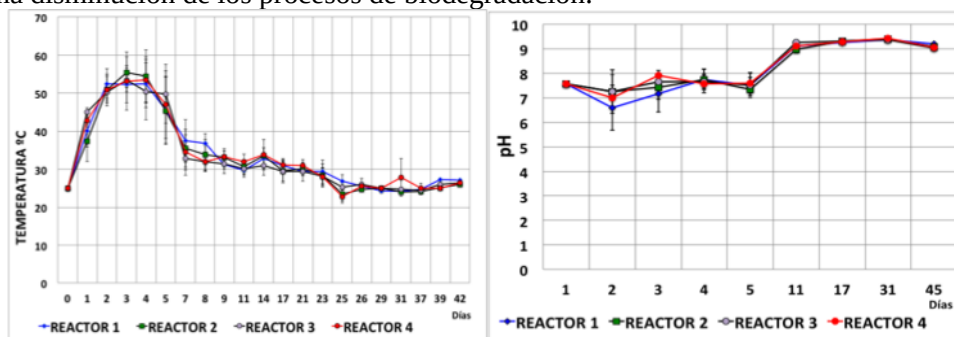


Figura 2. Temperatura y pH promedio del proceso de compostaje de cada reactor

La humedad depende del contenido inicial de agua en los sustratos y de los procesos de biodegradación, sin embargo se puede controlar para favorecer el proceso. En los primeros días se registró exceso de humedad; esto es indeseable ya que puede favorecer la formación de núcleos

anaerobios, los cuales afectan el proceso de biodegradación aerobia. Por tal motivo la primer semana de proceso las compostas se airearon de manera artificial diariamente y una vez a la semana se palearon y dejaron a la intemperie para eliminar el exceso de humedad. Conforme disminuyó la actividad microbiana la humedad se estabilizó y comenzó a disminuir, sin embargo se mantuvo entre el 90 y 100% para asegurar actividad biológica durante los 45 días de prueba.

3.3 Evaluación de la biodegradación de polietileno de baja densidad con aditivo pro-oxidante

Para que un plástico pueda ser biodegradado debe presentar un peso molecular cercano a los 5000 Da, este parámetro puede inferirse de forma indirecta obteniendo el porcentaje de elongación del plástico, si este disminuye a 5% o menos, se considera que la muestra es susceptible a la biodegradación. Las muestras de plástico composteadas no contaban con este porcentaje de elongación, sin embargo son notables las diferencias visuales entre el OXO-PEBD irradiado y sin irradiar después de haber sido composteados. La figura 3 muestra la evidencia visual del estado de los plásticos antes del proceso de compostaje y a los 45 días de compostaje. Las películas plásticas de OXO-PEBD irradiado presentaron una tonalidad amarillenta, opacidad y fragmentación a los 11 días de composteo, sin embargo aún existían tiras completas dentro del reactor. Para el día 45 todas las muestras estaban fragmentadas; las muestras de OXO-PEBD sin oxidación previa no presentaron cambios físicos evidentes.



Figura 3. Evidencia visual de la biodegradación del OXO-PEBD en el proceso de compostaje

En la figura 4 se muestra en escala logarítmica el porcentaje de elongación de las muestras. Se esperaba que este parámetro disminuyera con respecto al avance del proceso de compostaje, sin embargo la dispersión entre las replicas de OXO-PEBD irradiado fue elevada, esto se atribuyó a que las muestras no se degradaron homogéneamente debido a la distribución de las muestras dentro del reactor. Las muestras que presentaron menor porcentaje de elongación probablemente estuvieron en los puntos de mayor temperatura lo cual favoreció su degradación, en comparación de las muestras que estuvieron cerca de la superficie de la composta. Por otro lado el método de determinación estándar para este parámetro no permite evaluar muestras que presenten fisuras en el área de prueba, por lo tanto los resultados de las muestras extraídas en el día 45 no son representativas del proceso de composteo ya que en su mayoría se encontraban fragmentadas y las muestras seleccionadas para análisis que cumplían las condiciones de la norma presentaban menor degradación que el promedio total de las muestras.

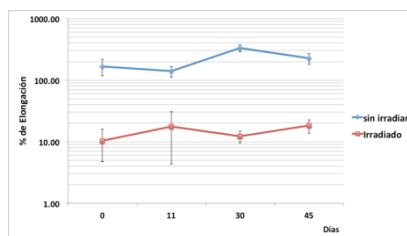


Figura 4. Porcentaje de elongación promedio de OXO-PEBD sometido a un proceso de compostaje

Se esperaba que el índice de carbonilo en las muestras de OXO-PEBD aumentara después del proceso de compostaje ya que visualmente se observaron cambios físicos en las muestras (figura 3),

sin embargo este parámetro disminuyó, como se puede ver en la figura 5, tal efecto se atribuyó al manejo de la muestra, ya que los productos de la degradación se acumulan en la superficie y posiblemente fueron removidos al limpiar las muestras. También se observa alta dispersión entre las réplicas debido a las interferencias causadas por el suelo acumulado en la superficie y a la limpieza de la muestra, por lo que este método de evaluación no refleja los efectos reales de biodegradación.

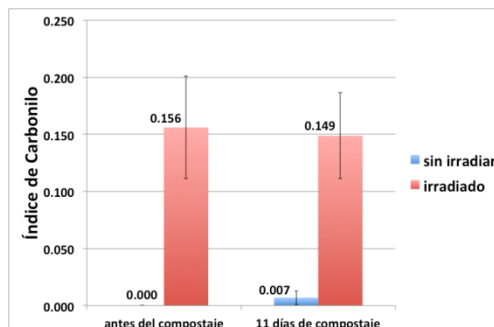


Figura 5. Índice de Carbonilo en el OXO-PEBD promedio

4. Conclusiones

De manera cualitativa, fue factible y eficiente biodegradar muestras de plástico con aditivo prooxidante irradiado por medio de un proceso controlado de compostaje a pequeña escala. Es posible evaluar la biodegradabilidad midiendo la elongación y el índice de carbonilo antes y después de someterlas a la irradiación, sin embargo, los resultados para el proceso de composteo no son absolutamente confiables dado que la distribución dentro del reactor y los requerimientos de las técnicas utilizadas para su análisis inhiben la homogeneidad en las muestras. Hasta el momento, los métodos de evaluación están enfocados a procesos controlados de laboratorio para medir la cantidad de CO₂ producido por la biodegradación, empero, esto no es representativo para las condiciones reales de manejo de residuos. Otra alternativa es la medición de la masa molecular promedio número o peso, la cual es una técnica costosa y poco accesible en México. Esto indica que se requiere enfocar los estudios de la biodegradación de este tipo de plásticos hacia la adaptación de metodologías que ayuden a evaluarlos de forma rápida y económica en las condiciones de desarrollo tecnológico del país.

Referencias Bibliográficas

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2006(10 de marzo 2011). www.inegi.gob.mx
- [2] Instituto Nacional de Ecología. 2009 (20 de enero 2011). http://www.ine.gob.mx/descargas/dgcenica/estudio_comp_bolsas.pdf
- [3] Scott G. "Green polymers". Polymer Degradation and Stability. Vol. 68. 2000. pp 1–7.
- [4] Botelho G., Queiro's A., Machado A., Frangiosa P. y Ferreira J. "Enhancement of the thermooxidative degradability of polystyrene by chemical modification". Polymer Degradation and Stability. Vol.86. 2004. pp 493–7.
- [5] Koutny M., Lemaire J. y Delort A-M. "Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives". Chemosphere. Vol. 64. 2006. pp 1243–52.
- [6] Grupo BIMBO. 2008 (20 de julio 2010). <http://www.grupobimbo.com.mx/salaprensa/index.php?fuseaction=home.boletin&bolID=211>.
- [7] Secretaría del Medio Ambiente. 2008 (20 julio 2010). <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/inventario-08/inventario2008.pdf>.
- [8] Secretaría del Medio Ambiente. 2006 (20 de julio 2010). http://www.occm.uam.mx/archivos/17/file/Residuos_solidos_inventario.pdf.

Influencia del tiempo de residencia hidráulica sobre la hidrólisis solubilización en un reactor de codigestión

Gloria I. González López, Beatriz Torres Beristain, Elena Rustrián Portilla y Eric Pascal Houbroun
giglzlz2@hotmail.com

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia que tiene la recirculación de lixiviado tratado a 3 tiempos de residencia hidráulica (TRH) sobre el proceso de hidrólisis-solubilización. Se sometió a digestión anaerobia la materia orgánica contenida en residuos sólidos orgánicos (RSO) y lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales, a escala piloto. Se empleó un biorreactor con un volumen total de 27.2 litros. Se llenó el volumen útil, que es de 13 litros, con cantidades iguales de residuos sólidos orgánicos y lodos de una depuradora de agua residual urbana. La muestra de RSO se preparó con residuos alimenticios, de jardinería, así como papel y cartón, de acuerdo a los porcentajes de la composición nacional mexicana reportados por el INEGI; ambos sustratos se caracterizaron al inicio y al final del experimento. Se hizo circular agua de la llave en el reactor, simulando el paso del efluente tratado; se ensayó el impacto de 3 condiciones operatorias: a THR de 5, 10 y 20 días. Mediante la caracterización físico química del efluente de salida del sistema se analizó la hidrólisis solubilización. A menor TRH mejoró la eficiencia general de la hidrólisis. Esto permite constatar la influencia determinante que tiene el tiempo de residencia hidráulica sobre el proceso de hidrólisis-solubilización del sustrato orgánico tratado.

Palabras Clave: *biorreactor, digestión anaerobia, lixiviado, recirculación, residuos orgánicos*

524

1. Introducción

En México alrededor del 50% de la basura que se lleva a los sitios de disposición final está compuesta por materia orgánica fácilmente putrescible: residuos de alimento, jardinería, papel y cartón. El estado de Veracruz tiene registrada una generación anual de 2,070,000 toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) [1], se ha estimado que cerca del 70% se dispone a cielo abierto [2].

El interés en el tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) se ha visto intensificado, debido a la limitada capacidad de disposición final vía rellenos sanitarios, la falta de terrenos apropiados y el elevado costo de este tipo de obras. El tratamiento anaerobio de RSU puede ser una alternativa válida, debido principalmente a la reducción en su volumen [3]. Además, este proceso los estabiliza, por lo que los residuos pueden usarse como acondicionador de suelos y para recuperar energía en forma de metano; lo que no sucede durante la incineración o disposición final. Por su parte, la deficiencia de nutrientes presentada en el proceso de digestión puede ser compensada a través de la incorporación de biosólidos. Por ejemplo, lodos predigeridos de plantas de tratamientos de aguas municipales o desechos de lodos activados. La codigestión de RSU y biosólidos es una alternativa atractiva de manejo de dos residuos producidos en grandes cantidades. Así, se aporta nitrógeno y otros nutrientes necesarios, que no están presentes en niveles suficientes en los RSU, al mismo tiempo que se contrarresta el efecto de inhibidores [4].

La aplicación de la codigestión ofrece muchas ventajas respecto a los tratamientos separados. En plantas de biogás, el proceso de codigestión es un método que mejora la economía del tratamiento. Por otro lado, ofrece una alternativa para la disposición de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. El mezclar un residuo sólido con otro más diluido como un

lodo, permite un mejor manejo y degradabilidad [5]. En este trabajo se ensayarán 3 condiciones de operación en la codigestión de RSO y lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas.

2. Desarrollo

Se utilizó un biorreactor con un volumen total de 27.2 L y un volumen útil de 13 L (Figura 1). Está constituido por cuatro partes, cámara de homogenización de 6.9 L, cámara de desechos sólidos de 13 L; el separador trifásico líquido-sólido-gas de 7.3 L, que está constituido a su vez por una trampa de sólidos y un embudo de recuperación de gas; el cuarto componente es el espacio en el cabezal superior de 3.5 L. El reactor fue construido con PVC cédula 80 y cuenta con válvulas y equipo de medición en acero inoxidable.

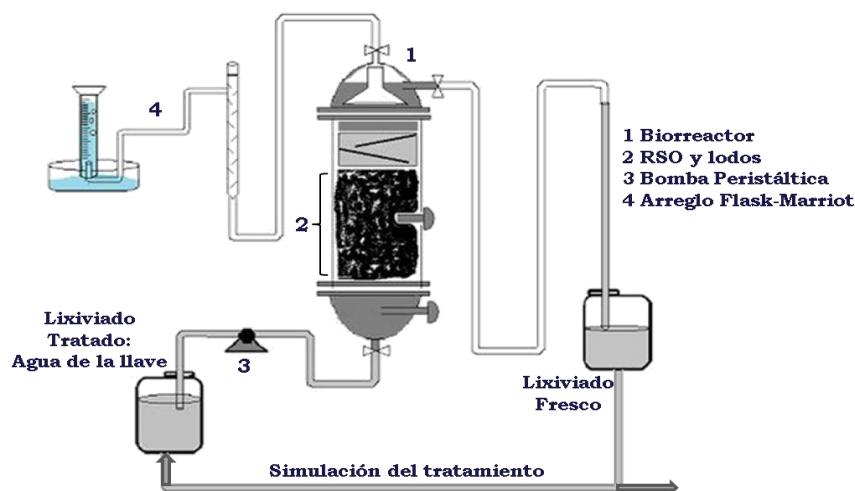


Figura. 1. Esquema del montaje experimental

Con el fin de simular la recirculación de un lixiviado tratado, se introdujo agua de la llave mediante una bomba peristáltica. Para trabajar un TRH de 5, 10 y 20 días, se aplicó un flujo de recirculación de 227.66 ml.h⁻¹, la mitad y una cuarta parte, respectivamente. El líquido se introduce por el fondo del reactor. Entre la cámara de homogenización y la de desechos sólidos se instaló un plato perforado con orificios de 0.8 cm de diámetro, que permite una distribución uniforme y ascendente del lixiviado, generando así un buen contacto entre éste, el sustrato sólidos y los microorganismos. La salida del lixiviado producido se ubicó en la parte superior lateral. Además, en el extremo superior central se conectó un sistema de medición volumétrica para el biogás generado de tipo Flask de Marriot. La temperatura interna se mide mediante 2 termómetros, colocados dentro de termopozos de acero inoxidable.

Se preparó una muestra de RSO estándar de acuerdo a los porcentajes de la composición nacional mexicana [1]. Se utilizó una mezcla de cáscaras de piña, papa, tomate, zanahoria, naranja, plátano, chayote, elote, hojas de lechuga y de árboles, cilantro, papel periódico y cartón. Los residuos se cortaron manualmente en pedazos cuadrados de 3 cm en promedio. Se utilizaron lodos bacterianos secundarios provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas, con capacidad de 25 L.s⁻¹. Sus características eran: color negro, olor desagradable, consistencia chiclosa y húmeda, contenían cabello, hojas, basura, etc.

Para el TRH de 5 y 20 días se preparó una mezcla de 6.5 kg de RSO y de 6.5 kg de lodo fresco, lo que representa una masa total de 13 kg de sustrato para la codigestión. Esta mezcla se introdujo en el reactor y se compactó hasta alcanzar el volumen útil de 13 L, logrando una densidad aproximada de 1 kg.L⁻¹. Después se introdujeron 14.2 L de agua de la llave para llenar completamente el

reactor y así obtener una tasa de humedad superior al 90%. Para el TRH de 10 días se preparó la misma proporción de mezcla (50/50% masa/masa), sin embargo, se logró introducir únicamente 11 kg compactándola. Esto representa una densidad aproximada de 0.85 kg.L⁻¹. El volumen total del reactor se completó con agua de la llave, de la misma manera que para TRH 5 y 20 hasta obtener una tasa de humedad superior al 90%.

La configuración experimental está diseñada para favorecer los procesos de hidrólisis-solubilización e inhibir el proceso de metanización. Las dos variables empleadas como parámetros de presión de selección son el pH y la alta carga de sólidos. La fase limitante de la metanización en presencia de un alto contenido de sólidos es la hidrólisis. Bajo esta configuración el biorreactor anaerobio es principalmente de hidrólisis-solubilización de desechos sólidos, aplicando una recirculación de lixiviado tratado.

La caracterización de los RSO se realizó al inicio y al final del experimento. El lixiviado obtenido se analizó diariamente. Se determinó el contenido de materia orgánica por medio de la Demanda Química de Oxígeno soluble y total (DQOs y DQOt). Así mismo, se caracterizó los sólidos totales y volátiles (ST y SV), Nitrógeno Total Kjeldhal y Nitrógeno amoniacal (N-NTK y N-NH₄); el pH y fósforo total. Todos los análisis se realizaron de acuerdo a los métodos estándar [6].

3. Resultados

En un relleno sanitario la humedad puede variar, dependiendo de la composición de la basura dispuesta. Se ha reportado que por falta de humedad se inhibe el desarrollo de los microorganismos [7]. En nuestro experimento se aplicó una tasa de humedad muy elevada. En la tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización química inicial de los lodos y los RSO que se emplearon para los experimentos de TRH.

Tabla 1. Caracterización química inicial de los lodos y RSO utilizados.

	gST.g Sól. Hum ⁻¹	Hum	mg DQOt .gST ⁻¹	g SV.gST ⁻¹	N-NTK	N-NH ₄
TRH 5		(%)			(mg.gST ⁻¹)	(mg.gST ⁻¹)
RSO	0.14	86.20	614	0.90	4.48	0.56
Lodos	0.16	84.00	1,168	0.59	6.72	1.12
TRH 10						
RSO	0.19	80.22	797	0.90	6.72	5.60
Lodos	0.19	80.83	1,132	0.74	5.32	1.12
TRH 20						
RSO	0.20	79.46	322	0.98	4.48	3.36
Lodos	0.48	51.89	57	0.81	1.96	0.56

Al iniciar la operación del reactor se aprecia inmediatamente la aparición de materia orgánica en el lixiviado, bajo la forma de DQO Total y Soluble (Figura 2). La mayor parte de la DQO se presenta bajo forma soluble en ambos casos. Al inicio del experimento se alcanzaron concentraciones máximas, con valores de hasta 15,000 para los TRH de 5 y 20 días, así como 12,000 mg.L⁻¹ para TRH 10 días. En el TRH de 5 días, la mayor parte de la materia orgánica se solubilizó en un periodo de 10 días. No obstante, para el TRH 10 se han requerido más de 20 días y a TRH 20, se necesitaron 60 días para hidrolizar toda la materia sólida. Al reducir el tiempo de residencia se aumenta la turbulencia y por consecuencia el contacto entre sustrato sólido y microorganismos, lo cual favorece la etapa de hidrólisis solubilización.

Por otro lado, el comportamiento de los sólidos fue consistente con la evolución de las DQO's en ambos experimentos. Es decir, que la cantidad de sólidos en la fase líquida es relativamente baja, característica de una buena hidrólisis.

El pH se mantuvo ácido en los experimentos, con valores entre 5 y 6. Para TRH 5 se mantiene muy cercano a 6 durante toda la fase de hidrólisis, es decir, los primeros 10 días (Figura 3). Luego disminuye, durante la etapa de acidificación, ascendiendo nuevamente a partir del día 28. Una vez terminada esta fase, el pH se incrementó a valores cercanos a 6, debido a la extracción continua de los ácidos generados. El fenómeno de acidificación es más importante cuando se trabajó a TRH 10 y 20 días, debido al bajo flujo y lenta tasa de extracción ácida.

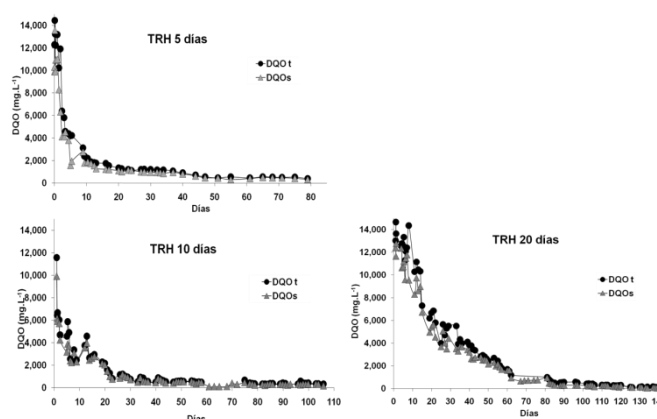


Figura. 2. Evolución de la DQO total y soluble del lixiviado en función del tiempo

527

4. Conclusiones

En ambos experimentos se observó al inicio una hidrólisis solubilización con cinéticas máximas de hidrólisis de 2,700 y 1,200 y 700 mg.L⁻¹.d⁻¹ para el TRH de 5, 10 y 20 días, respectivamente.

La duración del periodo de hidrólisis es superior a mayor TRH, se registraron 10, 20 y 60 días para TRH de 5, 10 y 20 días, respectivamente. Al aumentar la tasa de recirculación del lixiviado se incrementa el contacto entre microorganismos y sustrato, lo que permite acelerar las cinéticas enzimáticas.

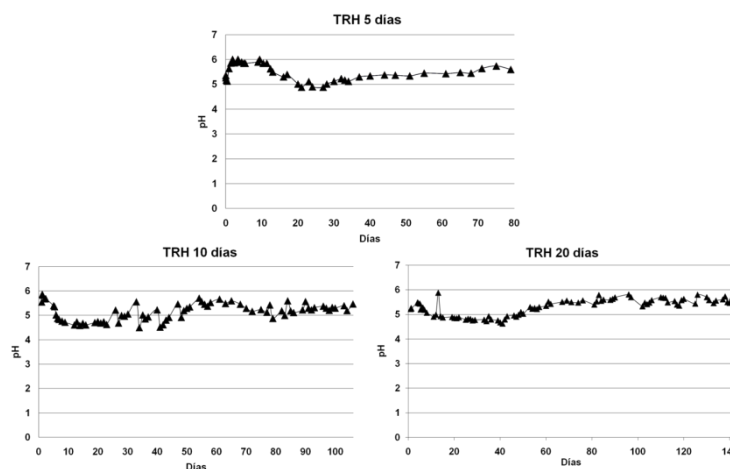


Figura. 3. Comportamiento del pH para TRH 5 10 y 20 días.

Al recircular un lixiviado tratado se puede controlar el pH y la toxicidad de la fase líquida, sin que se presente acidificación intensa o inhibición.

La presencia de microorganismos activos en el lodo secundario empleado para la codigestión permite observar una respuesta inmediata al arrancar el reactor.

La configuración del reactor empleada, recirculando un lixiviado tratado, permite acelerar considerablemente los tiempos de estabilización de los RSO; así, el lixiviado rico en AGV's generado está disponible para ser tratado posteriormente en un reactor metanogénico de alto rendimiento.

Referencias Bibliográficas

- [1] INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2009). Censo general de población y vivienda. Estadísticas por tema, en estadísticas ambientales: residuos, México.
- [2] González López G., Tejeda Rosas M. and Zamora Hernández A. (2003). Environmental indicators for a sustainable development of final disposal of solid waste in the gulf of México zone. In: Fourth int. symposium on cleaner bioprocesses and sustainable development, june 9-12, Veracruz, México.
- [3] Bouallagui H., Touhami Y., Ben Cheikh R., Hamdi M. (2005). Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Process Biochemistry*, 40: 989-995
- [4] Stroot, P., McMahon, K., Mackie and Raskin, L. (2001). Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions-I. Digester performance. *Water Research*, 35, 1804-1816.
- [5] Sosnowski, P., Wieczorek, S. and Ledakowicz S. (2003). Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes. *Advances in Environmental Research*, 7, 609-616.
- [6] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- [7] Ozakaya B., Demir A., Basturk A. and Bilgini S. (2004). Investigation of leachate recirculation effects in Istanbul Odayeri sanitary landfill. *Journal of environmental science and health*, A39 (4), 873-883.

Modelo para estimar el asentamiento de la matriz de RSU en biorreactores con recirculación de lixiviados

¹María del Consuelo Mañón-Salas, ²María del Consuelo Hernández-Berriel,
³Liliana Márquez-Benavides

¹Universidad de Baja California, Calle de la Normal S/N, Insurgentes Este, Mexicali, B.C.N., C.P. 2100. E-mail: consuelomanon@yahoo.es ²Instituto Tecnológico de Toluca, ³Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Resumen

Con base a los conocimientos y la problemática ambiental mundial, la concepción del relleno sanitario (RESA) como una instalación bajo control, ha evolucionado; por lo que ahora se concibe como un reactor biológico gigante, que mediante la adición de lixiviados u otros líquidos acondicionados, es posible acelerar la degradación anaerobia (DA) de los residuos sólidos urbanos (RSU), con lo que se incrementa la tasa de producción de metano (CH_4), se acorta el periodo de monitoreo posclausura y se reducen los costos globales del RESA. Sin embargo, entre sus desventajas se han identificado la inundación, el lavado y/o la compactación excesiva de la matriz de RSU. Esto último limita la distribución de humedad y nutrientes, que consecuentemente afecta la DA. Este trabajo describe el desarrollo de un modelo mediante análisis multivariado. Los datos se obtuvieron de un diseño experimental en el que se cargaron 21 biodigestores a escala laboratorio (BLAB) con RSU del Municipio de Pátzcuaro, Michoacán. El cuerpo de cada BLAB tiene un volumen de 412.24 cm^3 . Se operaron en tres grupos de siete BLAB a las tasas de recirculación de 40, 60 y 80 % volumen (%V). Se desmontó un BLAB de cada grupo los días: 15, 45, 75, 105, 135, 165 y 201. En los residuos degradados se determinó el Asentamiento, pH y remoción de sólidos volátiles (RSV). También se dio seguimiento al CH_4 producido. El modelo final mostró una fuerte relación entre la DA y el Asentamiento. Su elección se basó en una mayor bondad de ajuste.

Palabras Clave: *asentamiento, análisis multivariado, modelado*

1. Introducción

Actualmente dentro de los métodos de tratamiento y disposición de residuos sólidos urbanos (RSU) se tienen el proceso mecánico-biológico, el relleno seco y los biorrellenos acelerados. Sin embargo en México, el Relleno Sanitario (RESA) tradicional es el método usado por excelencia, aunque no necesariamente el que responde al reclamo ciudadano de tecnologías con mayor sustentabilidad [1]. De acuerdo a información del INEGI [2] la producción nacional anual estimada para diciembre de 2010 fue de 39,055,000 toneladas, de las cuales el 61.2 % se depositó en RESA, el 8.4% en rellenos de tierra controlados, el 26.2 en tiraderos a cielo abierto y solo el 4.2% se recicló.

La degradación de la fracción orgánica de los RSU genera biogás y contribuye a la producción de lixiviados, los cuales si no son tratados adecuadamente, producen impactos adversos al ambiente [3], [4].

La tecnología del Biorrelleno acelerado mediante la adición de lixiviados u otros líquidos acondicionados, tiene como ventajas principales el incremento de la tasa de producción de metano (CH_4), el tratamiento *in situ* de sus lixiviados, la recuperación de espacio por la compactación y la operación sustentable del sitio de disposición, ya que acorta el periodo de monitoreo posclausura y reduce los costos globales [5].

El conocer con precisión la compactación o asentamientos en un RESA tiene que ver con el cálculo de su vida útil y la utilización que se pueda dar al sitio en el período posterior a la clausura. Con la finalidad estimar los asentamientos en un RESA, se han desarrollado modelos matemáticos basados en las teorías de compresión primaria y secundaria [6], así como modelos que incorporan y relacionan los parámetros que determinan los procesos de degradación [7], [8].

El objetivo de este trabajo fue determinar la relación entre la DA, la tasa de recirculación de los lixiviados y el asentamiento en los RSU en biodigestores a escala laboratorio (BLAB), mediante el desarrollo de modelos con análisis multivariado.

2. Metodología

El sistema bajo estudio consistió de 21 biodigestores a escala laboratorio (BLAB), donde las entradas quedaron determinadas por las características de los lixiviados recirculados y las salidas por la composición del CH_4 en el biogás generado y los lixiviados producidos (volumen y características). Cada BLAB fue cargado con RSU del RESA de Pátzcuaro, Michoacán, previamente preparados, los cuales se cubrieron con suelo de la región y se compactaron a 600 kg/m^3 , de acuerdo a las condiciones de operación del sitio. Se operaron tres grupos de siete BLAB, a las tasas de recirculación de lixiviados de 40, 60 y 80 % volumen (%V) dos veces por semana. Se desmontó un BLAB de cada grupo los días: 15, 45, 75, 105, 135, 165 y 201. A los residuos degradados se les determinó el Asentamiento, pH y remoción de sólidos volátiles (RSV). Se dio seguimiento a la generación de biogás y CH_4 durante los 201 días que duro la experimentación.

2.1 Análisis y procesamiento de los datos

El primer paso consistió en definir las variables independientes (entrada) y dependientes (salidas) del modelo. Dado el objetivo de este trabajo, las variables pH, RSV y tasa de recirculación en %V o Tratamiento, fueron consideradas como independientes, mientras que el Asentamiento de los RSU, se consideró como variable dependiente. Posteriormente se realizó el análisis exploratorio de los datos. Las variables fueron registradas en tres grupos que conformaron la población total, cada una representada por un Tratamiento (40, 60 y 80 %V). Se manipularon a través de matrices de datos, las cuales se importaron a STATGRAPHICS Plus 5.1 ® donde realizó dicho análisis.

Se partió del diseño de histogramas y diagramas de caja para cada variable, los cuales mostraron su distribución, su grado de variación, valores mínimos y máximos. Para conocer las tendencias de los datos se emplearon la media y la mediana. Del mismo modo, para evaluar la dispersión de los datos se usó la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de asimetría y la curtosis. Posteriormente por medio del análisis de la matriz de correlación y del factor de correlación (r), se determinó el tipo de relación y dependencia entre las variables. Con el gráfico de dispersión se determinó la forma en cómo se encontraban relacionadas. Finalmente, para cuantificar la relación entre las variables agrupadas se llevó a cabo el análisis de ANOVA, verificando la hipótesis nula (H_0) sobre la existencia de diferencias significativas en las variables independientes con respecto al nivel de asentamiento de los RSU. Para ello se realizó su evaluación mediante la prueba de Tukey HSD con un nivel de confianza del 95% [9].

2.2 Selección de variables

La identificación de las variables significativas es una de las tareas más importantes en el modelado y por lo general lo realiza el experto de forma intuitiva, pero cuando se manejan variables con cierto nivel de complejidad, conviene recurrir a técnicas matemáticas que aseguren la selección de éstas. La técnica implementada fue *Stepwise*, cuya finalidad perseguida es buscar de entre todas las posibles variables independientes, aquellas que mejor expliquen a la variable dependiente, sin que ninguna de ellas sea combinación lineal de las restantes [10].

2.3 Construcción del modelo

El propósito de un modelo de regresión múltiple (RM), es establecer la relación funcional que mejor exprese el valor de una variable en función de otra con todos los datos de la muestra. En la regresión lineal, se exige que la relación entre las variables sea de tipo lineal, que los residuos sean aleatorios y normales y que las variables independientes sean normales y con homocedasticidad. Evidentemente los datos deben ser cuantitativos. En estas circunstancias, cualquier función $f(x)$ que no pueda representarse en términos de la ecuación 1, se dice que es una función no-lineal [11]

$$f(x) = \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad (1)$$

2.4 Verificación del modelo

El criterio apropiado para juzgar la validez de un modelo es el hecho de si predice o no con suficiente exactitud los efectos relativos a los diferentes cursos de acción, para poder tomar una decisión que tenga sentido. Para asegurar que este requisito se cumpla, existen diferentes índices que permiten cuantificar el grado de ajuste entre los datos medidos y los resultados del modelo. Entre ellos se encuentra el coeficiente de determinación R^2 , que es el cuadrado del coeficiente de correlación r . Otra medida es la raíz cuadrática media o Root Mean Square (RMSE), empleada para contrastar en qué medida los valores predichos se acercan a los valores observados, lo que significa que a menor valor de RMSE mayor precisión (Ecuación 2):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_p - P_o)^2}{N}} \quad (2)$$

Donde p_p es el valor pronosticado por el modelo, p_o es el valor observado o medido y N es el número total de datos.

3. Resultados

3.1 Análisis exploratorio de los datos

Esta etapa se inició con el análisis de las variables independientes con un tamaño de muestra $N=21$ (Tabla 1). La variable Tratamiento (%V) presentó una distribución normal (asimetría=0). En cambio RSV, CH_4 y Asentamiento mostraron una distribución sesgada a la derecha, con valores altos con mayor frecuencia que valores bajos. En contraste, el pH reveló mayor frecuencia en valores bajos que valores altos, lo que confirmó la existencia de un sesgo a la izquierda. Las cinco variables presentaron una curtosis negativa significado de una distribución relativamente plana. Con respecto al coeficiente de variación (CV) se observó que la distribución de las variables CH_4 , Asentamiento y RSV presentaron una mayor dispersión en comparación con Tratamiento y pH.

Tabla 1. Resultados del análisis univariado

Variables	Tratamiento (%V)	RSV (%)	pH	CH_4 (L/kg RSU)	Asentamiento (%)
Media	60	13.3	6.7	11.94	6.9
Varianza	280	36	0.9	98.8	16.7
Desv Stand	16.7	6	0.9	9.9	4.1
Asimetría	0	0.79	-1.74	0.08	1.3
Curtosis	-1.5	-1.15	-0.7	-1.58	-0.8
C V	28%	45%	14%	83%	59%

Al analizar la matriz de correlación (Tabla 2), se observó una fuerte relación de la variable Asentamiento con RSV ($r = 0.94$) y CH_4 ($r = 0.92$), lo cual se muestra en los diagramas de dispersión (Figuras 1 y 2). Las variables independientes RSV y CH_4 presentaron una fuerte relación, con la que se debe tener cuidado para evitar problemas de colinealidad [10]. La variable

pH presentó una relación media con respecto a RSV ($r = 0.59$) y Asentamiento ($r = 0.57$), así como una buena relación con CH_4 ($r = 0.75$).

Tabla 2. Matriz de correlación

r	Tratamiento (%V)	RSV (%V)	pH	CH_4 (L/kg RSU)
RSV (%)	0.26			
pH	-0.05	0.59		
CH_4 (L/kg RSU)	0.01	0.94	0.75	
Asentamiento (%)	0.22	0.94	0.57	0.92

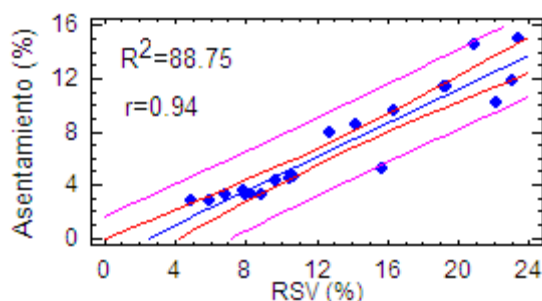


Figura 1. Diagramas de dispersión: a) Asentamiento vs RSV

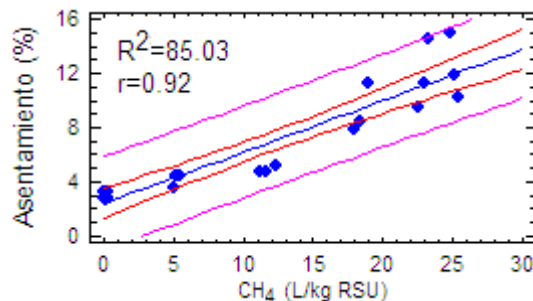


Figura 2. Diagramas de dispersión: Asentamiento vs CH_4

Mediante el análisis de ANOVA con un nivel de confianza del 95%, se verificó que no existían diferencias significativas en la variable Asentamiento debido al Tratamiento ($p\text{-value} > 0.05$).

3.2 Selección de variables

Empleando la técnica *Stepwise* y el coeficiente de determinación (R^2), fue posible establecer que tanta variación de la variable Asentamiento era explicada por las variables independientes (Tratamiento, RSV, pH y CH_4). En la Tabla 2 se observa que RSV es la primera en incluirse, seguida por la variable CH_4 , aunque no juntas pues presentan una fuerte relación, mientras que la entrada de las variables pH y Tratamiento resultan irrelevantes para el modelo, más aun si se está en busca de un modelo parsimonioso, es decir, un modelo que contenga el menor número de variables necesario para ajustar los datos [10].

Tabla 2. Valores de R^2 obtenidos con la técnica *Stepwise* para Asentamiento

Orden de selección	RSV	CH_4	Tratamiento	pH
1	88.75	85.00	0.24	29.00
2		89.47	88.17	88.18
3			89.62	89.63

3.3 Construcción y verificación del modelo

Si bien R^2 expresa una fuerte relación entre las variables CH_4 y Asentamiento, el resultado de la ANOVA de regresión reporta que no es significativa la variable CH_4 para el modelo ($p\text{-value} > 0.14$, $t = 1.51$). Por lo anterior, el Asentamiento de los RSU quedó determinado únicamente por la RSV, con la que se construyeron y evaluaron los modelos Exponencial, Multiplicativo, Logarítmico y Lineal. Entre estos modelos los mejores fueron el Exponencial ($R^2=90.94$ y $\text{RMSE}=4.29$) y el Lineal ($R^2=88.75$ y $\text{RMSE}=1.30$). Considerando el menor RMSE, el modelo seleccionado fue el Lineal, que explica el 88.75% del comportamiento de la variable dependiente. El gráfico de

dispersión de los valores predichos vs. Observados (Figura 3), muestra que éstos se encuentran “cercaños” y alrededor de la exactitud ideal ($y = z$), esto indica gráficamente que el modelo $\text{Asentamiento} = -1.594 + 0.642 * \text{RSVT}$ no presenta sesgo en sus pronósticos.

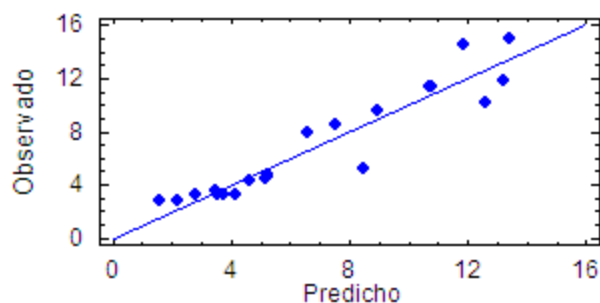


Figura 3. Modelo de regresión

El modelo de regresión Lineal elegido, muestra que altos valores en el Asentamiento del sistema se asocian a altos valores de RSV, donde esta última representa la DA en la matriz de RSU. La relación positiva entre el Asentamiento y DA de RSU ha sido reportada por Reinhart *et al.* [5] y Espinace *et al.* [7], observándose que es mayor el Asentamiento en la degradación de RSU donde se utiliza la recirculación de lixiviados.

La importancia en la estimación del Asentamiento de RSU es relevante no solo para el aprovechamiento de la capacidad del un sitio de disposición, sino también para las previsiones a realizar durante la etapa de diseño [6].

4. Conclusiones

Debido a las características de los parámetros bajo estudio y al principio de parsimonia, el modelo final para el Asentamiento de los RSU fue lineal simple, corroborando la importancia de la DA representada por la RSV en la matriz de residuos.

El modelo desarrollado en este trabajo tiene la limitante propia de los datos a escala laboratorio, por lo que su aplicación a escala campo requiere de la parametrización con datos del RESA de Patzcuaro, Mich., sin embargo, cabe señalar que muestra que es posible estimar el Asentamiento de RSU a partir del seguimiento de una variable fácil y económica de determinar como la RSV.

Referencias Bibliográficas

- [1] Sánchez Gómez J. “Bio-rellenos metanogénicos: opción sustentable para la disposición final de los residuos sólidos”. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. Vol 1 (1), pp. 1-17.
- [2] INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Mayo 2011). <http://www.inegi.org.mx/>
- [3] Kjeldsen P., Barlaz M. A., Rooker A. Baun P., Ledin A., A., y Christensen T. H., “Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review”. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2002. Vol. 32, pp. 297–336.
- [4] SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). “La gestión ambiental en México”. ISBN 968- 817 - 799 – 7. 2006. México, D. F.
- [5] Reinhart D. R., McCreanor P. T., y Townsend T. G. “The bioreactor landfill: Its status and future”. *Waste Management & Research*, Vol. 20, 2002. pp. 172–186.
- [6] Espinace, R., Palma, J., Szantó, M., Schiappacasse, M. C., Chamy, R., “Asentamientos de un vertedero controlado a escala con recirculación de lixiviados”. *Proc. IV Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica*. Valparaíso – Chile, 1997.

- [7] Espinace, R., Palma, J., Sánchez-Alciturri, J. M., “Experiencias de aplicación de modelos para la determinación de los asentamientos de rellenos sanitarios”. *XI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*. 1999. Foz do Iguaçu, Brasil.
- [8] Lobo G.C. A., Herrero L. J., Montero F. O., Tejero M. I. “Modelling for environmental assessment of municipal solid waste landfills (Part II: Biodegradation)”. *Waste Manage Researchs* 2002. V 20, pp. 514–528.
- [9] Figueras, M. S. y Gargallo, P. “Análisis Exploratorio de Datos” (mayo 2011), *5campus.com, Estadística* <<http://www.5campus.com/leccion/aed>> [Mayo 2011]
- [10] Navidi W. *Estadística para ingenieros*. Ed. McGrawHill Interamericana. Mexico. 2006.
- [11] Jara-Jiménez P., Gras J. A., Rosel J. y Caballer-Miedes A. “La modelización de relaciones no lineales: aspectos teóricos”. *Psicothema* 2000. Vol. 12, Supl. nº 2, pp. 315-319

Tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos del sector residencial y su aprovechamiento como fuente de energía

Mydory Oyuky Nakasima López, Nicolás Velázquez Limón, Sara Ojeda Benítez
mydory.nakasima@hotmail.com

Resumen

En este artículo se presenta el estado del arte de la tecnología de digestión anaeróbica para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos. Se realizó un estudio comparativo considerando las características principales, ventajas, desventajas y aplicaciones más comunes de las tecnologías, seleccionando lo mejor de cada una de ellas para la generación de una propuesta tecnológica de procesamiento de los residuos sólidos orgánicos del sector residencial, a nivel vivienda o conjunto habitacional. Finalmente, se realiza una descripción de las diferentes etapas del sistema propuesto, acoplando el proceso de digestión anaeróbica con un motor stirling para la generación de energía eléctrica, proponiendo un sistema de captación solar tipo fresnel para la generación de vapor que será utilizado en la etapa de pre-tratamiento térmico de los residuos sólidos orgánicos.

Palabras Clave: *biogás, digestión anaeróbica, residuos sólidos orgánicos domiciliarios, pre-tratamiento*

1. Introducción

535

En la sociedad moderna, el consumismo está fuertemente relacionado con el sistema básico de necesidades, una de las necesidades básicas de cualquier familia es la de comer, la actividad que se realiza para satisfacer esta necesidad implica que diariamente se acumulan desechos orgánicos que podrían ser aprovechados para no producir contaminación [1]. Actualmente, y sobre todo en los países desarrollados, es donde existe el mayor índice de consumo y por tanto el de mayor producción de residuos, debido al rápido *crecimiento de población*.

Mexicali, Baja California, no es la excepción, ya que cuenta con 936,826 habitantes registrados en el año 2010, lo que corresponde aproximadamente al 30% del total de la población del estado de Baja California [2]. Se han realizado estudios acerca de la generación, composición y cuantificación de los residuos sólidos del sector residencial de la ciudad de Mexicali, donde se ha registrado que el 41.4% corresponden a residuos orgánicos que comprenden los desechos de comida y residuos de jardines principalmente, equivalentes a 300 toneladas diarias de residuos orgánicos, que a su vez corresponde a 0.8565 kilogramos por habitante por día [3], los cuales contienen un gran potencial para ser utilizados como fuente de energía. El gran inconveniente es que este tipo de residuos se están convirtiendo en un serio problema ambiental debido a la disposición final en los rellenos sanitarios, incrementando la carga de residuos orgánicos y por consiguiente la generación excesiva de metano principalmente, el cual tiene alrededor de 25 veces más efecto invernadero que el dióxido de carbono, así como la generación de otros gases liberándose directamente a la atmósfera, lo que contribuye negativamente al llamado efecto invernadero y a su vez al cambio climático.

Actualmente, existen opciones tecnológicas que pueden ser aplicadas para reducir los efectos negativos que ocasionan este tipo de residuos [4]. Entre los tratamientos biológicos, la digestión anaeróbica es usualmente considerada el proceso más rentable, debido a la alta recuperación de energía relacionado con el proceso y sobre todo por su limitado impacto ambiental [5]. Por lo tanto, la digestión anaeróbica para la obtención de biogás, constituye una alternativa energética muy

importante, en esta época en donde es indiscutible la disminución de las reservas de combustibles fósiles y el incremento de su precio, así como el deterioro ambiental que estamos provocando al planeta con la desmedida generación de residuos.

2. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descomponen en productos gaseosos o biogás CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc., y en digestato, que es una mezcla de productos minerales N , P , K , Ca , etc., y compuestos de difícil degradación [6]. Las ventajas principales del proceso de digestión anaeróbica son: minimización de emisiones de gases de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y a su vez la obtención de un abono orgánico rico en nutrientes y libre de patógenos para el uso directo en la tierra.

2.1 Fases de la digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato *término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos* [6], interviniendo cuatro grandes poblaciones de microorganismos como se muestra en la figura 1:

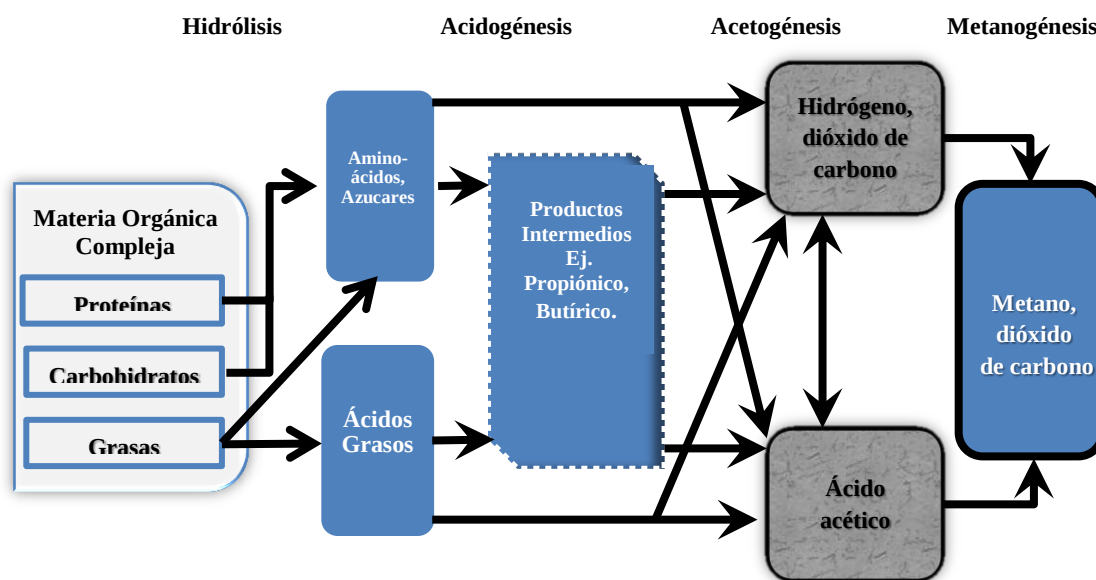


Figura. 1. Etapas del proceso de digestión anaeróbica

2.2. Parámetros ambientales y operacionales del proceso

Siendo la digestión anaerobia un proceso bioquímico complejo, es necesario mantener las condiciones óptimas que permitan la realización tanto de las reacciones químicas dentro de la matriz líquida del reactor, como las reacciones bioquímicas intracelulares que dan vida a los organismos en juego [7]. La tabla 1 muestra las condiciones óptimas de operación para que se lleve a cabo correctamente el proceso de digestión anaeróbica.

Tabla. 1. Condiciones y parámetros de operación del proceso de digestión anaeróbica

Condición	Parámetro
pH neutro	6.8 – 7.2
Temperatura mesofílica	30 – 37 °C
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	15 -25 días
% de Sólidos Volátiles (SV)	7-12
Relación C/N	20:1 – 30:1

3. Estudio comparativo de las tecnologías para el tratamiento de residuos orgánicos

El estudio comparativo de las tecnologías utilizadas en el proceso de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos, fue clasificado de acuerdo a su proceso evolutivo: digestores de primera, segunda y tercera generación, tal como se muestra en la tablas 2, 3 y 4. Los criterios para el análisis comparativo y selección de la tecnología de digestión anaeróbica más idónea, están basados en sus principales características, ventajas y desventajas, considerando especialmente el tipo de residuo que puede procesar, tiempo de retención hidráulico y rendimiento de producción de biogás.

Tabla.2. Estudio comparativo de digestores anaeróbicos de primera generación

Digestor Anaerobio	Características	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Laguna Anaeróbica	Está diseñada para la remoción de materia orgánica suspendida y parte de la fracción soluble de materia orgánica. Funcionan de manera similar a los tanques sépticos abiertos. Operan en serie con lagunas facultativas y de maduración.	- Relativamente barato - Proceso simple - Efluente de buena calidad - Espacio reducido - Buen rendimiento para el tratamiento de aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica	-Supervisión constante a la mezcla y cantidad de desechos, con el fin de mantener una biomasa de buena calidad para el tratamiento - No hay acceso a los mezcladores para su mantenimiento -Operación a baja temperatura y largos períodos de retención -Se deben construir a distancias considerables de los límites urbanos	-Tratamiento de aguas residuales de la industria y agrícola
Tanques Sépticos	Contenedor hermético cerrado en donde se acumulan las aguas negras y donde se les da un tratamiento primario. Elimina los sólidos al acumular las aguas negras en el tanque y al permitir que parte de los sólidos, se asienten en el fondo del tanque mientras que los sólidos que flotan (aceites y grasas) suben a la parte superior. Cuenta con un período de retención mínimo de 6días.	-Apropiado para comunidades rurales, edificaciones y condominios, etc. -Su limpieza no es frecuente. -Bajo costo de construcción y operación. -Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos.	-Uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente de los efluentes en el suelo. - Requiere de equipo para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío, etc.)	-Tratamiento de aguas residuales domésticas (urbanas, urbano marginales y rurales)
Modelo Hindú	Consiste en una fosa o en un tanque pequeño que opera de forma semi-continua. Este tipo de reactor es enterrado verticalmente y se cargan por	-Tiempo de retención de 10-30 días relativamente cortos. -Fácil manejo. -Trabaja a una presión	-Poco eficiente en la biodegradación de residuos. -Costos elevados debido al gasómetro	-Tratamiento de residuos domiciliarios y/o agropecuarios.

	gravedad una vez al día. El gasómetro esta integrado al sistema, en la parte superior del pozo se tiene una campana flotante donde se almacena el gas, balanceada por contrapesos de ahí sale el gas para su uso.	constante.	móvil.	
Modelo Chino	Consiste tanque redondo y achatado con el techo y el piso en forma de domo. Se encuentran enterrados y cuentan con un gasómetro fijo. En este caso, a medida que aumenta la producción de gas, aumenta la presión en el domo o cúpula fija, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir. Trabaja a una presión variable, ya que su objetivo no es producir biogás sino abono orgánico ya procesado.	- Bajo costo. -Fácil manejo.	-Elevado tiempo de retención de 30-60 días -Cantidad elevada de formación de espuma	-Tratamiento de residuos agrícolas/estiércol. -Excretas humanas.
Mezcla Completa sin Recirculación (RMC)	Reactor relativamente simple. Distribución uniforme de concentraciones, tanto del sustrato como de microorganismos. El tiempo de retención hidráulico es de 10-30 días. Tiempo de arranque de 30-90 días.	-Buena descomposición de la materia suspendida	-Alta demanda de energía y espacio -No hay buena sedimentación de la biomasa -Carga volumétrica y producción de gas baja -Largo tiempo de retención	-Tratamiento de aguas residuales urbanas. -Actividades agrícolas y agroindustriales
Mezcla Completa con Recirculación (Contacto Anaerobio)	La retención de la biomasa se realiza por sedimentación externa y recirculación. El reactor se mantiene agitado. Adecuado para tratar aguas residuales con sólidos de lenta digestión. Tiempos de retención hidráulica de 1-5 días. Tiempo de arranque de 20-60 días.	-Buena sedimentación -Sin problemas de taponamiento en tuberías -Recirculación necesaria	-Tanque adicional para sedimentación lo que implica el incremento de costos de inversión	-Tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica (aguas residuales de azucareras, cerveceras, etc.)

Tabla. 3. Estudio comparativo de digestores anaeróbicos de segunda generación

Digestor Anaerobio	Características	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Filtro Anaerobio	Consiste de un lecho poroso donde la flora anaeróbica se puede adherir. Se opera sin recirculación. El exceso de barro se elimina del reactor junto con el efluente tratado. Es ideal para aguas residuales con carga orgánica soluble o que se degrade fácilmente.	-Proceso robusto -Buena retención de microorganismos -Bajo costo -No requiere agitador -Tiempos de retención hidráulica de 1-5 días.	-Precipitación de sustancias inorgánicas -Posible obstrucción del filtro -Alta demanda de construcción -No es apropiado para altas concentraciones de lodos -Tiempo de arranque de 20-60 días.	-Tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria
Manto de Lodo Granular	Reactor tubular que operan en régimen continuo y flujo ascendente. Reactor anaerobio en el cual los	-Tiempo de residencia bajo (48 h) -Sin problemas de taponamiento en tuberías	-Recirculación necesaria -Problemas cuando no aparecen gránulos -Sensible con elevadas	-Tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria

(UASB)	microorganismos se agrupan formando biogránulos (generalmente en el rango de 0.5 a 2 mm de diámetro), por el tipo de flujo que maneja. La composición del gránulo está estratificada.	-Mezclado natural -Buena sedimentación de los lodos -Convierte del 70-95% de la materia orgánica biodegradable en una corriente de biogás valorizable	concentraciones de material orgánico insoluble	-Tratamiento de aguas residuales domésticas
Circulación Interna (IC)	Está basado en la tecnología del UASB con dos etapas de separadores trifásicos, donde el inferior es altamente cargado de materia orgánica a diferencia del superior, recuperando el biogás en dos zonas. En la primer zona se utiliza el biogás recogido para generar una agitación de gas que hace circular el agua y el lodo a través del reactor manteniendo mezclado el sustrato. En la segunda zona presenta una carga hidráulica baja, lo que separa con eficiencia el biogás, gránulos de biomasa y efluentes tratados.	-Espacio reducido -Poca propensión a atascarse con sólidos debido al sistema de distribución de afluentes -No hay piezas móviles internas; menos costes de mantenimiento. -El volumen pequeño del sistema, simplifica la gestión del inventario de lodos. -El biogás se elimina del reactor mucho antes del punto en el que se descarga el efluente, lo que proporciona una zona de reposo y mantiene la biomasa en el reactor -Tiempo de residencia = 4hrs.	-Dificulta la formación de gránulos.	-Tratamiento de aguas residuales de alto contenido orgánico. -Fábrica de cerveza y de bebidas NO alcohólicas. -Industria del papel. -Industria alimenticia.
Híbrido (AHR)	Consiste en una manto de barro, que permite tener una buena densidad de biomasa en la parte inferior. En la parte superior, la concentración de biomasa “granulada” se puede colocar una cierta altura de relleno permitiendo el desarrollo de biomasa adicional, adherida al mismo, aumentando las posibilidades de depuración. Cuenta con un tiempo de residencia de 10 a 13 hrs aprox.	-Alta eficiencia debido al flujo ascendente del lecho fijo -Alta concentración de biomasa	-Posibles daños y taponamiento de las capas inferiores -Bajo rendimiento -La actividad de microorganismos metanogénicos es mayor en la parte inferior que en los niveles superiores	-Tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria -Tratamiento de aguas residuales domésticas
Flujo de Pistón Horizontal	Este tipo de reactor tiene una orientación horizontal y está construido fijamente dentro de un tubo de concreto, que en escala y geometría, es similar a los diseños de los recipientes de compostaje aeróbico.	-Alta producción de biogás -Espacio reducido -Consumo de agua bajo o nulo dependiendo de las características del material -Baja demanda de energía en el manejo de materiales, transporte y fermentación mediante el uso de unidades de baja velocidad y tiempos de operación alternados -Alta degradación de SSV a través del flujo de pistón casi continua.	-Las temperaturas son difíciles de controlar y puede dar lugar a gradientes de temperaturas indeseables -Altos costos de mantenimiento	-Tratamiento de residuos orgánicos municipales. -Tratamiento de residuos porcino, vacuno y bovino. -Tratamiento de residuos orgánicos industriales
Geomembrana	El biodigestor tiene una geometría “alargada” donde la mezcla de materia orgánica y agua circula en “flujo pistón”. Este tipo de flujo permite que	-Excelente resistencia química a la mayoría de los efluentes industriales. -Útil para grandes volúmenes de biomasa.	-Requiere de mucho espacio. -Requiere de agitadores mecánicos.	-Tratamiento de residuos agropecuarios y de la agroindustria.

	cada porción del residuo que ingresa por un extremo cumpla el tiempo de residencia necesario dentro del biodigestor antes de salir por el otro extremo, bien alejado del inicio. La cubierta superior tiene el objetivo de recuperar todo el biogás producido, como también cumplir de función de gasómetro.			-Tratamiento de los residuos orgánicos domiciliarios.

Tabla. 4. Estudio comparativo de digestores anaeróbicos de tercera generación

Digestor Anaerobio	Características	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Lecho Fluidizado	Sistema en el que las bacterias se encuentran suspendidas. Cuenta con recirculación para mantener el caudal adecuado que permita la expansión y fluidización del lecho. En la parte superior de la unidad, se encuentra un sedimentador que evita la salida de partículas de lodo con el efluente.	-Excelente contacto entre la biomasa y los residuos de agua -Fácil arranque y tiempos cortos de retención hidráulica de 1-10 horas -Insensible a las variaciones de carga -Velocidad de sedimentación ajustable	-Inversión y gastos de operación muy altos -Mantenimiento complicado -Sensible con alimentos tóxicos	-Aguas residuales especialmente de la industria agroalimentaria -Fracciones líquidas o sobrenadantes de residuos ganaderos (experiencias limitadas)
Manto de Lodo Granular Expandido (EGSB)	En la medida que se disponga de biomasa granular de buena calidad, puede utilizarse para expandir el lecho con mayores velocidades ascendentes. Debido al caudal de recirculación que se aplica, mejora la actividad de la biomasa. Aplicación de elevadas cargas orgánicas.	-Mezclado efectivo, debido a la alta velocidad de la corriente ascendente -Elevada concentración de biomasa activa sobre las partículas de soporte -Tiempo de residencia bajo (10 h)	-Altos costos de energía debido a la recirculación	- Tratamiento de aguas residuales industriales de diversos tipos.

4. Propuesta de las etapas del proceso de tratamiento de los residuos sólidos orgánicos del sector residencial

En la figura 2 se muestra el sistema propuesto de las etapas por las que pasan los residuos sólidos orgánicos del sector residencial, desde su almacenamiento por el usuario, pre-tratamiento, tratamiento mediante la digestión anaeróbica hasta la obtención del biogás acoplado un motor stirling para su utilización como energía eléctrica en la vivienda, así como el uso de los residuos sólidos orgánicos digeridos, ya sea en forma líquida o sólida que pueden ser utilizados directamente en la tierra de los jardines de las viviendas y/o en los parques comunitarios.

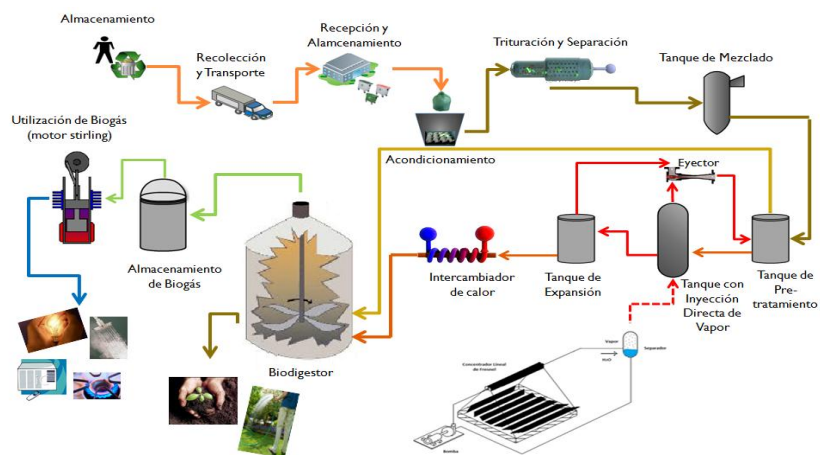


Figura. 2. Etapas del proceso de tratamiento de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios

5. Resultados y discusiones

Como puede apreciarse en las tablas 2, 3 y 4, la evolución de los digestores ha venido siendo sustentada con nuevas geometrías, etapas de pre-tratamiento, separación de fases, cambios en el modo de operación, fijación y suspensión de bacterias, altas velocidades de flujo, entre otros.

Los digestores de primera generación se caracterizan por tener una parte de los microorganismos en suspensión y la otra parte se encuentran acumulados como sedimento logrando un adecuado contacto de los mismos con el sustrato, son de fácil operación, debido a su baja capacidad de procesamiento de residuos cuenta con largos períodos de retención hidráulico lo cual requiere de equipos más grandes; estos digestores son utilizados para tratar aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas, así como residuos sólidos orgánicos domiciliarios y agrícolas. Los digestores de segunda generación se identifican por tener a los microorganismos retenidos en el tanque por medio de una bio-película adherida a un soporte (empaques), o bien, por su sedimentación en forma de agregados (flóculos o granos) densos. En estos sistemas se ha separado el tiempo de retención hidráulico celular reduciendo el tiempo de retención hidráulico así como el tamaño de los digestores, también se ha mejorado considerablemente el dispositivo de distribución del sustrato en su interior, la mayoría de los digestores clasificados en esta generación no requieren de mezcladores; las aplicaciones de este tipo de digestores son tanto para tratamiento de aguas residuales como de residuos sólidos orgánicos industriales, domiciliarios y agrícolas. Por último, los digestores de tercera generación también retienen los microorganismos en bio-película o grano compacto y denso, con la particularidad de que el soporte se expande o fluidifica con altas velocidades de flujo debido a que cuenta con recirculación de materia orgánica. Sin embargo, esto los vuelve más costosos, tiene tiempos cortos de retención hidráulico lo que disminuye el tamaño del digestor, permite elevadas cargas orgánicas obteniendo un mayor rendimiento de biogás y sus aplicaciones más comunes son para tratamientos de agua residuales industriales y agrícolas. La evolución de la tecnología de digestión anaeróbica, incorporando procesos de pre-tratamiento y recirculación de la biomasa, ha permitido disminuir los tiempos de retención hidráulico de días a horas, obteniendo digestores más pequeños, haciéndola más eficiente y económicamente viable.

De acuerdo a la figura 2, dentro del sistema propuesto de las etapas del proceso del tratamiento, se considera que se realicen la separación de fases. Esto implica realizar un pre-tratamiento mecánico y térmico del residuo para ayudar a favorecer la primer fase del proceso de digestión anaeróbica, la *fase hidrolítica*, ya que los residuos orgánicos domiciliarios están compuestos por moléculas orgánicas complejas, como proteínas, grasas y almidones principalmente, donde estas bacterias requieren de una gran cantidad de energía para desdoblar los polímeros en fragmentos más

pequeños, lo cual sin el pre-tratamiento antes mencionado, llevaría mucho más tiempo en realizarse este fenómeno, es por eso que se propone la separación de fases para acelerar el proceso de producción de biogás.

4. Conclusiones

Los digestores (circulación interna, lecho fluidizado y manto de lodo granular expandido) son los que tienen mayor potencial para ser utilizados en el procesamiento de los residuos sólidos orgánicos del sector residencial, dado que son los que presentan altas cargas orgánicas (10-35 kg/m³.día), el menor tiempo de retención hidráulico (1-10 horas) y un alto rendimiento de producción de biogás.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ojeda Benítez Sara El consumo como fuente de generación de basura y contaminación. En Quintero Núñez Margarito Contaminación y medio ambiente en B.C. Editorial Miguel Angel Porrúa 2006 pp 227-249
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI . Año 2010. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=02>
- [3] Carabias J., Provencio E., Sánchez J. *Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México*. Primera Edición. Noviembre de 1977. Talleres de desarrollo gráfico editorial S.A. de C.V. México D.F. 61 páginas.
- [4] Taboada P., Aguilar Q., Ojeda S., "Análisis estadístico de residuos sólidos domésticos en un municipio fronterizo de México". *Avances en ciencias e ingeniería*. Vol. 2(1). 2011. pp. 2.
- [5] Mata J., Macé S., Llabrés P., "Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives". *Bioresource technology*. Vol. 74. 2000. pp. 1.
- [6] Besel, S.A. (Departamento de Energía). *Biomasa: digestores anaerobios*. 2007. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Madrid, España. 48 páginas.
- [7] Montes Carmona, M. E. 2008. *Tesis doctoral: estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás*.

TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Aceite esencial: potencial de obtención a partir de residuos de naranja en Mexicali, Baja California

José Ramón Ayala Bautista, Gisela Montero Alpírez, Laura Pérez Pelayo, Iliana Aguilar Hurtado,
Armando Pérez Sánchez
iq.ramonayala@gmail.com

Resumen

Se presenta una estimación del potencial de aprovechamiento del residuo de la cáscara de naranja para la obtención de aceite esencial. Las técnicas consideradas para la producción de aceite esencial fueron: destilación por arrastre de vapor (hidrodestilación) y prensado mecánico, tomando como base la producción de naranja en el municipio de Mexicali. Este municipio forma parte de Baja California, estado ubicado al noroeste de la República Mexicana, presenta una importante producción de naranja en el país y cuenta con una superficie de 161.5 hectáreas dedicadas a este cultivo, con un rendimiento de 18.69 toneladas por hectárea, que lo sitúa por arriba de la media nacional. Tal producción es utilizada para satisfacer las necesidades de la población. Como consecuencia del consumo de este cítrico, se generan grandes cantidades de desechos de naranja, que constituyen residuos sólidos urbanos, cuya disposición se destina a un relleno sanitario, por lo que es deseable su aprovechamiento para la elaboración de productos de alto valor agregado y a la vez contribuir a la eliminación de una fuente de contaminación importante. Con base en un consumo de naranja anual per cápita nacional reportado en 2008, que fue de 37.2 kilogramos, se estimó una generación de 12,711 toneladas de desechos sólidos de cáscara de naranja en Mexicali y un potencial para producir 66.5 toneladas anuales de aceite esencial.

Palabras Clave: cítricos, hidrodestilación, prensado

544

1. Introducción

El municipio de Mexicali, se encuentra ubicado en el estado de Baja California en la región noroeste de la República Mexicana, al norte colinda con los Estados Unidos de América, específicamente con el estado de California; al sur con el estado de Baja California Sur; al este con el Golfo de California y al oeste con el Océano Pacífico. A largo de su historia Mexicali ha tenido grandes problemas de contaminación de aire, suelo y agua, es por ello que lamentablemente ocupa el quinto lugar de la lista de ciudades más contaminadas de México según lo reporta el Instituto Nacional de Ecología (INE) y gran parte de esta contaminación ha sido generada por la inadecuada disposición de los residuos de la población, los cuales se dividen en residuos peligrosos y residuos sólidos urbanos. [1], [2]

En 2009, el estado de Baja California representado en la Figura 1, dispuso aproximadamente 55,000 toneladas de residuos sólidos urbanos, mezcla constituida de orgánicos, reciclables y otros residuos. De ahí el interés y necesidad de aprovechar parte de ellos y recuperarlos como fuente de materias primas para procesos de generación de energía, o como materiales remediadores de suelo, por citar algunos de sus usos. Es así que la Cáscara de Naranja Residual, (CNR) representa una oportunidad para producir Aceite Esencial de Naranja (AEN). Dicho aceite es utilizado en industrias como la farmacéutica, alimenticia y de limpieza, siendo de importante valor por sus propiedades aromáticas.



Figura 1. Mapa de la república mexicana a la derecha, a la izquierda Baja California y el municipio de Mexicali resaltado en Amarillo [3], [4]

Los aceites esenciales son una combinación de compuestos secundarios de las plantas como terpenos y compuestos fenólicos [5]. Los terpenos son una familia de compuestos derivados del isopreno, sintetizadas por la misma planta, gracias a una serie de reacciones metabólicas [5]. Estas combinaciones de sustancias no son de vital importancia para la planta y en combinación, sus características pueden darle el olor característico. En el caso del AEN, el compuesto de mayor presencia es el d-limoneno, y se reportan concentraciones por alrededor del 90%. En la Figura 2, se muestran algunas estructuras correspondientes a los compuestos que se encuentran comúnmente en el AEN [6].

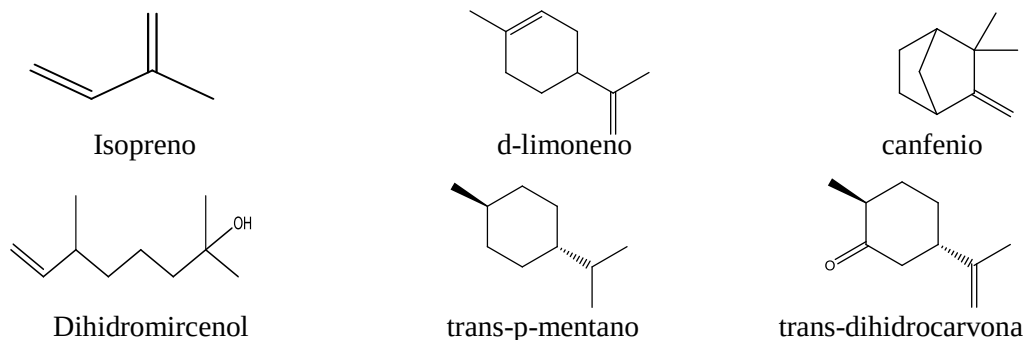


Figura 2. Compuestos más representativos del AEN. El isopreno no se encuentra presente en el aceite esencial, pero se incluye debido que se derivan el grupo funcional de los terpenos

Los métodos de extracción que generalmente se utilizan para obtener aceite esencial son: hidrodestilación o prensado mecánico. El primero consiste en hacer ebullicir una solución de CNR en agua, donde el vapor de la misma arrastrará los compuestos por afinidad, esta corriente posteriormente se hace pasar por un intercambiador de calor y finalmente se separa por densidades, quedando el aceite esencial en la parte de arriba [7]. En el caso de prensado se utiliza maquinaria para romper la epidermis de la cáscara donde se encuentra el aceite, posteriormente comienzan a crearse áreas con mucha presión por la acción de la maquinaria, pero otras donde la presión es menor, provocando el flujo de aceite por éstas y finalmente, la cáscara se raspa produciendo pequeños trozos de residuos [8].

2. Desarrollo

La producción nacional de naranja en 2009 fue de 4, 193,484.44 toneladas, donde el 85% del total de esta producción la aportó el grupo conformado por 5 estados: Veracruz, Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí y Puebla, según se aprecia en la Figura 3 [9], [10].

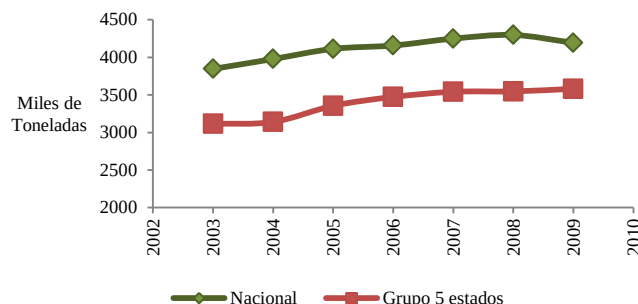


Figura 3. Comparativa de la producción nacional de naranja contra el grupo de los 5 estados de mayor producción en el país (Veracruz, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Puebla)

Baja California aporta el 0.083% de la producción nacional de naranja, mientras que el municipio de Mexicali influye en un 0.07% de este total nacional. En el estado de Baja California y hablando específicamente del área de estudio, es decir el municipio de Mexicali, las actividades agrícolas se desarrollan en el denominado Valle de Mexicali, con una superficie susceptible para siembra de 200 mil hectáreas, lo que representa una superficie del 62% hablando del Valle de Mexicali [3].

El Municipio de Mexicali, produce en promedio, cerca del 88% de toda la naranja cosechada en Baja California, y a pesar de que en 2009 este porcentaje disminuyó a 86%, con un total de 3,018 toneladas, como se destaca en la Figura 4, Mexicali permanece como el municipio más importante en la producción de naranja en el estado [9].

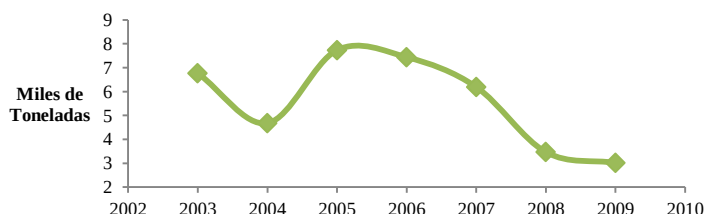


Figura 4. Producción de naranja en el municipio de Mexicali 2003-2009

Sin embargo, las toneladas de naranja producidas en el municipio de Mexicali solo satisfacen el 8% de la demanda de la población actual, como se muestra en la Figura 5, por lo que es necesario abastecerse de la naranja proveniente de las entidades del grupo de productores mencionados, o bien mediante la importación de otros países. [9]-[11]

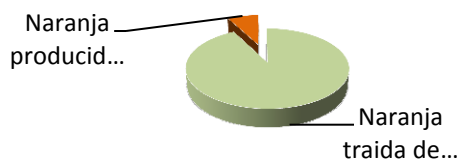


Figura 5. Porcentaje de satisfacción de demanda de naranja en Mexicali en 2009

3. Metodología

Según el reporte del censo de población 2000, el número de habitantes registrados en Mexicali fue de 784,709 [11], para el censo de 2005 ascendió a 865,962 y finalmente en el 2010 a 936,823 personas. Con base en tales datos se estimó entonces el comportamiento de la población a lo largo de los años 2003-2009, los resultados se resumen en la Tabla 1. Así, en conjunto con los indicadores de consumo de naranja por habitante se estima la naranja consumida para el municipio. [12]

Tabla 1. Concentrado de información producción-consumo del municipio de Mexicali

Año	Población (hab)	Consumo Per cápita Nacional (kg/hab/año)	Consumo (Ton/año)	Producción (Ton/año)
2003	859,907	38.0	32,676.48	6,769
2004	879,343	38.7	34,030.56	4,679
2005	895,962	39.7	35,569.69	7,735
2006	909,766	39.7	36,117.71	7,441
2007	920,754	40.1	36,922.25	6,192
2008	928,927	37.2	34,556.09	3,468
2009	934,284	38.9	36,343.66	3,018
Media		38.9	35,173.78	5,614

Tomando en cuenta los valores de producto cultivado así como la cantidad de naranja que se consume en Mexicali, es posible estimar la cantidad de materia disponible en la región, la cual generará el residuo de cáscara de naranja para su posterior procesamiento en AEN. En 2009 con la cantidad de naranja producida en México existió un potencial de 3000 toneladas de AEN con un rendimiento aproximado del 0.3% [10]. Este valor se tomó como el mínimo rendimiento de producción de AEN. A pesar de que México produce AEN, es necesario realizar importaciones del orden de los 378.54 toneladas, al año para satisfacer la demanda nacional [11].

En la Figura 6 se muestran las 3 partes principales que constituyen a la naranja [13]: cáscara de naranja o membrana carpelar (22.11% - 26.80% w/w); albedo (sección blanca después de la cáscara: 10.89% - 13.20% w/w) y pulpa (60% - 67% w/w).

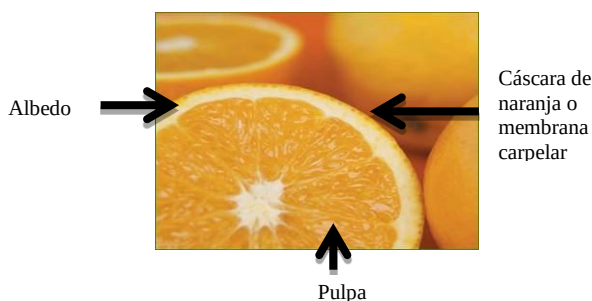


Figura 6. Esquema de las 3 principales partes de la naranja

Dado que el comportamiento de la producción de naranja tanto a nivel municipal como a nivel nacional difiere año con año, se tomaron las cifras del último año reportado, es decir el 2009.

4. Resultados y discusiones

La Tabla 2 muestra los resultados de potencial de producción anual de AEN en Mexicali.

Tabla 2. Potencial de producción anual de aceite esencial en Mexicali

Descripción	Naranja Disponible (Ton/año)	Ton Aceite esencial
En base a la naranja cultivada en la región.	3,018.25	2 - 2.42
En base a la naranja cultivada e importada	36,343.66	24.11 - 29.22

Lo anterior se traduce en una producción potencial mínima de 2 - 2.42 toneladas de AEN al año usando como base únicamente la naranja cultivada en la región.

5. Conclusiones

La utilización de la cáscara de naranja residual, constituye una oportunidad para reconvertir residuos en materia prima de gran utilidad para la obtención de aceite esencial, particularmente el D-Limoneno.

Cabe destacar que aunque este aceite esencial es producido en México, es necesario importar 378.54 toneladas para satisfacer la demanda nacional.

De llevarse a cabo tal recuperación tan sólo en el residuo generado correspondiente al Valle de Mexicali, se reducirían las importaciones de AEN equivalentes a un importe de 31,704 dólares.

Cabe mencionar que a partir de experimentación realizada, se incrementó de manera sustancial la cantidad de aceite esencial recuperado de los residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] D.O.F. *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. 28-01-2011
- [2] D.O.F. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. 19-06-2007
- [3] Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Abril 2011. www.inafed.gob.mx
- [4] Centro Nacional de Metrología. Abril 2011. www.cenam.mx
- [5] Kanerva S. "Plant secondary compounds and soil microbial processes in carbon and nitrogen cycling in relation to tree species", *Department of Applied Chemistry and Microbiology, Faculty of Agriculture, University of Helsinki* pp. 10-14
- [6] Yáñez Rueda X, Lugo Mancillo L. Parada Parada D. Y. "Estudio del aceite esencial de la cascara de la naranja dulce (Citrus Sinensis, variedad Valenciana) Cultivada en Labateca (Norte de Santander Colombia)", *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. Año/vol 5 num 001 Universidad de Pamplona, Bucaramanga, Colombia*. pp. 6-7.
- [7] Husnu Can Baser, K., Buchbauer G. "Handbook of essential oils, Science Technology, and applications." pp. 119-141.
- [8] Giovanni D. Di Giacom A. Citrus. "The genus citrus, Medicinal and aromatic plants, industrial profile". 2002 Taylor & Francis. 642 paginas.
- [9] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Abril 2011. www.siap.gob.mx
- [10] Asociación Nacional de Procesadores de Cítricos, "El uso de agroquímicos ante la problemática internacional de los residuos."
- [11] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Abril 2011. www.inegi.org.mx
- [12] Monografía Naranja, Financiera Rural, Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial (2009)
- [13] U.S.D.A. Abril 2011. www.ars.usda.gov/is/espanol/kids/smalltown/story1/sp.smalltown

Agregados no convencionales para la preparación de concretos ecológicos

María Fernanda Serrano Guzmán, Diego Darío Pérez Ruíz
mariaf.serrano@upb.edu.co

Resumen

El creciente desarrollo urbano y la necesidad de nuevas obras de ingeniería, mantenimiento y reemplazo de la infraestructura que ha cumplido su tiempo de servicio generan un problema de sobre explotación de los recursos y producen enormes cantidades de material de desperdicio y escombros que son dispuestos en los sitios destinados para este propósito o en lotes o terrenos abandonados con el consecuente deterioro del paisaje y contaminación visual. El concreto utilizado en obras civiles se obtiene de la mezcla, manual o mecánica, de cemento, agua, agregados naturales y algunas veces aditivos, que dosificados producen mezclas con la resistencia y el acabado requeridos en las obras. Este trabajo de investigación permite estudiar los cambios en las propiedades mecánicas del concreto preparado reemplazando parte de los agregados naturales con agregados proveniente del reciclaje de escombros y limalla proveniente de la industria metalmeccánica. Para este propósito se dosificaron ocho mezclas cada una con dieciocho especímenes de concreto, las cuales fueron ensayadas a compresión. La mezcla preparada 23% de agregado fino, 61% de agregado grueso, 10% de agregado proveniente del reciclaje de escombros, 6% de limalla fina y una relación agua-cemento de 0.4, permitió obtener resistencias superiores a las resistencias obtenidas en mezclas preparadas con agregados vírgenes. Este tipo de concreto permite aprovechar hasta 0.07 m³ de escombros por cada metro cúbico de concreto producido, reduciendo el uso de agregados vírgenes lo que permite mitigar el efecto ambiental generado por la sobre explotación de estos recursos no renovables.

Palabras Clave: *concreto ecológico, ensayos, escombros, explotación*

1. Introducción

La industria de la construcción representa un aporte significativo a los sectores económicos en la mayoría de los países. Para el caso de Colombia, considerando únicamente proyectos de vivienda de interés social, se observó un crecimiento del 234% entre el 2006 y el 2010 [1], [2].

El concreto utilizado como material de construcción se obtiene al mezclar en forma dosificada cemento, agua, agregados naturales y en ocasiones aditivos [3]-[12]. Las propiedades mecánicas, la durabilidad y el valor estético que se le puede proveer al concreto han hecho de este material uno de los más utilizados para la construcción de diferentes proyectos en Colombia.

Cada uno de los insumos que dan origen a la mezcla de concreto tiene un proceso de producción característico. El cemento es producido en plantas especializadas en donde las materias primas del mismo se someten a ensayos de calidad. El agua utilizada, tanto para la obtención de la mezcla como para el curado del concreto terminado, generalmente es el agua utilizada para consumo humano. Arena y triturado son los agregados que comúnmente se utilizan en la producción de mezclas de concreto. Estos son extraídos de fuentes naturales y provienen de canteras, ríos o quebradas [6]-[12].

Los escombros son residuos inertes provenientes de distintas actividades de la construcción. En general, se puede decir que el escombros está compuesto por un 20% de hormigón, un 50% de

material de albañilería (cerámico, tubería, uniones, etc.), un 10% de asfalto y un 20% de otros elementos como maderas [12], [13]. A pesar de la existencia de leyes relacionadas con la disposición de escombros, en países como Colombia la gestión integral de los residuos de construcción ha sido muy deficiente [14], [15]. La limalla, al igual que el escombros, es un residuo inerte. La limalla es proveniente en su mayoría del maquinado de motores de combustión y en general de las actividades de la industria metalmecánica de modo que sus características pueden variar de una industria a otra. Estudios realizados han demostrado que este residuo inorgánico es potencialmente reciclable [5], [11], [16], [17].

La naturaleza inerte tanto de la limalla como de los escombros permitió su uso en la producción de concreto. En este estudio se observa la factibilidad de utilizar estos residuos como una proporción de los agregados naturales. De esta manera se está contribuyendo a mitigar la incorrecta disposición de los residuos y el excesivo consumo de los agregados naturales, favoreciendo con ello la sostenibilidad del medio ambiente [17].

Este trabajo presenta alternativas de agregados no convencionales, escombros y limalla, para la preparación de mezclas de concreto en las cuales se ha reemplazado el porcentaje de agregados naturales.

2. Metodología

El método adoptado para el diseño de la mezcla de concreto usando agregados reciclados de escombros y residuos de la actividad metalmecánica se basa en: (a) Desarrollo del diseño experimental adecuado, (b) selección de una mezcla de concreto apropiada, (c) Preparación de la mezcla, fundición y curado de los cilindros y vigas de concreto y (d) Pruebas de laboratorio llevadas a cabo sobre cilindros y vigas, siguiendo la Norma Técnica Colombiana (NTC) para ensayo de materiales. La actividad más importante, antes de la preparación de la mezcla de concreto, es la selección de los materiales. De esta manera, para obtener un concreto con la resistencia y manejabilidad requerida, es necesario determinar las proporciones adecuadas de los agregados y la relación agua-cemento más conveniente. Por lo tanto, los materiales deben ser caracterizados adecuadamente, especialmente cuando se utilizan materiales no convencionales tales como materiales reciclados.

2.1 Selección y ajuste de los materiales

En términos generales, los agregados naturales son materiales de construcción que se obtienen comercialmente y son el producto de la explotación de canteras y ríos. Los escombros provenían de residuos de concreto, mortero y mampostería (ladrillo); estos materiales se ajustaron a un tamaño de $3/8''$ y $1/4''$ con el propósito de reemplazar parte de la porción de grueso y fino, respectivamente. La limalla fue proporcionada por LAVCO, una empresa metalmecánica; este material fue caracterizado como agregado fino (Ver Figura 1).



Figura. 1. Material granular natural y no convencional

2.2. Caracterización de los materiales y preparación de la mezcla de concreto

En el caso del cemento, se determinó el peso específico del material obtenido en la planta de producción siguiendo la Norma Técnica Colombiana NTC 221. Los agregados utilizados en la preparación del concreto fueron clasificados granulométricamente con base a la NTC 77, expedida por el Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Así mismo, fueron sometidos a ensayos de: densidad (NTC 276), absorción s(NTC 237) y masa unitaria según (NTC 92). En cuanto a las propiedades del concreto en estado plástico, es decir antes de endurecer, se siguieron las normas que indican el procedimiento para determinar el asentamiento (NTC 396) (Ver Figura 3) y el rendimiento volumétrico (NTC-1926).



Figura. 3. a) Preparación de la mezcla de concreto, b) llenado y compactado 25 golpes distribuidos en tres capas de altura tercios cada capa, c) prueba de asentamiento

2.3. Pruebas mecánicas del concreto en estado endurecido

Los materiales compuestos como el concreto, generalmente son caracterizados con base en sus propiedades físicas para propósitos de control de calidad. Varias pruebas de laboratorio son utilizadas para caracterizar la mezcla de concreto y predecir las propiedades del concreto terminado. La resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión de cualquier material de construcción son variables fundamentales en el diseño de elemento hecho con ese material.

La resistencia a la compresión es el parámetro que define la capacidad de un concreto endurecido para soportar cargas y permite prever el comportamiento de la estructura bajo condiciones de carga establecidas. Para determinar la resistencia a la compresión desarrollada por los ocho diferentes diseños de mezcla seleccionados, se prepararon, con cada uno de los diseños de mezcla, 18 especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Todas las muestras se probaron utilizando la máquina de compresión, lo que permitió determinar la resistencia a compresión del material compuesto con base en los estándares establecidos por la norma NTC-673.

3. Resultados

Las mezclas de concreto fueron preparadas con una relación agua/cemento de 0.4 (Ver Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3). Un total de ocho mezclas fueron preparadas con diferentes porcentajes de agregados, de escombros y de limalla considerando la proporción de mezcla de agregados que arrojara el menor porcentaje de vacíos.

Tabla 1, Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) del agregado grueso

Mezcla	Arena	Triturado	Ladrillo grueso	Escombros	Resistencia kg/cm ²
1	30	60	10		169.92
2	20	70		10	153.97
3	40	50		10	223.56
Testigo	40	60			200.68

Tabla 2, Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) del agregado fino

Mezcla	Arena	Triturado	Ladrillo fino	Resistencia kg/cm2
4	30	60	10	190.12
Testigo	40	60		200.68

Tabla 3, Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) de los agregados naturales

Mezcla	Arena	Triturado	Limalla	Escombros	Resistencia kg/cm2
5	40	44	6	10	302.09
6	40	44	6	10	297.8
7	23	61	6	10	306.74
Testigo	40	60			200.68

El comportamiento mecánico de las mezclas confirmó que proporciones del 23% de agregado fino, 61% de agregado grueso, 10% de escombros y 6% de limalla presentaron resistencias superiores a las resistencias obtenidas en mezclas sin agregados no convencionales (Testigo).

En general, las mezclas con adiciones de limalla y escombros presentaron resistencias promedio superiores a un 40% en todos los casos frente a las mezclas preparadas con agregados convencionales.

La verificación de la calidad de los agregados no convencionales (escombros y limalla) y la comparación del comportamiento mecánico de los mismos con los agregados naturales demuestra la factibilidad del uso de materiales reciclados en la preparación de mezclas de concreto por cuanto sus especificaciones se ajustan a las Normas Técnicas Colombianas de calidad y a las normas del Instituto Nacional de Vías (INVE).

4. Conclusiones

El trabajo presenta una alternativa de aprovechamiento de residuos proveniente de la industria de la construcción y la industria metalmecánica, buscando producir materiales compuestos alternativos con resistencias iguales o superiores a aquellas obtenidas con agregados naturales. De esta forma, se reducen los impactos negativos generados por la disposición inadecuada de los residuos o material de desecho producido por el sector industrial.

Aunque la mezcla de concreto preparada con limalla y agregados reciclados presentan resistencias promedio superiores hasta en un 40% a la resistencia de diseño esperada (i. e. 210 kg/cm² (21MPa), es necesario continuar el estudio para verificar la durabilidad de las mezclas preparadas considerando el efecto en la porosidad y en la variación de las propiedades físico-químicas de las mismas.

Agradecimientos

Por el trabajo de laboratorio a los Ing. Juan Sebastián Ferreira, Katty Milena Parra y María Alejandra Bautista. Por la financiación de los trabajos a la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Referencias Bibliográficas

[1] DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, “Informe de Coyuntura Económica Regional”. 2009. Banco de la República. Consultado el 3 de mayo de 2011. Disponible http://www.dane.gov.co/files/icer/2009/santander_icer_II_sem_09.pdf

- [2] Uribe Vélez, A. Mayo 2010. “Informe al Congreso: Segunda Parte”. Consultado el 3 de mayo de 2011. Disponible en la red: <http://wsp.presidencia.gov.co/Paginas/Presidencia.aspx>
- [3] Torrado, L.M. Porras, N. 2009. “Determinación de los módulos de elasticidad del concreto producido con los diferentes materiales existentes en Bucaramanga y su Area Metropolitana”. Tesis de grado de Ingeniero Civil, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- [4] Ferreira, J.S. 2009. “Aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto”. Tesis de grado de Ingeniero Civil, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- [5] Bautista M.A. y K. Parra. 2010. “Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros”. Tesis de grado. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- [6] Serrano, M.F. 2010, “Elaboración de adoquines utilizando escombros como una proporción del agregado grueso”. Reporte de Investigación financiada por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- [7] Serrano, M.F. 2010. “Influencia de las propiedades mecánicas de los agregados en el módulo de elasticidad del concreto”. Reporte de Investigación financiada por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- [8] Serrano-Guzmán, M.F. 2010. “Residuos Industriales para preparación de concreto: alianza universidad-empresa para el desarrollo del país”, Memorias Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo, Universidad Nacional, Bogotá.
- [9] Serrano M.F. y D.D. Pérez. Julio-Diciembre 2010 . “Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto”, Concreto y Cemento: Investigación y Desarrollo, Volumen 2, Número 1.
- [10] Serrano M.F. y D.D. Pérez. Enero/febrero 2011 a. “Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad del concreto”. Cemento y Hormigón, Volumen 942.
- [11] Serrano-Guzmán María F. y Diego Darío Pérez Ruiz. 2011. “Use of Recycling Materials to Build Paver Blocks for Low Volume Roads in Developing Countries”. Journal Transportation Research Record. Publisher: Transportation Research Board of the National Academies, Julio.
- [12] Serrano-G., M.F., Ferreira, J.S. 2009. “Aprovechamiento de los escombros para la producción de concreto”. Memorias II Simposio Iberoamericano de Residuos. Barranquilla 25-25 de septiembre.
- [13] Cadena, A. 1995. “Aspectos Técnicos en el manejo de los residuos sólidos”. Hacia un Pacto Limpio, Reunión sobre manejo de residuos sólidos y reciclaje. Bogotá. Ministerio de Medio Ambiente 1995, 237p.
- [14] Dominique de Suremain, M., 1995, “La participación de las organizaciones no gubernamentales en el manejo de los residuos sólido y el reciclaje”. Hacia un Pacto Limpio, Reunión sobre manejo de residuos sólidos y reciclaje. Bogotá. Ministerio de Medio Ambiente. 237p.
- [15] Serrano, M.F., Pérez D.. 2009. “Propuesta de un Programa de Gestión Integral de Escombros”. Memorias II Simposio Iberoamericano de Residuos. Barranquilla 25-25 de septiembre.
- [16] Jaramillo, G.A., 1995. “Que nada ni nadie sea desecho: Aspectos educativos en el manejo de residuos sólidos”, Hacia un Pacto Limpio. Reunión sobre manejo de residuos sólidos y reciclaje. Bogotá. Ministerio de Medio Ambiente. 237p.
- [17] Serrano-Guzmán, M.F., Pérez-Ruiz, D.D. 2001. “Concreto preparado con residuos industriales: Resultado de alianza empresa-universidad”. Revista Educación en Ingeniería. Volumen 10, Junio.

Aprovechamiento de los escombros generados en actividades de demolición de placas de pavimento en Cartagena - Colombia

Mónica Eljaiek Urzola, Edgar Quiñones Bolaños, Javier Mouthon Bello
meljaieku@unicartagena.edu.co

Resumen

El presente artículo presenta los resultados de una investigación que evaluó el aprovechamiento de escombros en la elaboración de bloques de concreto macizos y huecos no estructurales y como agregado grueso en la elaboración de concretos. Para ambos casos se realizaron diseños de mezclas adecuadas con los escombros procedentes de la demolición de placas de pavimento de una vía principal de la ciudad de Cartagena, Colombia. Los escombros se utilizaron como material base y fueron sometidos a distintas etapas de trituración hasta obtener un estado propicio para su uso en cada caso. Para el concreto, se realizaron ensayos tales como resistencia a compresión y a flexión, peso unitario, densidad y absorción, determinando así la viabilidad técnica de los concretos. En el caso de los bloques con material reciclado se hicieron ensayos a la compresión, absorción y densidad, los cuales se compararon con las características de los bloques comerciales. Finalmente se seleccionó la mejor alternativa para concreto, que fue el concreto reciclado compuesto de escombros con el que se alcanzó 29,13 y 4,45 MPa de resistencia a la compresión y flexión respectivamente, y con el que se obtuvieron los menores costos de elaboración (17,5% menos que con el convencional) y mayores beneficios ambientales y económicos. En cuanto a los bloques también se obtuvieron buenos resultados ya que las resistencias obtenidas y las propiedades de absorción fueron muy similares a la de los bloques obtenidos en el comercio local a pesar de que no cumplieron con las normatividad técnica.

554

Palabras Clave: *agregados reciclados, concretos reciclados, residuos de construcción*

1. Introducción

La ciudad de Cartagena de Indias ha aumentado su actividad constructora en los últimos años y en consecuencia se están generando alrededor de 190.000 m³/año de escombros cuya disposición se hace muchas veces en sitios no autorizados con los correspondientes perjuicios a los propietarios de estos predios y a la comunidad en general por la contaminación que genera el acarreo o transporte de estos [1].

De acuerdo con los resultados obtenidos en estudios realizados para la disposición de los escombros generados en el Distrito [1][2], se requiere una escombrera con capacidad de aproximadamente 2.900.000 m³ para disponer el volumen generado hasta el año 2018 [1]. Esto sugiere que para una altura de la escombrera de 20 metros se requeriría un área aproximada de 145.000 m² (14.5 ha), sin embargo de acuerdo con el Plan de Gestión Integral de Residuos sólidos de Cartagena [2], el área disponible para la escombrera es de 6.05 ha con una altura de 24 m conformada por 4 terrazas de 6 m de altura.

El problema de contaminación producido por la manipulación, acarreo y disposición final de los escombros, adicional a la difícil consecución de áridos por agotamiento de las canteras actuales, justifica la exploración de alternativas de tratamiento y reutilización de escombros, para obtención de materiales de construcción de buena calidad y bajo costo, generación de industria y como consecuencia empleo y limpieza de la ciudad.

En este documento se presentan los resultados de la investigación sobre dos alternativas de aprovechamiento de los escombros en el Distrito de Cartagena como son: concretos de baja resistencia y bloques para construcción de viviendas.

2. Metodología

Para evaluar la factibilidad técnica de los concretos de baja resistencia se elaboraron ocho diseños de mezclas en los que fueron analizados: agregado calizo de la cantera Cimaco localizada a 14 Km de Cartagena y los escombros procedentes de la demolición de placas de pavimento de la avenida Pedro de Heredia de Cartagena.

Los escombros fueron sometidos a distintas etapas de trituración hasta obtener un estado propicio para su uso como agregado grueso. Luego, fueron combinados en distintas proporciones en peso con el agregado grueso natural obteniéndose cuatro agregados gruesos reciclados (AR) [3], radicando la diferencia entre ellos en el porcentaje de escombros como componente del agregado grueso (AR1:30%, AR2:50%, AR3:70% y AR4:100%).

Consecutivamente, estos, al igual que el agregado Cimaco se sometieron a ensayos como ensayos de granulometría, peso unitario, densidad y absorción, humedad, resistencia al desgaste y al ataque de sulfatos que permitieron su caracterización como agregado grueso.

Paralelamente, se realizó una combinación en peso de agregado natural y escombros manteniendo las proporciones iniciales, pero realizándoles un ajuste granulométrico conforme con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174 y se le practicaron los mismos ensayos buscando verificar su incidencia en la calidad del producto final.

Las propiedades del agregado fino y del cemento también fueron estudiadas, adquiriendo toda la información necesaria para la elaboración del diseño de mezcla. Realizado esto, se elaboraron las mezclas, se tomaron las muestras y se prepararon los cilindros y viguetas que sirvieron para evaluar características de los concretos reciclados, tales como resistencia a compresión y a flexión, peso unitario, densidad y absorción, determinando así la viabilidad técnica de los concretos luego de su comparación con las características del concreto convencional; utilizando la resistencia a la compresión como parámetro base de ésta comparación.

El estudio también contempló un análisis costo/beneficio como indicador de la viabilidad económica del proyecto, en el que se determinaron los ahorros, ganancias ó beneficios que su aplicación genera, tales como ahorros en disposición de escombros, disminución en costos de elaboración del concreto y reducción de la explotación de recursos naturales entre otros.

En el estudio de factibilidad técnica del uso de escombros en la elaboración de bloques de concreto macizos y huecos no estructurales N° 6 se desarrolló a partir de dos diseños de mezcla. El primer diseño de mezcla se conformó por un 50% de agregado natural (Arena Ingecost) y 50% de escombros triturados; mientras que el segundo diseño, contenía solo un 25% de agregado natural y 75% de escombros triturados.

Con cada diseño de mezcla realizado, se elaboraron de forma manual dos tipos de bloques; huecos y macizos, los cuales se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión, absorción y densidad, con el objetivo de evaluar la calidad del producto final. Ver Figura 1.

Adicionalmente, se realizó un análisis de los costos de producción de los bloques elaborados, que comparados con los resultados técnicos obtenidos, permitió seleccionar la mejor alternativa.



Figura 1. Bloques elaborados con material reciclado

3. Resultados y Discusión

3.1 Agregados

La capacidad de absorción de los agregados gruesos reciclados osciló entre 5.39% y 7.75%, por lo que no cumplen con los valores recomendados, los cuales se encuentran entre 0 y 5% [4]. Esto puede afectar propiedades del concreto como resistencia a la compresión y flexión y principalmente propiedades de durabilidad tal como su resistencia al desgaste [5]. Por otro lado, el agregado natural de Cimaco presenta una de 3,26% (acorde a lo recomendado), que al combinarse con los reciclados no ayuda en gran medida a disminuir la absorción de los agregados reciclados.

Además se observó que los agregados finos producto de la trituración y utilizados para la elaboración de bloques, tienen un porcentaje de absorción muy alto (19.67%), siendo el valor máximo recomendado 4%; característica a la cual se le atribuye el aumento de la relación agua/cemento al momento de elaborar los bloques.

En cuanto al desgaste, la NTC 174 recomienda que los agregados utilizados para la elaboración de concretos y bloques presenten como máximo un desgaste del 50% a la abrasión garantizando con esto su uso en cualquier tipo de construcción. Los agregados reciclados cumplieron satisfactoriamente dicha condición, lo cual es indicio de la buena calidad de dichos materiales.

En cuanto a la sanidad al ataque de los sulfatos de magnesio la cual tiene un límite máximo de 18% según la NTC 174, se pudo verificar que el escombros es apto desde este punto de vista para la elaboración de concretos y bloques ya que el porcentaje de pérdida encontrado osciló entre 10.53% y 11.30%.

Los agregados finos y gruesos reciclados, arrojaron resultados satisfactorios al ser sometidos a la prueba de contenido de materia orgánica; por lo que se consideran aptos para utilizar en la elaboración de bloques y concretos.

3.2 Concretos de Baja Resistencia

La resistencia a la compresión es la principal propiedad del concreto pues influye directamente en las demás. Los resultados mostraron que los concretos reciclados alcanzaron y superaron, en su mayoría la resistencia de diseño de 24.5 MPa (3000 PSI) y se mostraron competitivos en relación a las resistencias logradas por el concreto convencional, incluso superando en algunas ocasiones los valores alcanzados por éste. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Resistencias a la Compresión de Todos los Diseños[6]

Edad (días)	Resistencia (MPa)				
	Convencional	CR1	CR2	CR3	CR4
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	23.48	25.85	29.52	26.34	24.19
14	25.06	29.56	31.49	26.81	26.55
28	27.62	30.66	32.16	30.37	29.13

Las resistencias obtenidas confirman que los concretos obtenidos son concretos normales y no de baja resistencia, permitiendo valorizar a los escombros proveniente de demolición de placas de pavimento y motivar a la vez la realización de estudios más profundos donde desde el comienzo se busque obtener concretos normales y porque no de alta resistencia. En la Tabla 2 se muestra una síntesis de las propiedades evaluadas de los concretos elaborados.

Tabla 2. Resumen de las Propiedades de los Concretos Elaborados. [6]

Concreto	Peso Unitario (gr/cm ³)	Absorción (%)	Densidad Nominal (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Flexión (MPa)	Asentamiento	
						Mm	Pulg.
Convencional	2.32	8.04	2554	27.62	4.46	112.50	3.17
CR1	2.30	10.49	2535	30.66	4.87	88.33	4.50
CR2	2.34	6.10	2613	32.16	4.54	100.00	3.53
CR3	2.27	5.54	2363	30.37	4.94	116.67	4.00
CR4	2.29	6.36	2460	29.13	4.45	80.00	3.00

Acorde a la literatura, los concretos obtenidos tienen altos porcentajes de absorción que podrían afectar la durabilidad de los mismos. [6] [7] [8].

En cuanto a los costos, en la Tabla 3 se muestra un resumen de los costos de producción de cada uno de los concretos elaborados según el contenido de escombros presente.

Tabla 3. Costos de Producción Concretos Elaborados [9]

Tipo de Concreto	Costo de Producción (Ton)
Convencional	US\$ 92
CR1	US\$ 87.7
CR2	US\$ 83.9
CR3	US\$ 80.5
CR4	US\$ 75.9

Finalmente se puede observar que el Concreto Reciclado (CR2) cuyo contenido de escombros es del 50% del agregado grueso se muestra cómo una buena alternativa de concreto desde el punto de vista técnico, pues presenta el mejor comportamiento en cuanto a resistencia a la compresión además de presentar una densidad mayor y una absorción menor que la del concreto convencional. Sin embargo, concretos con 100% escombros (CR4), se convierte en la mejor alternativa de diseño pues al igual que el CR2 se obtienen resistencias adecuadas y propiedades aceptables en comparación con el concreto convencional además de presentar los menores costos de elaboración y mayores beneficios ambientales, económicos y para la ciudad.

3.3 Bloques para Viviendas

Con los resultados de los ensayos se pudo demostrar que los bloques huecos elaborados con el diseño de mezcla 2 con dosificación 25-50-25 (Natural-Reciclado Fino-Reciclado Grueso-Reciclado) alcanzaron una mayor resistencia (42 kg/m²), mayor densidad y menor costo. (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Selección de la mejor alternativa para la fabricación de bloques.[10]

Ensayos	Diseño de Mezcla 1		Diseño de Mezcla 2	
	Huecos	Macizos	Huecos	Macizos
Resistencia (kg/cm ²)	36.69	30.43	43.56	39.50
% Absorción	27.24	27.39	28.25	29.52
Densidad (kg/m ³)	2207.87	1904.06	2094.08	1822.50
Costos de producción (Unid)	842.70	1581.12	805.06	1506.84

Es bueno aclarar que los bloques elaborados no alcanzaron la resistencia esperada por la NTC 4024, (debido probablemente al aumento de la relación agua cemento por su alta capacidad de absorción y/o por el proceso de elaboración manual) pero la resistencia alcanzada es aceptada por la Norma Icontec 247, que los clasifica como Tipo 3 y Tipo 4.

Los bloques huecos y macizos que alcanzaron mayor resistencia fueron aquellos que contenían en mayor porcentaje los agregados finos reciclados y gruesos reciclados. Además es importante recalcar que los bloques huecos tienen mayor consistencia y solidez que los bloques macizos.

También se hizo una comparación con los bloques encontrados en el mercado, observando que al igual que los elaborados con escombros, tienen buenas propiedades de resistencia y densidad, excepto con la propiedad de absorción, pues estos presentan mayor absorción que los bloques elaborados con escombros por lo que se puede concluir que los bloques elaborados con escombros producto de la demolición de placas de concreto, presentan mejores características que los que se encuentran en el mercado.

4. Conclusiones

Comparando los resultados obtenidos en este proyecto con las experiencias a nivel mundial se puede concluir que existen importantes coincidencias como es la factibilidad del uso de escombros como agregado grueso para la fabricación de concretos reciclados ofreciendo buenas resistencias a la compresión pero con porosidades más altas que el concreto normal, lo cual podría facilitar la penetración de agentes externos, que podrían corroer el refuerzo en el interior del concreto.

Adicionalmente es importante mencionar que a nivel mundial no se han realizado muchos estudios relacionados con el uso de escombros para la fabricación de bloques y morteros. Sobre este uso se tienen experiencias en Cali (Colombia) y Medellín (Colombia) en las cuales se obtuvieron resultados favorables y de comportamiento similar a los obtenidos en este proyecto.

Agradecimientos

A Holcim Colombia S.A. Sede Cartagena. Por facilitarnos sus laboratorios de control de calidad de concretos y suministrarnos los materiales para la elaboración de las mezclas.

A los estudiantes: Mario de Alba, Fernando de la Barrera y Ligia González, como auxiliares de investigación del proyecto.

Referencias Bibliográficas

- [1] Doria, Shirlena y Miranda, Paola. Lineamientos para la gestión y el manejo de los escombros generados en el distrito de Cartagena de Indias. Cartagena, 2004.
- [2] Alcaldía de Cartagena de Indias-UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 2007.
- [3] Salazar J. Alejandro. Síntesis de la Tecnología del Concreto. Cuarta Edición. Cali. 2004. p 132.

- [4] Sánchez de Guzmán, Diego. Tecnología del Concreto y Del Mortero. Quinta Edición. Bogotá, Bhandar Editores Ltda, 2001.
- [5] Angulo S.C, John V.M, Kanh H, Ulsen C. Characterisation and recyclability of construction and demolition waste in Brazil. Escola Politécnica, Universidade de Sao Paulo, Brazil, 2003.
- [6] VII Congreso Nacional Del Medio Ambiente. Gestión De Residuos De Construcción [en línea]. España, 2004. Disponible en: < <http://www.concretonline.com/pdf/conamaRCD14.pdf#search=%22conamaRCD14%22>> Fecha de consulta: 8 de Agosto de 2006.
- [7] Salazar J. Alejandro. Proyecto utilización de residuos sólidos industriales y escombros de construcción para la producción de elementos de mampostería. Desarrollo de una planta piloto rentable. 2004.
- [8] Bocanumenth Á., Javier. Reciclaje de Escombros en la Construcción. Medellín. 1996.
- [9] de Alba M., de la Barrera F., Aprovechamiento de los escombros Generados en las Actividades de demolición de placas de pavimento. Como agregado grueso en la elaboración de concretos de baja resistencia. 2007.
- [10] Gonzalez L. Ligia. Aprovechamiento de escombros de concretos generados por las actividades de demolición de placas de pavimento por el proyecto “Transcribe”, en la elaboración de bloques de concreto macizos y huecos no estructurales nº 6. 2007.

Biorremediación de lodos de recortes de perforación base aceite, contaminados con hidrocarburos mediante un consorcio bacteriano y la adición de ácidos húmicos como surfactantes

Julio Mérida Escobar, Francisco J. Rodríguez Valadez
jmerida@cideteq.mx .

RESUMEN

Uno de los efectos colaterales en la búsqueda de hidrocarburos es la acumulación de escombros que se remueven durante las operaciones de exploración y/o explotación de pozos petroleros, hasta los años ochenta poca era la atención brindada en la eliminación de los recortes y el exceso de los fluidos de perforación. Habitualmente estos materiales eran desechados por la borda en operaciones marinas o se sepultaban en localizaciones terrestres. Una de las alternativas para tratar estos residuos es la biorremediación, sin embargo cuando se habla de biorremediación además de considerar las rutas catabólicas y los procesos microbianos, debe tenerse en cuenta que la etapa limitante en la biorremediación de la mayoría de los compuestos derivados del petróleo se relaciona con su bio-disponibilidad, si un compuesto no se encuentra bio-disponible los microorganismos no podrá utilizarlo como sustrato. En el siguiente trabajo se utiliza el composteo, para tratar los lodos de recorte mediante un consorcio bacteriano y la adición de ácidos húmicos (AH) como surfactante natural, se estudia el efecto que tienen los AH sobre los hidrocarburos presentes en los lodos de recorte, en este trabajo se realizaron pruebas de biodegradación bajo diferentes condiciones obteniendo remociones de los HTP's de hasta un 66% en el sistema donde se adiciono ácidos húmicos.

Palabra clave: Biorremediación, Composta, Hidrocarburos, HPAs, Solubilidad.

Introducción.

En México existen una gran cantidad de sitios contaminados con hidrocarburos con diferentes niveles de impacto ambiental, resultado principalmente de la actividad petrolera, lo cual conlleva que este tipo de compuestos sean responsables del deterioro ambiental, El acelerado incremento en la población mundial ha dado como resultado la demanda de mayores cantidades de combustibles fósiles (hidrocarburos), aunque en su mayor parte se utilizan para generar energía, por otro lado un porcentaje es liberado al ambiente de manera accidental o intencionada ya sean por cuestiones de *extracción*, refinado, transporte y almacenamiento lo cual representa un riesgo potencial para los ecosistemas.

El principal problema que presentan los lodos de recortes de perforación y/o extracción base aceite es el alto contenido de contaminantes orgánicos (hidrocarburos) y la mala disposición de estos, considerando el riesgo asociado de los mismos. PEMEX en el 2003 reportó que hubo un incremento del 25.3% de estos residuos pasando de 380 mil toneladas en el 2002 a 480 toneladas en el 2003. Estos contaminantes representan un riesgo potencial a la salud humana y al medio ambiente. En el 2003 las emisiones y descargas totales por parte de PEMEX aumentaron un 18.9% en relación al 2002, con respecto a los lodos de recortes generados estos tuvieron un aumento pasando de 1.2 a 1.4 millones de toneladas, PEMEX exploración representa el 43.1% de residuos descargados al ambiente, el 88% del volumen total descargado por parte de Pemex Exploración Producción (PEP) se componen principalmente de tres productos; recortes de perforación, aceites gastados, y lodos aceitosos.

Metodología

Durante el desarrollo experimental se montaron cuatro sistemas (figura 1). En un primer sistema como un blanco se puso lodo de recorte base aceite al cual se le ajustó el pH a 7 y el porcentaje de humedad a 37% ; en un segundo Sistema se adiciono 2.2 kilogramos de composta (lodos de recorte base aceite, pasto de corte y ramas de maleza; relación 1:1:1) a este se bioestimulo adicionando 500 mililitros de una solución de nutrientes de Nitrógeno y Fosforo en una relación 100:10:1 en base al carbono orgánico total de la composta y se ajusto la humedad a 53%; en un tercer sistema se adiciono 2.2 kilogramos de composta (lodos de recorte base aceite, pasto de corte y ramas de maleza; relación 1:1:1) a este se le adiciono 500 mililitros de la solución de nutrientes de Nitrógeno-Fosforo, se bioaumento adicionando 500 mililitros de un inculo de biomasa previamente adaptado y se ajusto el porcentaje de humedad a un 51%; en un cuarto sistema se adiciono 2.2 kg de composta (lodos de recorte base aceite, pasto de corte y ramas de maleza; relación 1:1:1), se le adiciono 500 mililitros de la solución de nutrientes de Nitrógeno y Fosforo, se adiciono 500 mililitros de un inculo de biomasa y finalmente se adiciono 500 mililitros de una solución de ácidos húmicos previamente preparada en una concentración de 1000 miligramos de ácidos húmicos por litro de solución a este sistema no fue necesario ajustar más la humedad. Estos fueron cerrados y conectados a suministros de aire por la parte inferior de cada sistema, a la entrada de los sistemas él suministrado de aire fue pasado por tres trampas de $\text{Ba}(\text{OH})_2$. También se conectaron dos trampas de $\text{Ba}(\text{OH})_2$ a la salida de los sistemas estos para poder atrapar el CO_2 producido dentro de los sistemas.



Figura 1. Sistemas experimentales

Resultados.

Medición de CO_2 producido

La cuantificación de CO_2 acumulado se realizó a diario. Durante el desarrollo experimental se tomaron alícuotas de 10 mililitros de $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 0.125 molar de la primer trampa a la salida de cada sistema y se titularon con ácido clorhídrico (HCl) 0.5 Molar en presencia de fenolftaleína hasta el vire de color, con la finalidad de seguir la saturación de la solución. Durante el desarrollo experimental se observó un precipitado en los lavadores, una vez saturada la solución, se desconectaba el lavador y se recorría el segundo, posteriormente se colocó una nueva solución de $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Mediante la formula que se presenta en la ecuación 1, se realizaban los cálculos.

$$\text{mg de CO}_2 = (1.1 * (\text{V}_1 \text{ de HCl} - \text{V}_2 \text{ de HCl})) * (\text{F}) \quad (1)$$

Donde:

1.1= factor de corrección del suelo.

V₁ de HCL= volumen de ácido clorhídrico gastados al titular un blanco.

V₂ de HCl= volumen de ácido clorhídrico gastados al titular la muestra.

F = Factor de multiplicación de la alícuota tomada del volumen total.

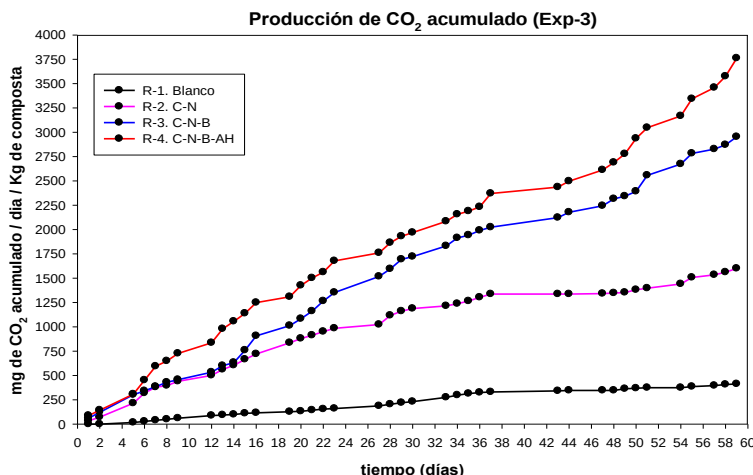


Figura 2. Producción de CO₂ acumulado. R-1 Blanco (lodo de recorte), R-2 Bioestimulación (adición de nutrientes), R-3 Bioaumentación (adición de un inóculo de biomasa) R-4 Adición de AH (ácidos húmicos como surfactante).

Medición de los hidrocarburos totales del petróleo (htp's)

El seguimiento de la degradación de los hidrocarburos totales del petróleo (HTP's) se realizó una vez a la semana. La determinación se realizó pesando 5 gramos de cada una de las muestras tomadas de cada sistema previamente secada, a 103 °C, estas se colocaron en un cartucho de papel filtro, los cartuchos eran colocado dentro del sifón de reflujo del equipo soxhlet, posteriormente se procedió al montaje el equipo completo (Figura 1) el cual consta del matraz balón previamente llevado a peso constante el cual se puso en un parrilla de calentamiento a 260 °C y en el cual se obtendrá el extracto, en el sifón de reflujo del solvente se puso el cartucho de papel filtro con la muestra, y el serpentín de refrigeración en el cual se hace pasar agua fría con la finalidad de condensar el solvente que se evapora por calentamiento, el sistema se pone por un periodo de 4.5 hrs, una vez pasadas las 4.5 hrs, los extractos son concentrados y el hexano recuperado, los matraces con el extracto concentrado son puestos en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente. Finalmente se tomaba el peso del matraz y se realizan los cálculos correspondientes mediante la siguiente fórmula para determinar los HTP's.

$$HTP's = \frac{PFM - PIM}{P.Mt} * (1000) \dots \dots \dots \frac{mg}{Kg} \quad \text{Donde:} \quad (2)$$

HTP's=

Hidrocarburos Totales del Petróleo. (mg/Kg)

PFM= peso final del matraz después de las 4.5 hrs. (gr)

PIM= peso inicial del matraz antes de las 4.5 hrs. (gr)

PMt= peso de la muestra (Kg)

1000= factor de conversión de gramos a miligramos.

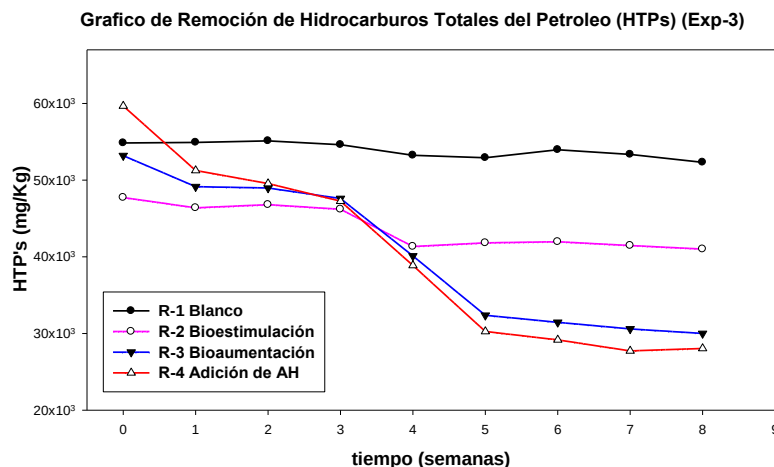


Figura 3. Remoción de Hidrocarburos Totales del Petróleo por cada reactor. R-1 Blanco (lodo de recorte), R-2 Bioestimulación (adición de nutrientes), R-3 Bioaumentación (adición de un inoculo de biomasa) R-4 Adición de AH (ácidos húmicos como surfactante).

Medición de carbono orgánico total (TOC)

La medición del carbono orgánico total se realizó una vez a la semana mediante el equipo Total Organic Carbon Analyzer (TOC-V_{csn}) marca SHYMADZU; con un modulo de SOLID SAMPLE MODULE SSM-5000A, (Figura 5) el modulo para muestras solidas consta de dos hornos uno a una temperatura de 900°C ± 5°C y el segundo a 200°C ± 5°C. En el primero se lleva a cabo por medio de la incineración de la materia orgánica la determinación del carbono total; el procedimiento para la determinación consta en introducir a este horno una capsula de porcelana con una cantidad de en miligramos de la muestra y por incineración se determina el carbono total la cual se representa en una señal en un monitor conectado al modulo de sólidos y nos da una concentración en mg/Kg. En el segundo horno que se encuentra a 200°C es introducida una segunda capsula al cual se adiciona 0.5 mililitros de acido sulfúrico 0.5 molar en este se mide el carbono inorgánico, el cual también se representa en una señal y nos da una concentración en mg/Kg. Finalmente mediante la diferencia en concentración de carbono total menos la concentración de carbono inorgánico, es como se obtiene la concentración de carbono orgánico total en mg/Kg.

$$TOC = TC - IC \quad (3)$$

Donde:

TOC= Carbono orgánico tota. (mg/Kg)

TC= Carbono total. (mg/Kg)

IC= Carbono inorgánico. (mg/Kg)

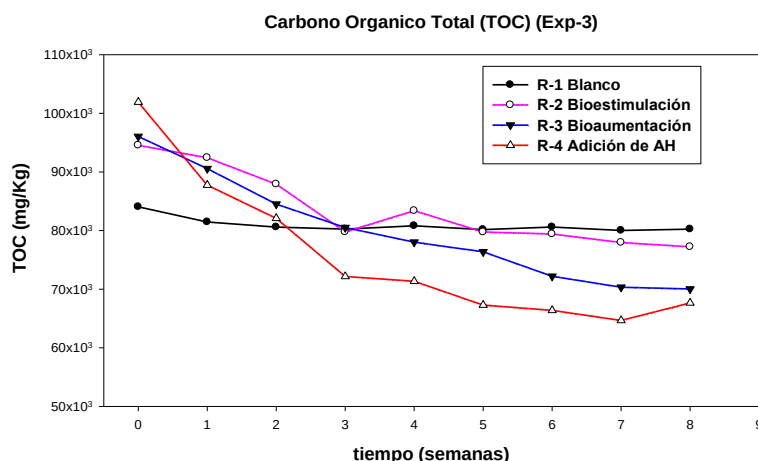


Figura 4. Remoción de Carbono Orgánico Total. R-1 Blanco (lodo de recorte), R-2 Bioestimulación (adición de nutrientes), R-3 Bioaumentación (adición de un inóculo de biomasa) R-4 Adición de AH (ácidos húmicos como surfactante).

Conclusiones.

La adición de ácidos húmicos (AH), comparativamente con los sistemas donde se bioestimulo, se bioaumentó, así como su blanco respectivamente. Los AH afecta de manera positiva la degradación de los hidrocarburos presentes en los lodos de recorte de perforación. Dando como resultado en las pruebas experimentales una mayor producción de dióxido de carbono (CO_2), lo que se relaciona con una mayor actividad biológica y este tiene una relación con la degradación de los hidrocarburos presentes, consecuentemente existe una disminución del carbono orgánico presente. Lo que nos lleva a concluir que los AH aumentan la solubilidad de los hidrocarburos presentes, y consecuentemente su degradación, obteniendo un 14% de remoción donde únicamente se bioestimulo aumentando a 40% donde se bioaumentó y a 54% de remoción donde se adicionan los AH.

Referencias bibliográficas

- 1.-Admon. S., M. Green, and Y. Avnimelech (2001) Biodegradation kinetic of hydrocarbon in soil during land treatment of oily sludge Bioremediation. Journal 5:193-209, Proyecto 2.7 (2006-2007) de la CIC-UMSNH.
- 2.-A.M Pourcher, P. Morand, F. Picard-Bonnaud, S. Billaudel, S. Monpoecho, M. Federighi, V. Ferre, G. Moguedet. (2005) Decrease of enteric micro-organisms from rural sewage sludge during their composting in straw mixture. Journal of Applied Microbiology 2005, 99, 528–539
- 3.-Carlos Mastandrea; Carlos Chichizola; Beatriz Ludueña; Héctor Sánchez; Horacio Álvarez; Andrea Gutierrez (2005). Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos riesgo para la salud y marcadores biológicos. Alkemy-Center Lab. Departamento de toxicología clínica.
- 4.-F.J. Stevenson. (1994) Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction Second Edition 1994. pp 34-42. Department of Agronomy University of Illinois]
- 5.-Henri Dinel, Todd Marche, Morris Schnitzer, Théophile Pare, Pascale Champagne. (2004) Co-composting of paper Mill Sludge and Hardwood Sawdust Under two Types of In-vessel Processes. Journal of environmental science and health. Part B—Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes Vol. B39, No. 1, pp. 139–151, 2004
- 6.-Jenny Neumann; Auxilia Mallia; Horaima Pérez; Alejandro Ramos. (2002) Diseño de un sistema de tratamiento biológico para la disposición final del lodo petrolizado de una refinería; XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Journal FEMISCA.) Cancún México.

7.-Ma. Maura Margarita Teutli-León, Alejandro C. Ruiz-Tegle, Karla Rodríguez-Zamora, Iván Gabino, Martha P. González-Araoz, M. Teresita Oropeza- Guzmán, Ignacio González Martínez. (2003) Remediación de suelos contaminados por hidrocarburos y lodos de recorte mediante electrolisis, compuestos oxidantes y zeolita natural. Facultad de Ingeniería y facultad de Ingeniería química. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

Biosecado de residuos verdes en invernadero para la producción de combustibles alternos

Oscar Gerardo Nieto, Laura Montiel Frausto, Francisco Colomer Mendoza, Enrique Durán Páramo,

*Fabián Robles Martínez.

*frobleism@ipn.mx

Resumen

El biosecado es un proceso biológico que tiene como objetivo la disminución de la humedad en los residuos. Durante el biosecado, la energía liberada por la actividad microbiana aumenta la temperatura de la masa de residuos, lo que favorece la evaporación del agua. En el presente trabajo se monitorearon durante 37 días cuatro pilas con un peso aproximado de 75 kg cada una preparadas con una mezcla de residuos orgánicos. Las pilas se colocaron al interior de un invernadero para acelerar la deshidratación de los materiales. Durante los experimentos se registraron los datos de las pilas y de las condiciones ambientales al interior y fuera del invernadero (temperatura, humedad relativa y radiación solar), se cuantificó la pérdida de humedad, masa y volumen de los residuos. Al inicio y al final del proceso y se determinó el contenido de nitrógeno, materia orgánica y calor de combustión. La temperatura en las pilas aumentó desde el primer día alcanzando la fase termofílica desde segundo día y mantenerse en esta fase por un periodo de tres días, después la temperatura disminuyó y a partir del día 7 la temperatura fue similar a la temperatura ambiente. Después de 37 días, se obtuvo una reducción de masa de alrededor de 80%, volumen disminuyó alrededor del 50% y la humedad bajo 90% con respecto a la humedad inicial (67.21% peso húmedo) en todas las pilas; el contenido de materia orgánica y nitrógeno no varió significativamente. El calor de combustión de los residuos en todas las pila aumentó en un 300% aproximadamente siendo el valor promedio de los residuos secos 16500 KW/Kg lo que es comparable con el valor calórico del carbón vegetal, por lo que estos se pueden utilizar como combustible alternativo en calderas u hornos.

566

Palabras Clave: *degradación aeróbica, recuperación de energía, calor de combustión y fase termofílica*

1. Introducción

El crecimiento poblacional aunado a los hábitos de consumo de la sociedad actual son las principales causas del aumento de generación de residuos. Uno de los principales problemas a enfrentarse en el manejo de RSU es el espacio necesario para su disposición final (por su gran volumen), para esto se han implementado diversos procedimientos o tratamientos para que el volumen ocupado sea menor, desde procesos mecánicos como: Compactación, Trituración, Etc., pasando por procesos biológicos como compostaje, llegando a la combinación de los procesos mecánico-biológicos.

Se ha reportado [1] que el contenido del agua en RSU está por encima del 74.5%. Es decir, casi $\frac{3}{4}$ partes del volumen ocupado en un relleno sanitario es agua, esto es desfavorable, ya que se incrementa la cantidad de lixiviados generados en los rellenos sanitarios.

Como solución a este problema se han propuesto diversos tratamientos para la disminución de humedad en la matriz de residuos para que estos ocupen un volumen menor.

El proceso de biosecado, remueve la humedad de los residuos por medio del calor generado por la actividad microbiana y por el paso de aire de forma forzada a través de la matriz de residuos [2], [3]. Dentro de la pila de biosecado, la energía liberada durante la descomposición de la materia orgánica fácilmente degradable es la causante del aumento de temperatura que provoca que el agua

se evapora en la fase gaseosa, es decir la energía liberada durante la fermentación de la materia orgánica fácilmente degradable es combinada con aireación excesiva para secar los residuos [3].

El objetivo del biosecado es la explotación de las reacciones exotérmicas microbiológicas para la evaporación de la humedad libre en los residuos, con menor conversión de carbono orgánico. La influencia en el biosecado de parámetros como la temperatura, el oxígeno, flujo de aire y la humedad de la biomasa durante el proceso biológico aerobio ya han sido reportados en la bibliografía [4].

Por otro lado la recuperación de la energía de los residuos contribuye a la preservación de los recursos naturales, disminuye la emisión de metano y dióxido de carbono y otras ventajas ambientales. La reducción de gases emitidos no solo mejora el estado natural de los ecosistemas, también contribuye al incremento de la calidad de vida del ser humano. El uso de biomasa para la producción de energía hoy en día es considerado de gran relevancia [5] sobre todo en el caso de los residuos [6].

El biosecado es atractivo para producir combustible alternativo a la salida del proceso, porque remueve el exceso de humedad lo que facilita el proceso mecánico y mejora su potencial para su recuperación térmica [7], lo que permite la producción de combustibles con alto contenido calórico (16,000 – 17,500 kJ/kg), comparable al contenido calórico del carbón vegetal [8].

2. Metodología

2.1. Preparación de pilas

Se mezclaron cáscaras de naranja, frutas y verduras en mal estado y madera molida (molsh), posteriormente, con la mezcla de residuos se conformaron cuatro pilas (ver Tabla 1), las cuales se colocaron en tarimas previamente acondicionadas para evitar la pérdida de material fino y favorecer el libre paso de aire por la parte inferior de las pilas. Las pilas se sometieron a diferentes condiciones (ver Tabla 1), con el fin de evaluar y comparar el proceso de biosecado en cada una de estas condiciones.

Tabla 1. Condiciones iniciales de cada pila

No. Pila	Composición	Masa (Kg)	Peso Volumétrico (Kg/m ³)	Invernadero
1	Cascara de naranjas, frutas, verduras y Molsh.	74.3	362.61	si
2	Cascara de naranjas, frutas, verduras y Molsh.	71.25	371.5	si
3	Cascara de naranjas, frutas, verduras y Molsh.	66.72	356.26	si
T	Cascara de naranjas, frutas, verduras y Molsh.	72.5	336.6	no

2.2. Medición y análisis

-Registro de temperatura de bulbo seco (ambiente) y humedad relativa del aire. Se registraron los datos de temperatura de bulbo seco (temperatura ambiente) y humedad relativa del aire dentro y fuera del invernadero, con el termómetro mod. HI 9065 Thermo Hygrometer (HANNA instruments, Italia) a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 horas.

-Registro de radiación solar. Se registraron los datos de radiación solar dentro y fuera del invernadero, con un medidor de radiación solar mod. SOLARC (MacSolar, Alemania) a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 horas.

-Registro de la temperatura de las pilas. La medición de temperatura se realizó en el centro y superficie de cada pila introduciendo en cada lugar un termómetro bimetalico a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 horas.

- Pérdida de masa.* Se peso diariamente una muestra de los residuos para evaluar la pérdida de peso.
- Volumen y peso volumétrico.* La medición del volumen inicial y final en cada pila de residuos se realizó con ayuda de un recipiente de plástico de 50 Litros. Esta determinación se realizó al mismo tiempo, que se cuantificó el peso volumétrico de cada pila, en base a la norma NMX-AA-019-1985.
- Determinación de la humedad y materia orgánica de los residuos.* En el laboratorio se hicieron los análisis de humedad y materia orgánica cada cuatro días por el método gravimétrico y cenizas respectivamente.
- Determinación de nitrógeno total.* La determinación de Nitrógeno total se realizó cada 6 días, por el método de Kjeldahl.
- Determinación del calor de combustión.* La determinación se cuantificó con ayuda de una bomba calorimétrica.

3. Resultados y análisis

El proceso de biosecado tuvo una duración de 37 días. La temperatura promedio del ambiente dentro del invernadero fue superior a la temperatura fuera de este en aproximadamente 16 °C entre las 14:00 y 16:00, sin embargo se llegó a una diferencia entre ambas temperaturas de 25.8 °C el día 34 del experimento a las 16:00 horas.

La temperatura de las todas las pilas se comportó de forma muy parecida, primero se presentó un incremento de temperatura entre los días 1 y 3 en el cual la temperatura superó los 50 °C en todas las pilas, siendo la pila 1 donde se alcanzó la temperatura más elevada (53.5°C). En el día 4 se observó una disminución de 20 a 6 °C en la temperatura de las pilas, debido a que en ese día se rehumedecieron y se voltearon las pilas, con el objetivo de favorecer la actividad microbiana y por lo tanto intensificar la fase termofílica.

La humedad relativa en el invernadero fue ligeramente mayor que la humedad relativa atmosférica, suponiendo este hecho a la menor circulación del aire dentro del invernadero, por lo que el aire que permanecía dentro del invernadero contenía más humedad, por el agua que se evaporaba de los residuos.

La radiación solar incidió en los residuos en un periodo de 10 horas aproximadamente (de las 8:00 a las 18:00), siendo entre las 12:00 y 14:00 horas donde la radiación fue más intensa alcanzando valores en los días más soleados de hasta 1150 W/m² fuera del invernadero y de 600 W/m² dentro de este.

La temperatura del medio ambiente y la radiación solar a las que estuvieron expuestas las pilas de biosecado, no influyeron de forma significativa en el proceso de biosecado de los residuos. El incremento de temperatura, depende principalmente de las reacciones exotérmicas que se llevan a cabo por los microorganismos que degradan la materia orgánica.

Como se observa en la **Figura 1** las cuatro pilas iniciaron el proceso con un contenido de humedad de 67.21%. En el día tres se rehumedecieron las pilas para favorecer la actividad microbiana. Después de la rehumidificación, la humedad disminuyó gradualmente terminando el proceso con un contenido de humedad de aproximadamente el 6%, es decir la eficiencia de remoción del contenido de humedad para las pilas pT, p1, p2 y p3 fue de 91.02, 91.83, 90.63 y 92.11% respectivamente.

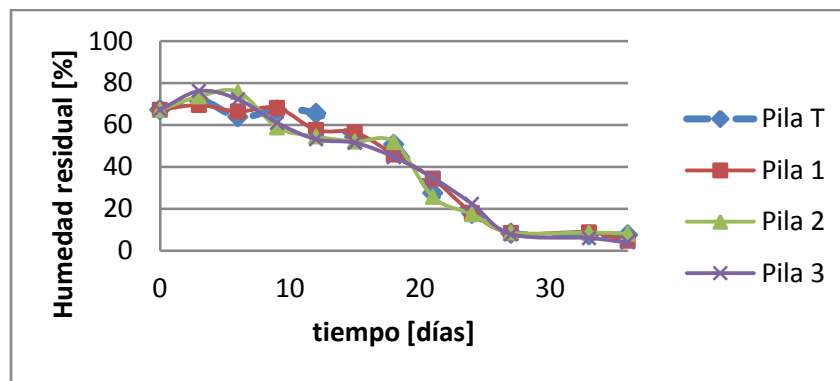


Figura 1. Disminución de humedad a lo largo del proceso de biosecado.

A partir del día 27 del experimento (**Figura 1**), el decremento de humedad en todas las pilas dejó de ser significativo, ya que desde ese día (día 27) hasta el fin del proceso solo se eliminó 2.5% más de humedad aproximadamente.

La materia orgánica en las muestras disminuyó menos del 5%, mientras que el contenido de Nitrógeno total disminuyó entre 1 y 0.5%; esta disminución se atribuye a la degradación parcial de los residuos y a la volatilización de compuestos orgánicos. Estas disminuciones se esperaban, pues en este proceso el objetivo no es la degradación de los residuos, sino la disminución de masa y volumen de los residuos por la pérdida de humedad lo que provoca la inhibición de la actividad microbiana y por ende la estabilización de los mismos.

En este trabajo se evaluó el contenido de energía a través del calor de combustión de los residuos tratados con el proceso de biosecado. En la **Tabla 2** se muestra el calor de combustión de la mezcla de residuos que componían las pilas, así como de algunas de las diferentes fracciones de las que estaban compuestas estas (cáscara de naranja y molsh, ya que la fruta y las verduras no se pudieron separar al final del experimento), por lo que se puede observar que la mezcla de residuos con la que estaban compuestas las pilas incrementó su calor de combustión entre un 286 a un 301%, tomando como 100% el calor de combustión inicial.

En el caso de la cascara de naranja el incremento del calor de combustión fue menor (de 244 a 263 %), mientras que en el molsh el valor de calor de combustión vario muy poco debido a que el contenido de humedad al inicio y final del experimento vario muy poco.

Tabla 2. Calor de combustión inicial y final

Pila	Fracción	Calor de combustión [kJ/kg]		Incremento de calor de combustión [%]
		Inicial	Final	
Pila T	Mezcla	5681.43	16300.66	286.91
	Molsh	20310.34	19741.00	97.20
	Naranja	6530.34	17122.82	262.20
Pila 1	Mezcla	5681.43	16252.35	286.06
	Molsh	20310.34	21547.66	106.09
	Naranja	6530.34	16310.79	249.77
Pila 2	Mezcla	5681.43	16288.18	286.69
	Molsh	20310.34	19946.28	98.21
	Naranja	6530.34	15971.20	244.57
Pila 3	Mezcla	5681.43	17139.34	301.67
	Molsh	20310.34	21442.19	105.57
	Naranja	6530.34	17212.95	263.58

En la tabla anterior se puede ver que la mezcla de los residuos alcanzó y superó los 16,000 kJ/kg mencionados en la introducción, por lo que el producto del proceso de biosecado podría considerarse un combustible con contenido calórico aceptable.

4. Conclusiones

El biosecado de residuos con elevado contenido de humedad permite reducir significativamente la masa y el volumen, debido a la evaporación del agua y en menor grado a la degradación parcial de la materia orgánica.

El invernadero no influyó en el proceso de forma significativa ya que la pérdida de humedad, volumen y masa en la pila T (ubicada afuera del invernadero) no varió de forma significativa con respecto a las pilas que se encontraban dentro del mismo.

Al final del proceso, se obtuvo un residuo biosecado de disposición más segura para el ambiente; la estabilización de los residuos se debió a la disminución de la humedad.

El poder calorífico con el que salen los residuos al final del proceso de biosecado es adecuado para tratamientos térmicos a puede ser utilizado como combustible alterno.

Referencias Bibliográficas

- [1] He, P. J., Shao, L. M., Qu, X., Li, G. J., Lee, D. J., “Effects of feed solutions on refuse hydrolysis and landfill leachate characteristics”. *Chemosphere*. Vol. 59(6). 2005. pp. 837–844.
- [2] Dufour, P., ” Control engineering in drying technology: review and trends”. *Dry Technol.* Vol. 24. 2006. pp. 889–904.
- [3] Velis, P.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J.T., “Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering”. *Bioresour Technol.* 2009.
- [4] Finstein, M.S., Hogan, J.A., “Integration of composting process microbiology, facility structure and decision-making”. *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. The Ohio State University*. 1993. pp. 1–23.
- [5] Hall, D.O., Scrase, J.I., “Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future?”. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 15 (4/5). 1998. pp. 357–367.
- [6] Leáo, A.L., Tan, H., “Potential of municipal solid waste (MSW) as a source of energy in Sao Paulo: its impact on CO2 balance”. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 14 (1). 1998. pp. 83–89.
- [7] Rada, E.C., Franzinelli, A., Taiss, M., Ragazzi, M., Panaitescu, V., Apostol, T., “Lower heating value dynamics during municipal solid waste bio-drying”. *Environmental Technology*. Vol. 28. 2007. pp. 463–469.
- [8] Wiemer, K., Kern, M., “Mechanical-Biological Treatment of Residual Waste Based on the Dry Stabilate Method”. *Abfall- Wirtschaft, M.I.C. Baeza-Verlag publisher, Witzenhausen, Germany*. 1996.

Caracterización y evaluación de ácidos húmicos como biosurfactante, con uso potencial en tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos

Víctor Ángel Ramírez Coutiño, *Francisco Javier Rodríguez Valadez, Luis Torres Bustillos

*frodriguez@cideteq.mx

Resumen

Los ácidos húmicos son macromoléculas orgánicas presentes en suelos, generadas por la descomposición de plantas y animales con una amplia gama de pesos moleculares. Su estructura molecular es heterogénea, sin embargo los grupos funcionales que se encuentran en mayoría son los COOH y OH unidos a estructuras aromáticas y estas a su vez a largas ramificaciones alifáticas. En este trabajo se caracterizaron ácidos húmicos de diferentes orígenes, mediante determinación de grupos COOH, OH, relaciones espectrométricas E4/E6, FT-IR, cambios en la tensión superficial del agua con aumentos en la concentración de ácidos húmicos, diferentes condiciones de pH y adición de cationes, con el objetivo de correlacionar los resultados y evaluar cuál de estas posiblemente influyen mayoritariamente en las mejores características surfactantes para uso potencial en lavados de suelos contaminados con hidrocarburos (naftaleno, antraceno y pireno). Los resultados obtenidos nos sugieren que posiblemente las características que repercuten más en los ácidos húmicos son el tamaño molecular y el contenido de grupos COOH, pudiendo obtener menores tensiones superficiales del agua con aumento en la concentración de ácidos de menor tamaño molecular y mayor contenido de grupos COOH. Los mayores cambios en las tensiones superficiales a diferente pH y adición de cationes se presentaron también en los ácidos con estas características. Los lavados de suelo mostraron la viabilidad de utilizar ácidos húmicos como biosurfactantes para remover hidrocarburos, obteniendo diferentes porcentajes de remoción dependiendo del contaminante, del ácido húmico empleado y de su concentración.

Palabras claves: *tensión superficial, lavado de suelo, macromoléculas orgánicas*

1. Introducción

Entre las técnicas de remediación se encuentra el lavado de suelos, en las que se emplean soluciones de surfactantes sintéticos para la remoción del contaminante [1]. Sin embargo el uso de éstos puede ser limitado debido a su costo y toxicidad biológica. Los ácidos húmicos (AH) son sustancias las cuales posiblemente pueden utilizarse como biosurfactantes debido a su carácter anfifílico [2],[3]. Los AH al ser generados por la degradación microbiana de restos de plantas y animales [4], se encaminan a ser una mejor opción por ser ambientalmente amigables, de ahí la importancia de evaluar sus características surfactantes.

2. Metodología

Tres diferentes ácidos húmicos fueron empleados en este trabajo: LPM) Composta producida de lodo residual-pasto de corte-residuos de maleza; LPT) Composta empleando lodo residual-pasto de recorte-piedra tezontle y LC) Un comercial producto consistiendo en humus de lombricomposta.

2.1 Extracción de ácidos húmicos

Los ácidos húmicos fueron extraídos de 10 g de muestra con 100 mL de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0.1 M en agitación por 24 h. Los extractos fueron centrifugados durante 20 min a 4000 g, el sobrenadante fue cuidadosamente removido y filtrado a 0.45 μm con membrana de celulosa. La solución fue acidificada con 5 M HCl a pH 2 manteniéndolo por 24 h a 4 °C; posteriormente fue centrifugado por 20 min a 4000 g y separamos el precipitado conteniendo la fracción AH, lavando 2 veces con 0.1 M HCl y agua desionizada. Los AH fueron purificados con 0.06 M HCl por 12 h, centrifugando y lavando con agua desionizada. El AH obtenido fue secado a temperatura ambiente para usar en los posteriores análisis.

2.2 Análisis UV-Vis (E4/E6)

Las muestras de AH (3 mg) fueron disueltas en 10 mL de 0.05 M NaHCO_3 . Los espectros UV-Vis fueron medidos en un rango de 200-800 nm con un espectrofotometro Hach D/R 100. Las relaciones E4/E6 fueron calculados como la relación de absorbancia entre 465 y 665 nm [5].

2.3 Cuantificación de grupos funcionales

La acidez total y grupos carboxilicos de los AH fueron medidos por titulación con hidróxido de bario y acetato de calcio respectivamente, de acuerdo al método convenciona descrito por Schnitzer (1977). El contenido de grupos OH fue calculado por la diferencia entre la acidez total y grupos carboxilicos. El contenido acido-base de los HA fue reportado como un promedio de tres titulaciones.

2.4. Tensión superficial para soluciones de AH

Soluciones conteniendo diferentes concentraciones de los tres AH fueron preparados con el fin de determinar el comportamiento de la tension superficial en solución. Las soluciones fueron preparados con HA seco y 0.1 M NaOH en concentraciones entre 10 and 6000 mg/L, ajustando el pH a 11.8 con 0.1 M HCl y filtrado a 0.45 μm . Las soluciones fueron permitidas reposar 12 h antes de su medición. Todas las tensiones superficiales (ST) fueron desarrollados por duplicado y la temperatura fue mantenida a 25 ± 0.2 . En un segundo paso, las soluciones conteniendo 1,000 mg/l de HA disuelto en 0.1 M NaOH fueron ajustados a diferentes pH con 0.1 M HCl en el rango de 2-7 unidades. En el tercer paso, las soluciones de diferentes AH a 1,000 mg/L fueron preparadas como en el segundo paso, ajustando el pH a 6 con 0.1 M HCl. Los cationes Ca^{++} o Fe^{+++} fueron adicionados con en concentraciones entre 1×10^{-5} and 1×10^{-2} M.

Todas las soluciones fueron caracterizadas usando la metodología del anillo de Du-Noy con un tensiómetro en laboratorio (Cole Palmer, USA). El anillo de platino fue lavado después de cada medición y limpiado con acetona (J.T.Baker, Mexico) y secado con llama con el fin de quitar cualquier particular orgánica la cual produciría errores en los resultados.

2.5 Lavados de suelo con AH

Para los lavados, se contaminaron 10 g de suelo con naftaleno, antraceno y pireno disueltos en acetonitrilo de tal forma que la concentración final en suelo fuera de 200 mg/kg de suelo. Después de 24 hr de contacto, se realiza el lavado con soluciones de ácidos húmicos a 150, 2000, 5000, y 6000 mg/l, a diferentes medios de pH preparadas como en los experimentes de las TS, cabe mencionar que se realizo un lavado con agua destilada la cual fue tomada como control. Posteriormente se lleva a centrifugación, el residuo solido obtenido se lleva a secado en horno a 40 °C por 48 hr. Se procede a la extracción del contaminante por el método soxhlet durante 4 hr, al finalizar se solubiliza el contaminante con acetato de etilo para cuantificación en equipo HPLC.

3. Resultados

En la Tabla 1. Se puede observar que existe una mayor acidez total en el AH extraído de la composta LPM y que la elevada acidez total es atribuida al alto contenido de grupos OH fenólicos. Por otro lado este mismo AH tiene el menor contenido de grupos carboxílicos. Las relaciones E4/E6 muestran que el mayor contenido de grupos aromáticos esta presente en LC en comparación con la gran cantidad de grupos alifáticos presentes en LPM y LPT. Las diferencias entre los AH son debidas a los diferentes orígenes de cada uno de ellos.

Tabla 1. Cuantificación de grupos funcionales de ácidos húmicos.

Origen del ácido húmico	Acidez total COOH-OH (meq/g)	COOH (meq/g).	OH (meq/g)	E4/E6
LPM	13.11	1.49	11.52	7
LPT	10.11	2.12	7.99	7.6
LC	12.30	2.96	9.34	5

La Figura 1, se muestra la disminución de TS con aumentos en la concentración del AH, fenómeno característico de un surfactante. La concentración micelar crítica (CMC) se encuentra en 2000 mg/l con una TS de 51 Dinasc/cm, 3000 mg/l con TS 53 Dinasc/cm y 5000 mg/l con TS de 65 Dinasc/cm para LPM, LPT y LC respectivamente. Por lo que se puede ver la más baja CMC y TS se genero en LPM, lo cual indica que se necesita menos cantidad de ácido húmico para lograr disminuciones significativas en la tensión superficial del agua lo que lo lleva a ser el producto más económico si se aplicara en la práctica.

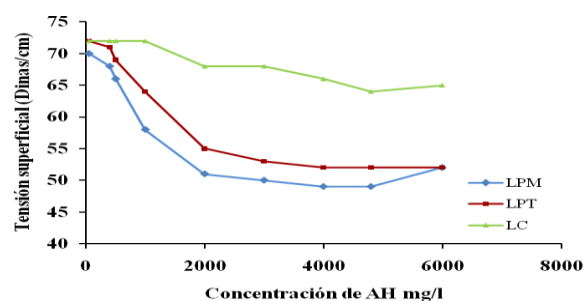


Figura 1. Disminución de la tensión superficial del agua con aumentos en las concentraciones de los ácidos húmicos

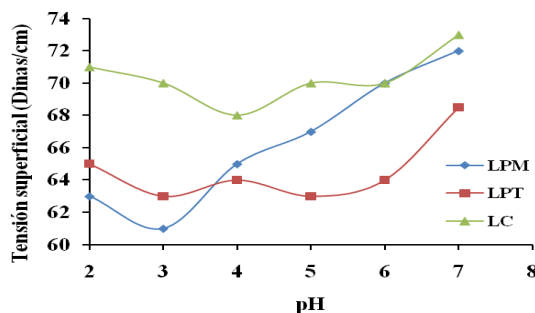


Figura 2. Efecto del pH sobre la tensión superficial del agua con a una concentración fija de ácidos húmicos (1000mg/l)

Se puede notar en la Figura 2, similares tendencias en los tres AH decreciendo la TS con decrementos en el pH, obteniendo la menor TS de 61 Dinasc/cm en LPM a pH 3. Los decrementos de la TS en los AH es debido a la neutralización de los grupos ácidos principalmente carboxilos los cuales se protonan paulatinamente con la disminución del pH, siendo mas evidente en LPM puesto que tiene menor contenido de grupos carboxilos provocando la mayor disminución de TS.

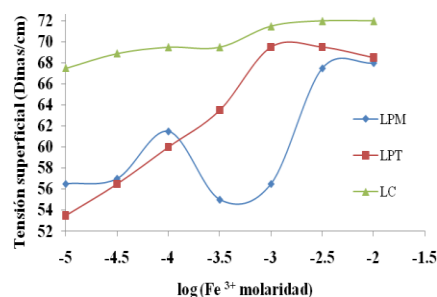
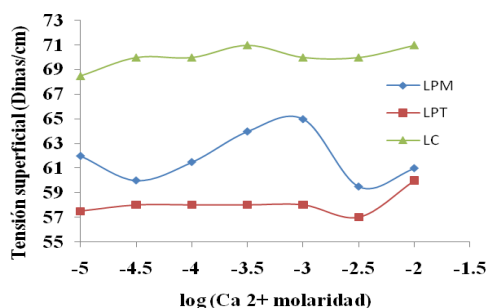
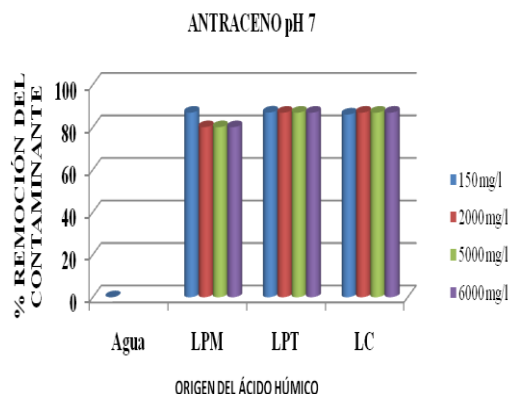
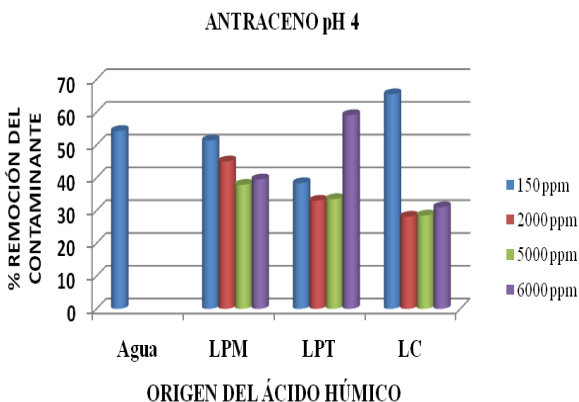
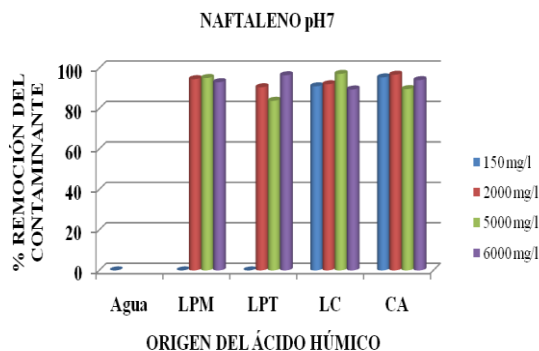
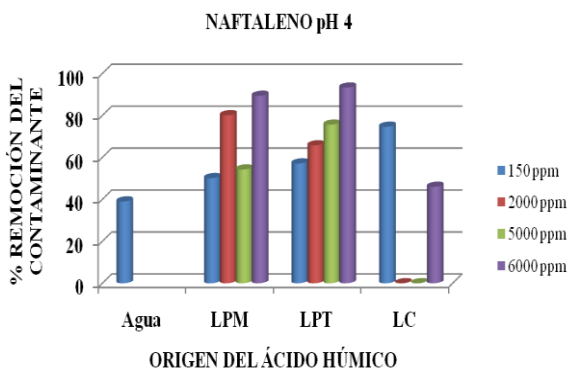


Figura 3. Variación de la tensión superficial del agua mediante incorporación de iones Ca^{2+} y Fe^{3+} a una concentración fija de ácidos húmicos (100mg/l a pH 6)

En la Figura 3. Es interesante notar como con la simple incorporación de los iones la tensión superficial disminuye en todos los AH, siendo mas evidente en Fe^{3+} en la mínima concentración. Posteriormente con el aumento en la concentración de los iones, existen aumentos en la TS siendo mas estable LC al aumentar los iones, no así LPM el cual presente aumentos y disminuciones en la TS pudiéndose atribuir estos cambios a la interacción intra-intermolecular de los grupos carboxilos con los iones originando una modificación en la estructura del AH.



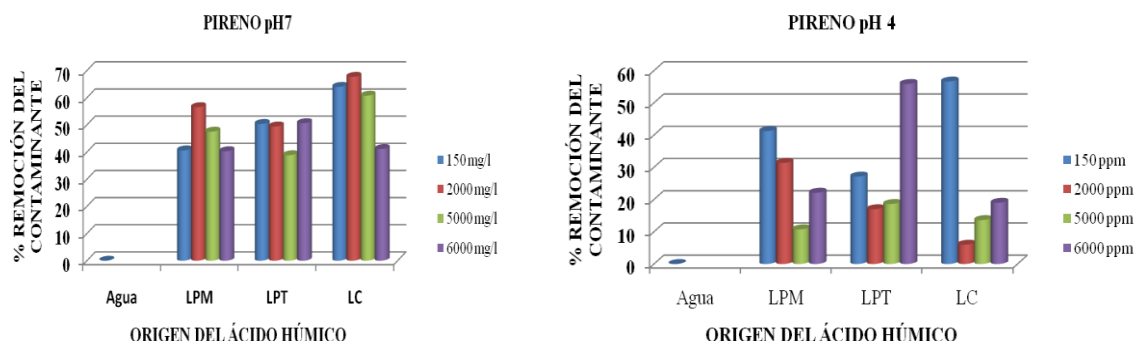


Figura 4. Remoción de Naftaleno, antraceno y pireno en suelo mediante lavado con ácidos húmicos

La Figura 4. Muestra los lavados de suelos contaminados, donde se puede observar que no existe una correlación entre la concentración de las soluciones de AH con los % de remoción de contaminantes, ya que se nota en algunos casos que a menor concentración mayor remoción. Sin embargo se puede notar como todos los AH tienen prometedores porcentajes de remoción, además, se ve que existe una mayor remoción de los contaminantes a pH 7 que a pH 4, esto debido a que los grupos ácidos de los AH a pH 7 se encuentran cargados negativamente pudiendo presentar fuerzas electrostáticas que provocan el alargamiento de la estructura de tal forma que los grupos hidrofóbicos quedan mayormente expuestos y facilitan la interacción con los contaminantes eficientando su remoción.

4. Conclusiones

El ácido que tiene mejores características surfactantes es LPM, por disminuir más la TS a menor CMC lo cual hace más económico su uso. El medio de pH influye grandemente en la disminución de las TS de los AH siendo más evidentes a pH bajos. La incorporación de iones puede ayudar disminuir la TS a ciertas concentraciones, pudiendo eficientar el carácter surfactante del AH. Las concentraciones de las soluciones de lavado de AH no son proporcionales a los porcentajes de remoción sin embargo se observaron buenas remociones a bajas concentraciones. A pesar de que a pH bajos se obtienen menores TS, los mejores porcentajes de remoción se obtuvieron a pH 7, lo cual indica que influye mas el reordenamiento estructural del AH a ese medio de pH, facilitando el contacto de grupos hidrofóbicos con los contaminantes.

Referencias Bibliográficas

- [1] Conte P., A. Agretto, R. Spaccini and A. Piccolo. *Soil remediation: humic acids as natural surfactants in the washings of highly contaminated soils*. Environmental Pollution. 2005. 135:515-522.
- [2] Berselli S., G. Milone, P. Canepa, D. Di Giola, F. Fava. *Effects of cyclodextrins, humic substances, and rhamnolipids on the washing of a historically contaminated soil and the aerobic remediation of the resulted effluents*. Biotechnology and Bioengineering. 2004. 88(1): 111-120.
- [3] Maris, K., Oscar, P. *Humic Substances as Surfactants*. Environ. Chem. Springer. 2009.
- [4] Stevenson, F.J. *Humus Chemistry: Genesis Composition Reactions*. Wiley Interscience New York. 1994. pp. 1-54, 288-300.
- [5] Schnitzer, M. *Recent findings on the characterization of humic substances in the soil organic matter studies symposium*. International Atomic Energy, Vienna 1977. pp. 117-131

Comparación de dos técnicas para la detección y cuantificación de las poblaciones celulolíticas y hemicelulolíticas en residuos sólidos urbanos

Christian Omar Martínez-Cámara, Juan Manuel Sánchez-Yáñez, Liliana Márquez-Benavides, Erick Alejandro Mendoza-Chávez
master.comc@gmail.com,

Resumen

La fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) está constituida por: celulosa 40-50%, hemicelulosas 10-12%, lignina 10-15%, proteínas 5-11%, grasas, aceites y ceras 4-7% además de azúcares simples, aminoácidos y ácidos orgánicos 3-5%. Al ser celulosa y hemicelulosas los principales componentes es importante el estudio de las poblaciones bacterianas involucradas en su consumo. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de diferentes regímenes de humidificación vía recirculación de lixiviados (LXS) sobre la densidad bacteriana de poblaciones celulolíticas (PC) y hemicelulolíticas (PHe) en la descomposición bacteriana anaeróbica (DBA) de los RSU. Se utilizaron reactores escala laboratorio (LBX) que simulaban un relleno sanitario (RESA), la cuantificación de las PC y PHe se hicieron por método del número más probable (NMP) con medios de cultivo estándar y LXS enriquecidos. Las variables respuesta para la PC fueron: la turbidez y liberación de azúcares reductores, para la PHe: la turbidez y cambio de pH. Los resultados mostraron las mayores lecturas de PC durante la fase hidrolítica y que las PHe crecen constantemente independientes del régimen de humificación conforme el tiempo. Los máximos acumulados para la PC fue 44.22 NMP/mL y para PHe de 50.9 NMP/mL. El decremento de ambas poblaciones fue consecuencia del consumo de celulosa y hemicelulosas usadas como fuente de carbono y energía; que causó la liberación de ácidos orgánicos (AO) con la aparición de azúcares reductores, aumento en la turbidez y la acidificación del medio de cultivo. Los métodos cuantificables permiten una enumeración precisa de las poblaciones en estudio.

Palabras Clave: bacterias anaeróbicas, consumo de sustratos, densidad de poblaciones, lixiviados

1. Introducción

La DBA en un RESA es de interés energético y ecológico por el biogás y lixiviados producidos, lo que se ha estudiado en LBX que simulan DBA de los RSU. En la FO la celulosa y hemicelulosas representan el 60% de la materia orgánica mineralizable de los RSU [1].

La DBA de los RSU generalmente se define en función de los productos que la microbiota genera [2, 3, 4, 5]. Sin embargo poco se sabe del efecto de los lixiviados producidos por la DBA de FO de RSU a diversos porcentajes de humedad sobre la DBA [6]. El objetivo de este trabajo fue analizar la densidad de las bacterias celulolíticas y hemicelulolíticas bajo diferentes niveles de humedad vía recirculación de lixiviados en LBX así como evaluar la liberación de azúcares reductores (3,5-DNS) como variable respuesta para la cuantificación de poblaciones celulolíticas y el uso del pH para las hemicelulolíticas.

2. Metodología

2.1. Diseño experimental

Para determinar el efecto de los niveles de humidificación de los BLAB fueron usados 40, 60 y 80% de humedad (v/v de LBX). El ensayo se inició el día del desmonte de los LBX como se muestra en la tabla 1. La densidad bacteriana fue determinada por número más probable (NMP) con 3 viales por dilución; las repeticiones y cantidad de inóculo se presentan en la tabla 2, como medios de cultivo se utilizaron lixiviados enriquecidos y medios de cultivo estándar, la temperatura de incubación fue de 41°C, el análisis se llevó a cabo en viales de 2 ml sellados con aceite vegetal y se utilizó resazurin como indicador de la presencia de oxígeno. Se determinó pH en la matriz de los BLAB el día del desmonte, todos los ensayos de detección de NMP se revisaron a los 28 días.

Tabla 1. Arreglo de identificación de muestras y días de desmonte para determinación de poblaciones celulolíticas y hemicelulolíticas de RSU en LBX

Identificación de muestra	Muestreo-desmonte (día)	No. de LBX
T ₀ cobertura *	0	28
T ₀	3 (Sin desmonte)	28
T ₁	15	24
T ₂	45	20
T ₃	75	16
T ₄	105	12
T ₅	135	8
T ₆	165	4
T ₇	195	0

*Suelo de cobertura del RESA

Tabla 2. Número de repeticiones y cantidad de inóculo por nivel de humidificación para la determinación de poblaciones celulolíticas y hemicelulolíticas en RSU en LBX

Concentración del medio de cultivo (0.9 mL)/cantidad de inóculo			
Humedad (%)	Doble/1.0 mL		Normal/0.1 mL
40	Replica		Replica
60	1	2	3
80	1	2	3

2.2 Variables respuesta consideradas

Las densidades bacterianas de PC y PHe fueron valoradas con las siguientes variables respuesta:

- Para las PC se analizó la turbidez, desaparición de celulosa y la liberación de azúcares reductores (método del ácido 3,5-DNS).
- En las PHe se utilizó la turbidez y cambio de pH.

Todos los resultados obtenidos fueron sometidos al análisis estadístico con la prueba de Tukey.

3. Resultados

La Figura 1 muestra la dinámica de pH de los LXS producidos por reactores bajo diferentes regímenes de recirculación. Los resultados corresponden con los valores típicos de pH donde valores ácidos iniciales se recuperan para permitir el establecimiento de la fase metanogénica. Es importante señalar que esta dinámica es semejante para todos los regímenes de humedad.

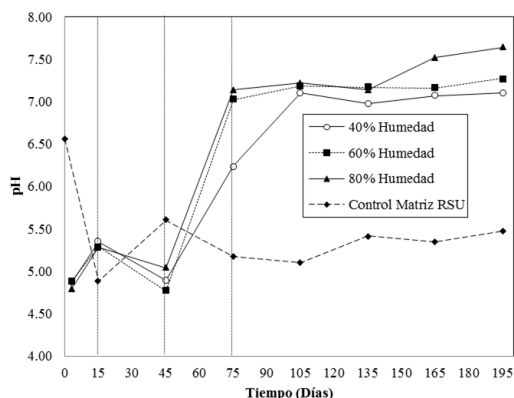


Figura 1. Dinámica del pH derivado de la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica en RSU en lixiviados de LBX a diferentes regímenes de humedad

En la Figura 3 se muestra la dinámica de densidades de PC a diferentes porcentajes de humedad utilizando medios de cultivo estándar y lixiviados enriquecidos para el cultivo con variable respuesta 3,5-DNS. Las enumeraciones revelan valores mayores en comparación con los obtenidos con la variable respuesta turbidez (Figura 2) en todos los regímenes de humedad con los dos medios de cultivo. Es evidente que el método de NMP puede usarse con una mayor sensibilidad usando el método 3,5-DNS como variable respuesta, en comparación con lo obtenido de forma visual. Además, las PC se detectaron en mayor cantidad en el medio de cultivo estándar.

En la Figura 3a se observa que las mayores poblaciones se encuentran en el régimen del 40% seguidas del 60 y 80%, es decir, mientras menor sea el volumen de recirculado, mayor son las PC detectadas.

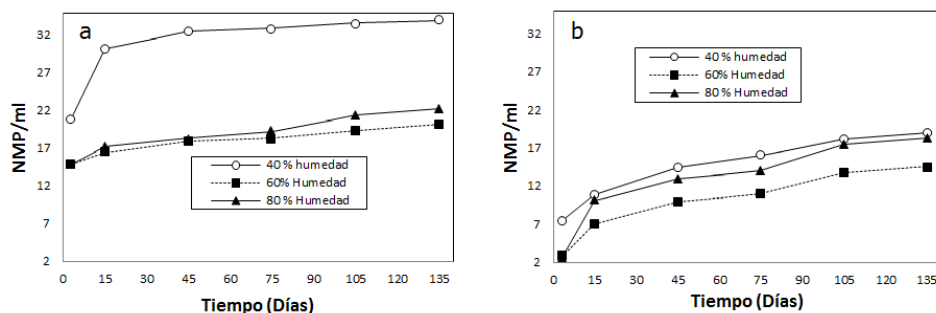


Figura 2. Comparación de acumulados de poblaciones celulolíticas a diferentes porcentajes de humedad: (a) Medio de cultivo estándar (b) Medio de cultivo lixiviado enriquecido. Variable respuesta turbidez

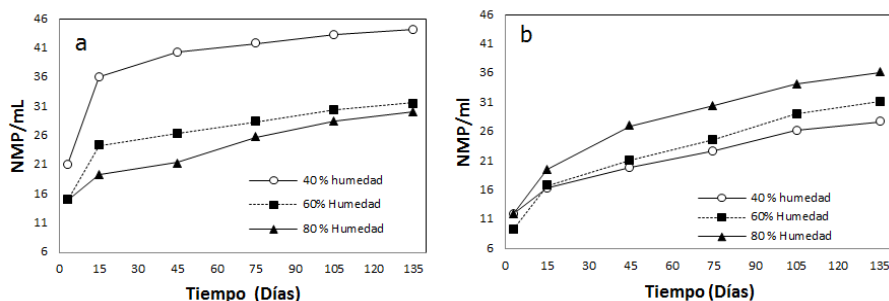


Figura 3. Comparación de acumulados de poblaciones celulolíticas a diferentes porcentajes de humedad: (a) Medio de cultivo estándar (b) Medio de cultivo lixiviado enriquecido. Variable respuesta 3,5-DNS

La Figura 5 muestra las enumeraciones de PHe usando el pH como variable respuesta para el método NMP. Esta variable permitió obtener enumeraciones $\geq$ que las obtenidas por el método visual (Figura 4). En general, tras analizar y comparar las PHe usando ambos medios y ambos métodos de variable respuesta, las PHe del régimen del 60% se presentan en mayor cantidad, a excepción del resultado en el medio de cultivo estándar y método visual; aunque la sensibilidad de usar pH como variable respuesta respalda de manera consistente el resultado. Al inicio de la experimentación todas las poblaciones detectadas tienen diferencias significativas.

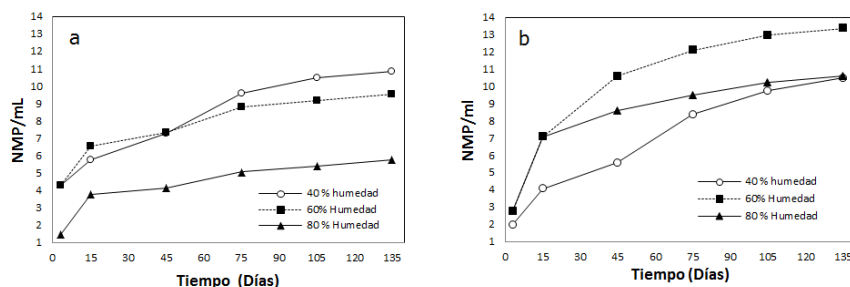


Figura 4. Comparación de acumulados de poblaciones hemicelulolíticas a diferentes porcentajes de humedad: (a) Medio de cultivo estándar (b) Medio de cultivo lixiviado enriquecido. Variable respuesta turbidez

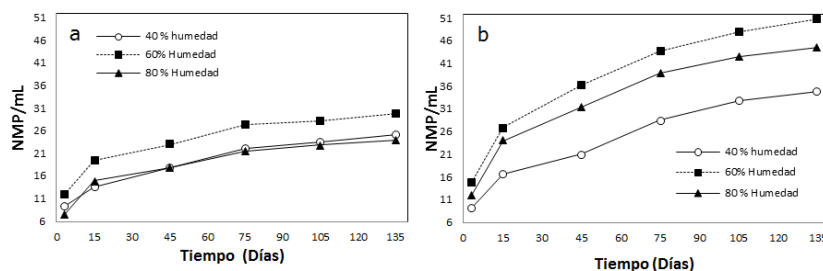


Figura 5. Comparación de acumulados de poblaciones hemicelulolíticas a diferentes porcentajes de humedad: (a) Medio de cultivo estándar (b) Medio de cultivo lixiviado enriquecido. Variable respuesta pH

4. Conclusiones

Las evidencias sugieren que la utilización de un método subjetivo (visual) enmascara los resultados de las tendencias de densidades de PC y PHe genera una enumeración inexacta; mientras que métodos cuantificables para la medición de las variables respuesta permiten una enumeración precisa de las poblaciones en estudio.

En un biorreactor escala laboratorio de residuos sólidos urbanos utilizado para el conteo de variables respuestas visuales, la recirculación de lixiviados del régimen del 40% de humedad permitió la mayor enumeración de poblaciones celulolíticas independientemente del medio de cultivo (estándar y lixiviado enriquecido).

Al utilizar el método del 3,5-DNS para la variable respuesta de la actividad PC con el medio de cultivo estándar, la recirculación de lixiviados del 40% permitió detectar la mayor PC. Al usar el medio de cultivo lixiviado enriquecido, la mayor cuantificación se reflejó con el régimen del 80% de recirculación de lixiviados.

Al comparar las PHe de los diferentes regímenes de recirculación de lixiviados, se demostró que las del régimen de humedad del 60% eran mayores al enumerarse con las variables respuesta pH y detección visual del crecimiento.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bagnara, C.R., Toci, C.G., Belaich, J.P. 1985. Isolation and characterization of a cellulolytic microorganisms *Cellulomonas fermentans* sp. nov. International Journal of Systematic bacteriology, 35:502-507
- [2] Rampersad, K., Goldstone, L.A., Tivchev, G.N. 1998. Study of methods for the cultivation of anaerobic cellulose-degrading bacteria. Water S.A. 24 (4): 343-345
- [3] Rodríguez C., Hiligsmann S., Ongena M., Charlier, R. and Thonart P. 2004. Development of an enzymatic assay for the determination of cellulose bioavailability in municipal solid waste. Biodegradation. 16: 415–422
- [4] Spokas, K., Bogner, J., Chanton, J.P., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Golvan, Y.M. & Hebe, I. 2006. Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? Waste Management, 26: 516–525.
- [5] Qian, X. & Barlaz, M.A. 1996. Enumeration of Anaerobic Refuse-Decomposing Micro-Organisms on Refuse Constituents. Waste Management & Research. 14: 151-161.
- [6] Westlake, K., Archer, D.B. and Boone D.R. 1995. Diversity of cellulolytical bacteria in landfill. Journal of Applied Bacteriology. 79: 73-78

Comparación del efecto de la recirculación de lixiviados sobre la capacidad calórica y el pH de los residuos sólidos urbanos

Erick Alejandro Mendoza Chávez, Liliana Márquez Benavides, Juan Manuel Sánchez Yáñez,
Christian Omar Martínez Cámara
alejandhro@hotmail.com

Resumen

La apropiada disposición de los residuos sólidos urbanos en un lugar, no solo se cumple con la instalación de un relleno sanitario (RESA), sino con la operación eficiente de éste, para ello se requiere contar con información confiable sobre la generación y composición de sus RSU, así como de sus subproductos. Esta investigación se realizó con el objeto de estudiar la degradación anaerobia de los RSU de un RESA bajo tres regímenes de humidificación: 40, 60 y 80 % de humedad, mediante recirculación de lixiviados. Para estudiar el efecto que la humedad tiene sobre las capacidad calórica, del pH y como va cambiando a través del tiempo y de las fases de biodegradación. Para ello, se utilizaron biorreactores escala laboratorio (BLAB) construidos con PVC. Los BLAB se cargaron con: RSU del RESA de Pátzcuaro Michoacán. Las etapas fueron: preparación de los muestra, montaje y operación de los BLAB, análisis químicos y físicos de los RSU y finalmente procesamiento de datos. La capacidad calórica y el pH de los RSU puede verse afectados antes distintos parámetros de operación de un sitio, nuestros resultados sugieren que con recirculación, la capacidad calorífica es mayor que sin recirculación, lo mismo pudo observarse con el parámetro de pH.

Palabras Clave: *degradación anaeróbica, relleno sanitario, escala laboratorio*

1. Introducción

En México, la generación y composición de los residuos sólidos urbanos (RSU) ha variado significativamente durante las últimas décadas, derivado de la dinámica económica, así como del crecimiento poblacional y los cambios en los patrones de consumo. La generación de los RSU en las diferentes zonas del país es Zona Norte 20%, la Zona Sur 10%, Frontera Norte de 8% y en la Zona centro junto con el Distrito Federal producen el 62% de los residuos generados en el país.

De acuerdo con datos de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) para el año 2006, en el país, el 45% de los RSU eran orgánicos, en tanto que el 39% eran potencialmente reciclables como el papel y cartón (17%), vidrio (7%), plásticos (9%), hojalata (4%) y textiles (2%). El 16% restante eran residuos de madera, cuero, hule, trapo y fibras diversas. Actualmente se recupera sólo un porcentaje menor al 50% de los componentes potencialmente reciclable; la mayor parte de la recuperación se hace a través de la pepena que se realiza predominantemente durante la recolección de los residuos y en sitios de disposición, muy poca separación se realiza en la fuente de generación, así como son escasas las plantas de selección y aprovechamiento [1].

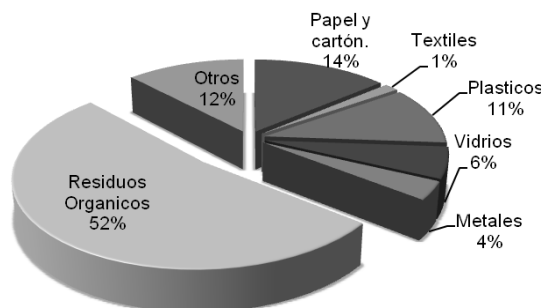


Figura 1.1 Composición de los subproductos de los RSU en México en el año 2008 [2]

La SEDESOL reportó que en el año 2004, la generación de RSU en todo el país fue de 94,800 toneladas diarias, de los cuales se estima que a nivel nacional, el 64% de los RSU generados se depositan en 88 Rellenos Sanitarios (RESA) y 21 sitios controlados; el 49% de los rellenos sanitarios son municipales, 18% regionales y 33% operados por la iniciativa privada; 25,000 ton/día se depositan en tiraderos a cielo abierto, barrancas o bien, en cualquier otro sitio sin control (incluye sitios clandestinos). La afectación al ambiente y a la salud pública podría ser por ello enorme y se desconoce la dimensión exacta del problema. En los últimos años se han impulsado acciones para mejorar la disposición final, como es en las ciudades medias, donde los rellenos sanitarios se han incrementado en un 20% [1],[3].

Disponer los RSU en el suelo es aún, el método de confinamiento más utilizado por las sociedades del mundo para su manejo. Sin embargo este método ofrece beneficios limitados ya que su degradación requiere de varios años para que alcancen su estabilización, ya que las condiciones con las cuales se operan, no permiten apresurar la degradación anaerobia de los RSU en los RESA. Condiciones que cambian, por ejemplo, si el RESA es operado como un biodigestor con el uso de la técnica de recirculación de lixiviados; que aporta la humedad que requiere el sistema para acelerar la degradación anaerobia, ayudando a estabilizar los lixiviados y beneficia la producción de CH₄. Sin embargo, se desconocen los efectos que pueden ser ocasionados por la mencionada recirculación de lixiviados (LIX) sobre los parámetros físicos y químicos en la matriz de los RSU de un RESA.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la recirculación de los lixiviados sobre algunas de las propiedades químicas de los RSU en biorreactores escala laboratorio (BLAB).

2. Materiales y métodos

2.1 Toma de muestra del Relleno Sanitario

Los RSU empleado en este trabajo proceden del RESA intermunicipal de Pátzcuaro, situado en el municipio de Pátzcuaro, Michoacán, que tiene su entrada en el kilómetro 6.7 de la carretera federal Pátzcuaro-Uruapan. El sitio se denomina CITIR (Centro Interdisciplinario de Tratamiento de Residuos). El RESA abarca 15 km² y recibe alrededor de 75 Toneladas/día de RSU. Los cuales son compactados a 600 kg/m² y cubiertos con tierra de la región al final de la jornada mediante equipo pesado. La muestra de RSU se tomó directamente de una de las celdas de almacenamiento del RESA en el mes de Febrero del 2009. Mediante el método de cuarteo descrito en la NM-AA-015-1985 [4] se tomaron alrededor de 40 kg de muestra que fue colocada en bolsas negras de plástico. Las cuales se sellaron herméticamente y se transportaron al laboratorio donde se separó manualmente la muestra en 15 subproductos los cuales se fraccionaron a tamaño de partícula < 1 cm para preparar una mezcla para los BLAB, que se llenaron con 215.19 g aproximadamente de

dicha muestra de RSU de acuerdo a la caracterización proporcionada por la administración del RESA.

2.2 Puesta en marchar de los BLAB

En los BLAB se reprodujo las condiciones del RESA para que se diera la degradación de los RSU. Tratando de controlar lo más posible los siguientes factores:

- Medio anaeróbico
- Compactación de 600 kg/m³
- Sistema de recirculación de lixiviado
- Caracterización de los RSU.
- Recuperación de lixiviados.
- Material de cobertura (suelo de la región)
- Válvula de remoción de biogás.

Para estimar los efectos de la recirculación de los lixiviados sobre la degradación de los RSU a diferente tiempo, se utilizaron simultáneamente 21 BLAB con recirculación y 7 sin recirculación, los cuales se fueron desmontando en diferentes periodos como se muestra en la Fig. 2.1.

CONTROL 0 ml	40 % 165 ml	60 % 248 ml	80 % 330 ml	Desmontaje
				15 días
				45 días
				75 días
				105 días
				135 días
				165 días
				195 días

Fig. 2.1 Periodos de desmontado de los BLAB

2.3 Determinación de pH y Capacidad Calórica

El muestreo y análisis de los RSU se realizaron al inicio y tras de cada descarga de los grupos de 7 BLAB (con y sin recirculación) hasta el final del experimento. Una vez desmontados los BLAB, se procedió a abrirlos. Estos residuos se pesaron e inmediatamente se les tomaron muestras para determinarles por duplicado pH y Capacidad Calórica (CC).

La medida de pH se realizo conforme a la NMX-AA-25-1984 (SECOFI, 1984), con un pH-metro calibrado con dos disoluciones estándar de pH 4 y 7, marca J. T. Baker, y con sonda de temperatura.

La determinación de CC se realizo conforme a la NMX-AA-033-1985 [5], utilizando un equipo calorimétrico (Figura 2.2). La elaboración de las pastillas de 1 ± 0.1 gr de RSU molidos se realizaron en una prensa neumática a 3 toneladas de presión por 30 segundos (Figura 2.2).



Figura 2.2. Equipo calorimétrico automático marca PARR

3. Resultados y discusión

La adición de agua al inicio de la experimentación produjo lixiviados con valores ácidos, ya que los RSU frescos revelaron un valor de pH de 6.5 (Figura 3.1). El pH es un parámetro cuyo seguimiento se realiza comúnmente en los lixiviados dada la relativa facilidad de obtener este material. La Figura 3.1a) muestra los valores de pH del material sólido sometido a digestión anaerobia (DA), mientras que la Figura 3.1b) muestra los valores reportados para el mismo proceso analizando los LIXs. Es importante señalar que existe una correspondencia entre los valores de pH de LIXs y de los RSU en digestión excepto durante la fase de hidrólisis. Esto sugiere que por un lado la correspondencia entre el valor de pH de los LIXs y RSU solamente coinciden durante la fase metanogénica acelerada y estable, por el contrario la fase de hidrólisis no corresponde dado de que justamente la adición de agua esta contribuyendo a la hidrólisis y a la disolución de MO presente en los residuos. La dinámica de pH en los distintos grupos de BLAB con recirculación no mostró diferencia más que con el grupo control que no pudo recuperarse del rango ácido de pH (4.88-5.47). Esto último coincide con lo observado por Mehta *et al.*, en el 2002 quienes encontraron que los RS que se digieren solamente con la humedad intrínseca difícilmente alcanzan valores de pH apropiados para la metanogénesis [6].

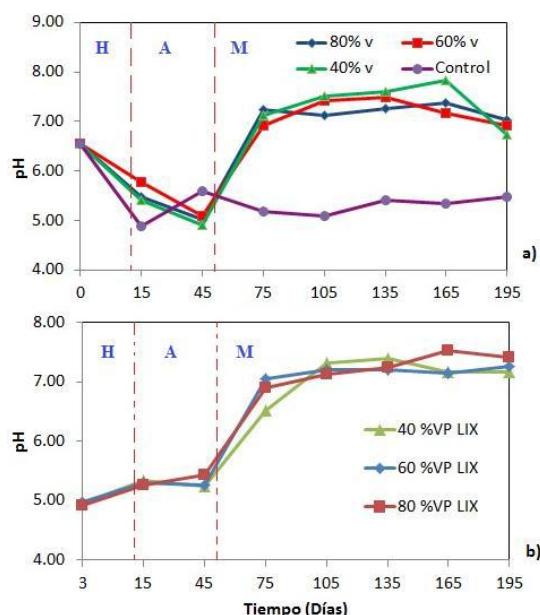


Figura 3.1 Dinámica de a) pH de la matriz de RSU y b) LIX durante la experimentación Fases: H) Hidrólisis, A) Acidogénesis, M) Metanogénesis. Cada punto representa el promedio de 3 valores (Hernandez, 2010)

La capacidad calorífica (CC) de un material es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa del material (Velázquez, 2006). La valorización energética

de los RSU consiste en la obtención de energía a partir de su combustión. La CC de los RSU varía con base a su amplia heterogeneidad, especialmente por la inclusión de materiales hidrocarbonados tales como los plásticos (PET, HPED, PVC, etc.), los cuales tienen una CC comparable a los derivados del petróleo, además de la ventaja ambiental de no generar óxidos de azufre [7].

En algunos países en donde la disposición final en RESA es la última opción, la incineración de RSU es un proceso preferido y de ahí a que se refieran a ella como la valorización energética de los RSU. A pesar de que esta práctica en términos controlados es incipiente en este país, principalmente debido a los altos costos de instalación y operación e incluso por el rechazo social, también es cierto que es importante comenzar a proveer datos que permitan proyectar su aplicación. Se observó que, bajo las condiciones operadas en el experimento, el PC de los RSU sometidos a DA no se ve afectado debido a los diferentes regímenes de recirculación (Figura 4.3). Sin embargo, es importante hacer notar que el PC va aumentando conforme el proceso de DA se lleva a cabo. Esto debido a que el material celulósico es transformado en biogás por la actividad microbiana, sumado a esto (en el caso de los BLAB con recirculación) los LIXs causan un arrastre a través de la matriz de RS digeridos y con ello aumenta la proporción de componentes no biodegradables (PET, HPED, PVC, etc.) los cuales poseen mayor PC. Los valores de CC determinados en este experimento para los RSU frescos y digeridos son mayores a los reportados por algunos autores este cambio puede explicarse debido a la composición de los RSU usados en esta experimentación que contenían mayor proporción de subproductos con alto poder calorífico.

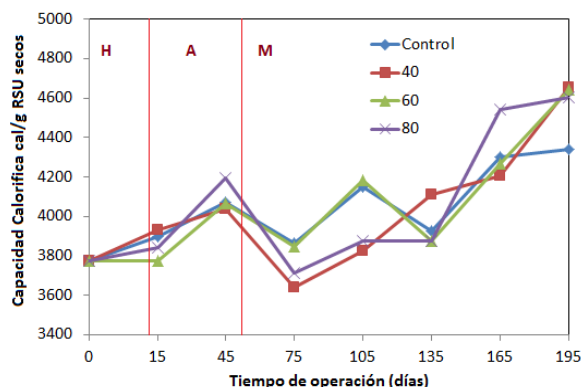


Figura 3.2 Dinámica de la PC de la matriz de RSU durante la experimentación Fases: H) Hidrólisis, A) Acidogénesis, M) Metanogénesis. Cada punto representa el promedio de 3 valores.

4. Conclusiones

Bajo las condiciones descritas para esta investigación, los diferentes regímenes de recirculación de lixiviados no afectan las propiedades de pH y CC de los residuos sólidos urbanos sometidos a un proceso de DA.

Referencias Bibliográficas

- [1] Sosa A. 2007. ¿Cuál es el contexto de las pilas dentro de la Gestión Integral de Residuos? Política y Estrategias para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos en México. www.semarnat.gob.mx/gestionambientales.
- [2] SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social). (2008) Situación actual en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en México. (Página web, ultimo acceso: October 13, 2010).

http://www.sedesol.gob.mx/subsecretarias/desarrollourbano/sancho/documentos/Alcances/Residuos_Solidos_Urbanos.pdf.

[3] Buenrostro-Delgado O., Ojeda-Benítez S., Márquez-Benavides L. 2007. Comparative analysis of hazardous household waste in two Mexican regions. *Waste Management*, 27(6): 792-801.

[4] SECOFI, 1985. (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Norma Mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales. Muestreo. Método de Cuarteo. México.

[5] SECOFI, 1984a. (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Norma Mexicana NMX-AA-25-1984 Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales. Determinación del pH. Método Potenciométrico.

[6] Mehta R.; Barlaz M. A., Yazdani R., Augenstein D., Bryars M., Sinderson L. 2002. Refuse Decomposition in the Presence and Absence of Leachate Recirculation. *Journal of Environmental Engineering*. 228-236.

[7] UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia). 2010. (Página web). Gestión y Tratamiento de los Residuos Urbanos. URL: http://www.uned.es/biblioteca/rsu/pagina4.htm#epig_2. Último acceso: 12 diciembre 2010.

Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas con limadura metálica

María Fernanda Serrano Guzmán, Victor Hernando Vivas Mejía
mariaf.serrano@upb.edu.co

Resumen

Los pavimentos flexibles se utilizan en la mayoría de vías buscando proveer comodidad a los usuarios, utilizando materiales económicos pero que garanticen la durabilidad en el tiempo. En ocasiones, las mezclas bituminosas utilizadas para la fabricación de estos pavimentos son modificadas para proveer una mejora en las características mecánicas en especial cuando las vías experimentan niveles elevados de tránsito. Estas mezclas son preparadas con agregados naturales y con material ligante. El presente trabajo es el resultado de la evaluación de mezclas asfálticas preparadas utilizando limadura metálica, agregado natural y material ligante. Se prepararon un total de 54 briquetas de mezclas asfálticas con porcentajes de asfalto del 4.5%, 5.5% y 6.5%. Estos especímenes se sometieron a ensayos mecánicos. Se encontró que la dosificación de 30% de arena, 60% de triturado y 10% de limalla reportó el menor porcentaje de vacíos de los agregados, criterio considerado para la preparación de la mezcla asfáltica. Esta mezcla asfáltica, preparada con un 5.5% de asfalto produjo un valor promedio de estabilidad de 3137 lb, superior en un 10.45% a la mezcla asfáltica testigo (mezcla densa en caliente). Se recomienda la continuación del estudio para garantizar que el uso de la limadura metálica mejore las propiedades mecánicas del pavimento sin detrimento de la calidad ambiental del entorno en donde se aplique.

Palabras Clave: *limalla, marshall, mezcla asfáltica en caliente, pavimento, residuo*

1. Introducción

Las diferentes actividades comerciales generan residuos, algunos de los cuales se disponen correctamente y otros de manera indiscriminada en condiciones ambientales no aceptables como a cielo abierto, incineración, entre otros [1]. Una problemática común que se observa a nivel gubernamental por el desarrollo de las comunidades es la necesidad de definir nuevos sitios para la disposición de estos residuos [2]; así como, también es común la práctica, poco recomendada, de incineración de la misma y posterior disposición de las cenizas generadas en vertederos, algunos de ellos controlados. Sin embargo, existen residuos que pueden ser recuperados y reutilizados.

Estudios previos han demostrado la aplicabilidad en el uso de materiales reciclados en la preparación de mezclas asfálticas o en la recuperación y re uso de demoliciones de estas mezclas [3]-[4]. La aplicabilidad de esta práctica se extiende abarcando su uso para vías de nuevas solicitaciones y para reparación de vías existentes.

La recuperación de estas mezclas es uno de los métodos de rehabilitación más comunes con el cual se contribuye a proteger el ambiente y a reducir los costos por la disposición de estas demoliciones [1], [5]. Para todas las mezclas que se preparen, es importante evaluar la susceptibilidad del asfalto a los cambios de temperatura ya que cualquier modificación a la mezcla asfáltica puede aumentar la resistencia del material pero alterar otras propiedades [6], [7].

Una mezcla asfáltica puede ser clasificada como un material compuesto que contiene partículas de agregado de diferentes tamaños y formas, los cuales se acomodan mediante una mezcla bituminosa

o ligante. En algunos casos, las mezclas asfálticas son consideradas como materiales de dos fases, con agregado y ligante, o de tres fases, con agregado, ligante y vacíos [8].

El asfalto, es un material viscoso que se deriva del petróleo; está compuesto de asfaltenos, resinas y aceites y es muy usado en la pavimentación de vías [6]. Aunque el asfalto como hidrocarburo se forma de hidrógeno y carbono, también tiene oxígeno, nitrógeno y sulfuro; además, la estructura molecular del asfalto puede variar según la fuente de donde sea extraído [6], [9]. Los agregados, gruesos o finos, utilizados para la preparación de las mezclas asfálticas deben cumplir especificaciones de calidad según el tipo de mezcla que se está preparando.

En la práctica, las capas de pavimento asfáltico se forman mediante la compactación de dos o más capas de mezclas asfálticas; la capa superior es la que está expuesta al envejecimiento que es un factor que afecta la vida útil del pavimento [8]. A medida que se da el deterioro, entonces el pavimento deja de ser funcional [10].

Teniendo en consideración que en ciertas actividades de la industria metalmecánica, específicamente del proceso de fabricación de motores, se produce un residuo potencialmente utilizable: la limalla; y que la disposición de este residuo a los centros de destino final generan costos financieros para la empresa y costos ambientales al entorno, surge la propuesta de reciclar este residuo y utilizarlo como un agregado de mezclas asfálticas preparadas con asfalto, mezclando los agregados naturales con un 10% de limalla. Las mezclas asfálticas elaboradas se evaluaron con el Método Marshall, el cual se puede aplicar en mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 1" (25 mm).

2. Metodología

La mezcla asfáltica preparada correspondió al tipo densa en caliente, identificada como MDC-2, aplicable para vías con tránsito pesado en donde se espera una capa de rodadura de 40 a 60 mm de espesor y puede también emplearse para espesores mayores a 60 mm. El cemento asfáltico se adquirió en la planta de asfaltos Asfaltart, localizada en el área de influencia de los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana.

En cuanto a los agregados naturales de esta investigación, éstos fueron obtenidos en canteras y centros de distribución de material pétreo de la región y en cuanto a la limalla, ésta fue suministrada por la empresa LAVCO.

El triturado, la arena y la limalla se caracterizaron considerando las especificaciones de calidad establecidas por Instituto Nacional de Vías (INV. E). Los agregados se mezclaron según las proporciones indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. *Proporciones de agregados naturales y limalla*

Mezclas	1	2	3	4	5
Agregado Fino %	10	20	30	40	50
Agregado Grueso %	80	70	60	50	40
Limalla %	10	10	10	10	10

Para las mezclas asfálticas se siguieron los procedimientos de diseño establecidos en el método de diseño Marshall de la INV. E-748, para el cual se preparan probetas de 2 ½" de altura y de 4" de diámetro. Cada una de las briquetas se preparó con un porcentaje del 4.5%, 5.5% y 6.5% de asfalto.

El material se introduce a los moldes según el procedimiento de este método, el cual consiste en calentamiento, mezclado y compactado. Finalmente, para la determinación del contenido de asfalto se siguieron las indicaciones de la INV.E-703 en la cual se utiliza el método de la centrífuga.

3. Resultados

Con respecto al comportamiento mecánico de los agregados se observa que tanto los agregados naturales como la limalla cumplieron con las especificaciones de la INV.E-400. El criterio de diseño para la mezcla de agregados fue considerar el menor porcentaje de vacíos de la misma. Esto ocurrió en las mezclas con proporciones de 10% de limalla, 60% de grueso y 30% de fino (Figura 1, Mezcla 3).

Sin embargo, se observa que en la mezcla 4 de agregados (10% limalla, 40% de agregado fino y 50% de agregado grueso) se reportaron los valores más altos de estabilidad (3.137 libras), que es 10.45% mas alta que la estabilidad de la mezcla preparada con agregados naturales cuando el porcentaje de asfalto fue de 5.5%.

En cuanto al porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica se observa que el comportamiento de la mezcla con agregados no convencionales muestra mayor porcentaje de vacíos con respecto al de la mezcla testigo. Esto indica que la mezcla producida con los agregados no convencionales no presenta un comportamiento como densa y por lo tanto requiere de ajustes para su aplicación en pavimentos (Figura 2).

4. Conclusiones

Las actividades antropogénicas generan gran cantidad de residuos; aquellos derivados de la industria pueden ser aplicables en la producción de nuevos materiales que pueden ser utilizados toda vez que cumplan las normas técnicas de calidad.

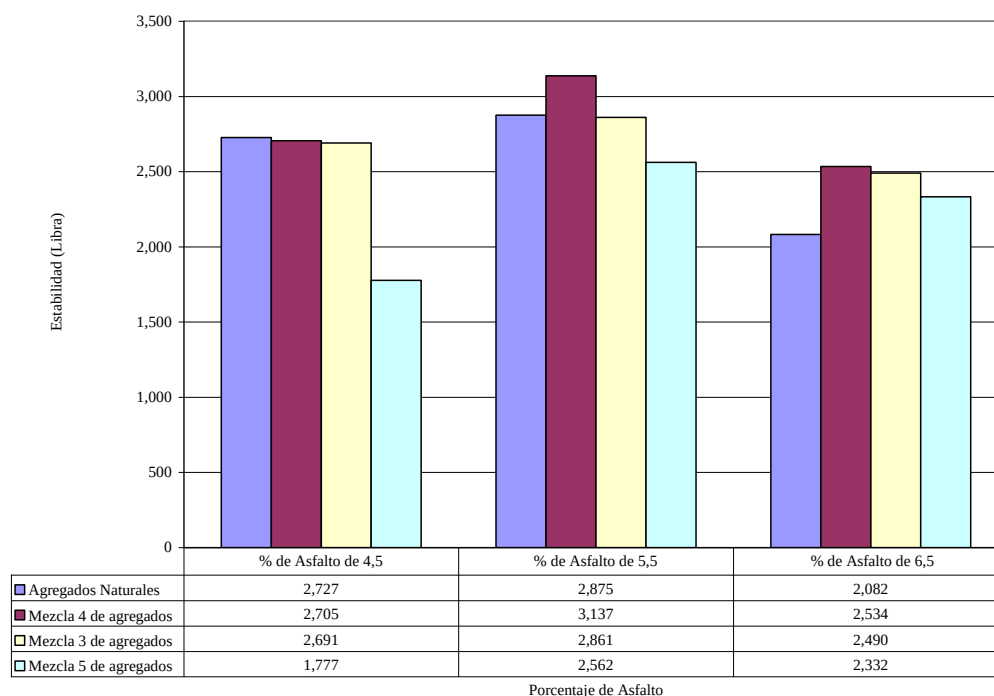


Figura. 1. Comportamiento de la estabilidad de la mezcla asfáltica

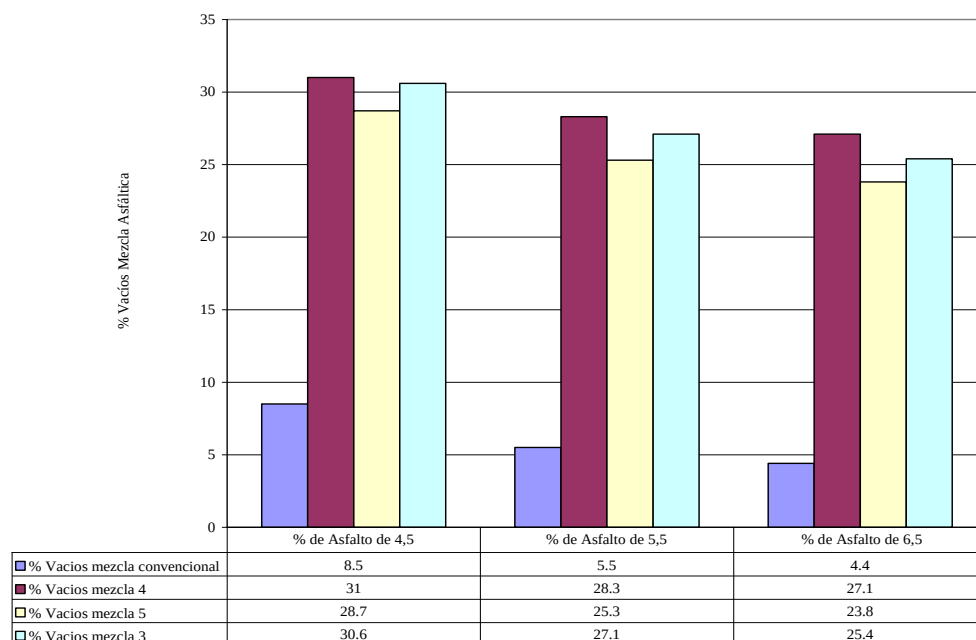


Figura. 2. Comportamiento del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica

En este estudio, la limalla, residuo industrial, fue utilizada como agregado para la preparación de mezclas asfálticas. Aunque la mezcla asfáltica 3 preparada con un 5.5% de asfalto reportó un valor promedio de estabilidad de 3,137 lb, superior en un 10.45% a la mezcla asfáltica testigo (mezcla densa en caliente), el porcentaje de vacíos determinado supera los límites de las especificaciones colombianas para pavimentos. Por lo anterior se recomienda la continuación del estudio para mejorar la relación de vacíos de la mezcla asfáltica.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana por la cofinanciación del estudio y a los Técnicos Helí Rueda y Vicente Páez del Laboratorio de Materiales de Ingeniería Civil por sus aportes. Igualmente, a la Dra. Olga Vesga, gerente de la empresa Lavco, por su apoyo e interés en la búsqueda de nuevas tecnologías y nuevos materiales.

Referencias Bibliográficas

- [1] Serrano-Guzmán María F. y Diego Darío Pérez Ruiz. 2011. "Use of Recycling Materials to Build Paver Blocks for Low Volume Roads in Developing Countries". Journal Transportation Research Record. Publisher: Transportation Research Board of the National Academies, Julio.
- [2] Kouda M., "Experimental Pavement Using Household Waste Slag". *Waste Management*. Vol. 16(5/6). 1996. pp. 461-474.
- [3] Valdés G., Pérez-Jimenez F., Miró R., Martínez A., Botella R., "Experimental Study of Recycled Asphalt Mixtures with High Percentages of reclaimed Asphalt Pavement (AP)". *Construction and Building Materials*. Vol. 25(3). 2011. pp. 461-474.
- [4] Vivas Mejía, V. H., Marzo 2011. "Aprovechamiento de limadura metálica para el diseño de Mezclas Asfálticas". Trabajo de grado. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Pp. 123.

- [5] Su K, Hachiya Y., Maekawa R, “Study on Recycled Asphalt Concrete for use in surface course in airport pavement”. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 54. 2009. pp. 37-44.
- [6] Al-Hadidy A. I., Yi-qiu T., “Mechanistic approach for polypropylene-modified flexible pavements”. *Materials and Design*. Vol. 30. 2009. pp. 1133-1140.
- [7] Rondón, Q. H., Reyes, F. A., Ojeda, B.E. Diciembre 2008. “*Comportamiento de una mezcla Densa de Asfalto en Caliente modificada con desecho de Policloruro de Vinilo (PVC)*”. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Vol 18(2). Pp. 29-43.
- [8] Zofka A., Marasteanu M. y Turos M., “Investigation of Asphalt Mixture Creep Behavior Using Thin Beam Specimens”. *Multiscale and Functionally Graded Materials. Proceeding de American Institute of Physics, ISBN. 978-0-7354-0492-2, 2008*. pp. 718-723.
- [9] Tapkin, S., Cevik, A., Usar, U. 2010. “*Prediction of Marshall test results for polypropylene modified dense bituminous mixtures using neural networks*”. *Expert Systems with Applications*. Vol 37. Pp. 4660-4670.
- [10] Yoo J. y García-Díaz A., “Cost-effective selection and multi-period scheduling of pavement maintenance and rehabilitation strategies”. *Engineering Optimization*. Vol. 40(3). Marzo 2008. pp. 205-222.

Compostaje en biorreactores de lodos residuales y residuos orgánicos

Ignacio Zendejas Dorado, María del Consuelo Hernández Berriel, *Leticia Esperanza Colón Izquierdo

*lcolon@ittoluca.edu.mx

Resumen

El proceso de compostaje es complejo de controlar en un sistema de pila estática con ventilación forzada, por lo que es factible llevarlo a cabo por otros medios. El objetivo de este trabajo fue mejorar el proceso de biodegradación aerobia de lodos y residuos orgánicos (RO). Para ello se montó un sistema de 4 biorreactores a escala laboratorio (BIEL) con una proporción 60/40 de lodos de una industria refresquera y RO domésticos triturados (≤ 1 cm), a 2 de ellos se les adicionó un medio nutritivo a base de sulfatos y cloruros, además de 0.52 g de CaSO_4 por cada kilogramo de lodo (BIEL-2). A los BIEL se les adaptó un sistema de inyección de aire con temperatura controlada mediante un PLC, de manera que su suministro fue de acuerdo a la etapa del proceso de biodegradación y al balance de oxígeno requerido. Se dio seguimiento al proceso de compostaje determinando el contenido de humedad, pH, temperatura y oxígeno disuelto. Los BIEL sin adición de nutrientes (BIEL-1) presentaron una mayor retención de humedad, valores de pH entre 6.85-7.8 y una temperatura máxima de 49 °C, mientras que los BIEL-2 tuvieron una menor retención de humedad, valores de pH entre 4.6-8.0 y alcanzaron los 52 °C. Conforme a los resultados de la relación C/N, las compostas obtenidas en todos los BIEL pueden considerarse mejoradores orgánicos, aunque el tiempo de biodegradación necesario en los BIEL-1 fue de 15 días y en los BIEL-2 de 38 días con un contenido de Na menor.

592

Palabras Clave: *biodegradación aerobia, compostaje, tratamiento de lodos*

1. Introducción

Informes del Banco mundial en el año 2010 en América latina LAC la población fue de 500 millones, 75% viven en centros urbanos y estos son los más afectados por el mal manejo residuos sólidos urbanos (RSU). En México, los últimos 10 años la población creció 1.8% y la generación de residuos fue de 13% más que la anterior década [1]. Estos últimos al acumularse generan contaminación pues no se reincorporan a la naturaleza en un corto o mediano plazo.

Para poder reducir el impacto que estos residuos causan al ambiente, se ha establecido en México la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), la cual brinda los elementos normativos para que se manejen adecuadamente [2]. Una de las opciones es el proceso de compostaje, el cual puede disminuir notablemente la cantidad de RSU que son depositados en tiraderos municipal o rellenos sanitarios, pues según datos del Instituto Nacional de Ecología (INE), la porción orgánica de los RSU en el país es de aproximadamente el 52 % [3]. Como apoyo SEMARNAT-INE-GTZ publicaron el Manual de Compostaje Municipal, en el que se indica a las autoridades municipales la manera de elaborar composta con la fracción orgánica de los RSU [4].

Un estudio del INE identificó en 2005 la existencia de 61 plantas de compostaje (PdC) en México. Las primeras de ellas fueron construidas a finales de los 60's y principios de los 70's y algunas de estas ya no se encuentran en operación actualmente. Estas PdC se han estado operando por autoridades Municipales o por instituciones como la UNAM o la UAM. La mayoría de ellas reciben entre 1-2 ton/día y utilizan el método de pila en suelo cubiertas con lonas, sus dimensiones van 1-2

m de ancho por 3-5 m de largo y se levantan de 0.5-1m, con un tiempo de maduración va de 4-6 meses. Por lo general el proceso de degradación es anaeróbico y donde se aplican procesos aeróbicos, se emplea el volteo manual o mecánico y en algunas plantas se emplea la lombricomposta. La PdC más grande del país se encuentra ubicada en el relleno sanitario de Bordo Poniente, que recibe aproximadamente 10 toneladas al día de residuos orgánicos [5].

Los principales factores para el proceso de composteo son la humedad, la temperatura y el pH, su manejo adecuado permiten acelerar el mismo, por lo que el objetivo de este trabajo fue mejorar el proceso de biodegradación aerobia de lodos y residuos orgánicos (RO), mediante el acondicionamiento de la temperatura y el control en el suministro del flujo del aire en biorreactores a escala laboratorio (BIEL).

2. Metodología

2.1 Montado de biorreactores

Se utilizó un sistema de cuatro BIEL construidos con PVC C-80. Cada BIEL está constituido por un recipiente cilíndrico de 0.0145 m³ de volumen interno como cuerpo, cuenta además de dos tapas semiesféricas de 0.0062 m³ cada una. La tapa inferior tiene un conector central de 1/2" para la inyección de aire con temperatura controlada mediante un PLC y en su interior un distribuidor tubular con un sistema de resistencias. La tapa superior cuenta también con un conector central donde mediante una electroválvula se controla la salida del aire. El cuerpo del BIEL tiene un puerto para un termómetro bimetalico y está cubierto con material aislante.

Los RO domésticos se trituraron a un tamaño de partícula ≤ 1 cm y se prepararon 10 kg de una mezcla en proporción 60:40 de lodos de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de una industria refresquera (PTAR) y RO, a la mezcla se le adicionó 0.52 g CaSO₄/kg de lodos. Con esta mezcla se cargaron los BIEL al 80% de su capacidad. A dos BIEL inicialmente se les agregó además nutrientes de acuerdo a la formulación recomendada por [6].

2.2 Arranque y seguimiento de la operación

La operación de los BIEL inicio con la inyección de aire a temperatura ambiente por 2 minutos y después de mantenerse presurizados por 20 minutos, se despresurizaron mediante la apertura de una electroválvula. Los pasos anteriores se repitieron automáticamente gracias a un PLC, que también permitió el aumento gradual hasta la temperatura de 40°C, durante la fase mesofílica que comprendió 14 días. Posteriormente en la fase termofílica, también de manera programada se continuó con el incremento de la temperatura.

El seguimiento de la temperatura se realizó diariamente, lo que permitió estimar mediante la ecuación 1 el calor metabólico, que es la suma de los calores de acumulación, convectivo, conductivo y de evaporación [7].

$$-\Delta H = \rho_m C_p \frac{dT_m}{dt} + \frac{G_a}{V_{emp}} \{ [\rho_{ae} * h_{ae}] + [\rho_{as} * h_{as}] \} + A_{Temp} U (T_m - T_b) + Q_{ag} \frac{G_a \rho_a}{V_{emp}} * [\gamma_e - \gamma_s] \quad (1)$$

$$(\text{Calor Metabólico}) = (\text{Calor Conductivo}) + (\text{Calor Acumulación}) + (\text{Calor de Evaporación})$$

Cada 24 horas se interrumpió el proceso de inyección de aire acondicionado para destapar los BIEL, muestrear aproximadamente 20 g de residuos sólidos y adicionar a los BIEL con nutrientes 0.52 g CaSO₄/kg de lodos, con la finalidad de estabilizar su pH.

2.3 Determinaciones analíticas

A la mezcla inicial de lodos:RO se le determinó su contenido de humedad base húmeda (%Hbh), pH materia orgánica (MO), nitrógeno (N), relación carbono/nitrógeno (C/N), sodio (Na), fósforo (P) y potasio (K). Los análisis se realizaron mediante la normatividad vigente en el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX).

La muestra de residuos sólidos de cada BIEL se dividió aplicando el método de cuarteo (NMX-AA-15-1985) [8] y se caracterizó determinando los parámetros mencionados para la mezcla inicial.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de residuos cargados y degradados

En la Tabla 1 se muestra los límites permitidos para mejoradores orgánicos de la NTE-006-SMA-RS-2006 y los resultados de los análisis realizados a la composta de los BIEL sin y con nutrientes. En ambos tipos de BIEL se obtuvieron valores de pH superiores al límite y tuvieron una relación K/Na inferior 2.5, lo cual puede atribuirse a que el flujo de aire en la etapa termofílica fue insuficiente, sin embargo, de acuerdo a la relación C/N y otros parámetros, las compostas obtenidas pueden considerarse mejoradores orgánicos [5], [9].

Tabla 1. Caracterización del material obtenido en los compostajes

Parámetro	Mezcla inicial de lodos:RO	Composta BIEL (sin nutrientes)	Composta BIEL (con nutrientes)	Límites permitidos para Mejoradores Orgánicos NTE-006-SMA-RS-2006
Contenido de humedad (%Hbh)	75	82	68	-----
Materia orgánica fácilmente oxidable (%)	9.32	18.96	16.89	>15
pH	7.35	8.83	8.69	6.5-8.0
Nitrógeno (%)	3.2	3.89	1.63	-----

Tabla 1. Caracterización del material obtenido en los compostajes (continuación)

Parámetro	Mezcla inicial de lodos:RO	Composta BIEL (sin nutrientes)	Composta BIEL (con nutrientes)	Límites permitidos para Mejoradores Orgánicos NTE-006-SMA-RS-2006
Relación C/N	1.18	2.61	5.54	< 12
K/Na	0.79	1.6	1.6	< 2.5
Fósforo (ppm)	1532	613.30	1166	> 1000
Potasio (ppm)	4600	11000	10000	>2500

3.2 Dinámicas de degradación

Los primeros BIEL cargados sin nutrientes y solo CaSO_4 (Figura 1), mostraron un comportamiento extendido durante la fase mesofílica [10], con valores de pH entre 6.35 y 7.7 y un descenso en el contenido de humedad hasta 64 %Hbh, mientras que en la fase termofílica el contenido de humedad se incrementó. El calor metabólico fue producto del calor conductivo y del calor de acumulación, favoreciéndose la disminución del calor por evaporación (Figura 2), por lo que se incrementó la humedad en la composta (Figura 1).

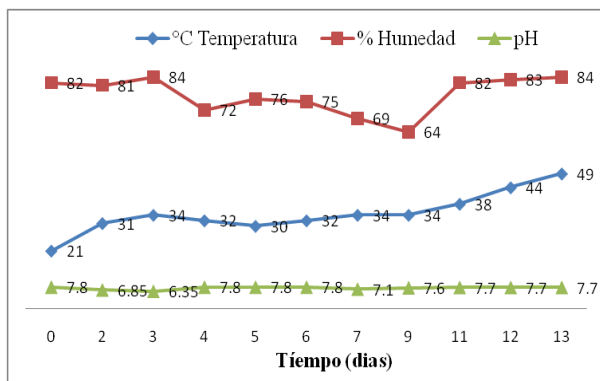


Figura 1. Parámetros de control en BIEL sin nutrientes

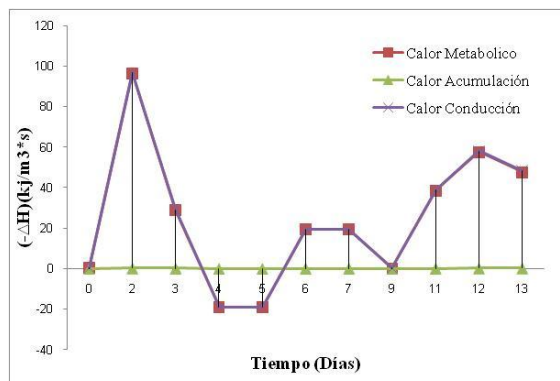


Figura 2. Calor metabólico en BIEL sin nutrientes

Los BIEL con nutrientes y CaSO_4 mostraron un comportamiento extendido durante la fase mesofílica similar a los BIEL sin nutrientes (Figura 3). Presentaron también un descenso en el contenido de humedad durante la fase mesofílica, la cual se recuperó en la fase termofílica sobre el día 34. Los valores del pH tuvieron oscilaciones entre los valores 4.9 a 6.9, superando la neutralidad hasta la fase termofílica. Estos BIEL requirieron 12 días más que los BIEL sin nutrientes para alcanzar la fase termofílica y tuvieron menor concentración de N, por lo que su contenido de humedad fue menor [10] [11]. El calor metabólico también fue producido por el calor conductivo y el calor de acumulación, favoreciendo la disminución del calor por evaporación (Figura 4), con lo que incremento humedad en la composta.

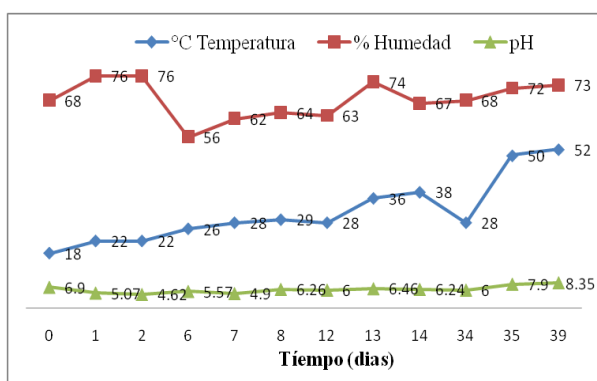


Figura 3. Parámetros de control en BIEL con nutrientes

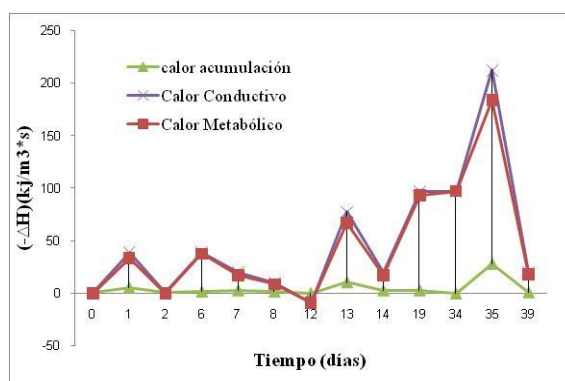


Figura 4. Calor metabólico en BIEL con nutrientes

Conclusiones

El aporte al calor metabólico fue en su mayor parte por calor de acumulación y el de conducción, favoreciendo el control del calor de evaporación. De esta forma, obtener mayor degradación de la materia orgánica, incremento de nutrientes, reducir la concentración de sodio y a su vez mantener la relación K/Na dentro de los parámetros de referencia

Conforme a los datos de pH y humedad en la fase termofílica, se requirió mayor flujo de aire para poder continuar con un proceso aerobio y evitar la producción de amoníaco

El proceso de compostaje mediante el suministro controlado de aire en los BIEL sin nutrientes, permitió un mejor control de la temperatura del proceso y disminuir el tiempo de maduración. Y a

su vez obtener un mejorador de suelos que cumplió en la mayoría de los parámetros a la norma de referencia.

Nomenclatura

Abreviatura	Descripción	Abreviatura	Descripción
A_{Tesp}	Área específica del reactor	h_{ae}	Entalpía del aire a la temperatura de entrada
Q_{ag}	Calor latente de evaporación	h_{as}	Entalpía del aire a la temperatura de salida
$-\Delta H$	Calor metabólico	γ_e	Fracción molar del agua en la entrada
Cp_m	Capacidad calorífica de materia a compostear	γ_s	Fracción molar del agua en la salida
ρ_{ae}	Densidad del aire a la temperatura de entrada	G_a	Gasto de aire

Abreviatura	Descripción	Abreviatura	Descripción
ρ_{as}	Densidad del aire a la temperatura de salida	T_m	Temperatura del material
ρ_a	Densidad masa aire	T_b	Temperatura del medio controlado
ρ_m	Densidad masa a compostear	U	Coeficiente global de calor
dT_m/dt	Derivada con respecto al tiempo de la temperatura	V_{emp}	Volumen reactor empacado m^3

Referencia Bibliográficas

- [1] Terrazas O. 2007. (Consultado el 12 de mayo 2011). [www//http.bancomundial/encuentrosalvador/345pdf](http://www.bancomundial/encuentrosalvador/345pdf)
- [2] INE (Instituto Nacional de ecología). 2007a. Programa municipal de compostaje. (Última Consulta 25/03/2011). <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/499/programa.html>
- [3] SEMARNAT-SNIARN. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales). 2009. Base de Datos Estadísticos. BASEDESNIARN. (consultado 30 de mayo 2011). <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/badesniarn/Pages/badesniarn.aspx>
- [4] SEMARNAT-INE-GTZ. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Agencia de Cooperación Técnica Alemana). 2006. Manual de compostaje municipal. (consultado el 10 de mayo 2011). <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/compsmuni.pdf>
- [5] INE (Instituto Nacional de ecología. Experiencias de la producción de Composta en México). 2007b. (Última Consulta 25/03/2011). <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/499/experiencias.html>
- [6] Goodhue C.T. Rosazza J.P. Methods for transformation of organic Compounds . En "Compost: production, quality and use", edit. M.de Bertoldi, M. Ferranti. Elsevier Applied Science Publisher Ltd.
- [7] Mendoza W. J. "Balance de calor en un proceso de biodegradación de lodos activados por fermentación sólida. 1994. Trabajo especial de Titulación. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.
- [8] SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. Normas Oficiales Mexicanas Vigentes. (última consulta 06/05/2010). www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes.aspx
- [9] Secretaria del Medio Ambiente. 2009. Gaceta del Gobierno. NTE-006-SMA-RS-2006.

- [10] Crites, R., Tchobanoglous G. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Reactores clases, características y aplicaciones. Sólidos biológicos y manejo de lodos. 2000. Ed. Mc Graw Hill. pag. 111-129 y 665-705.
- [11] Perea Recillas V. "El Compostaje en Reactores en condiciones Controladas" 2005. Trabajo especial de titulación. Instituto Tecnológico de Toluca.

Criterios para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios mediante evaporación por radiación solar

Marcel Szantó Narea, Enrique Piraino Davidson, Christina Esther Arancibia Evans

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Avenida Brasil 2147, Valparaíso, (56-32) 2273626, E-mail: mszanto@ucv.cl.

Resumen

La complejidad en la composición de los lixiviados y la variación que presentan según los residuos de los que se originan, el lugar donde se encuentra el relleno, y la propia evolución experimentada en el tiempo, hace difícil la formulación de un sistema de tratamiento generalizado. Los actuales métodos de tratamiento sólo logran este objetivo parcialmente, y deben utilizarse dos o más de ellos en el proceso para superar las limitaciones que presentan los tratamientos individuales. El uso de invernaderos para la evaporación de lixiviados presenta varias ventajas por sobre las lagunas de evaporación, un método similar que se utiliza en zonas de gran radiación solar, pero no se ha estudiado ni desarrollado su utilización para este fin. Para ello se propone establecer los criterios de diseño del equipo, tanto estructurales como de balance de masa y energía, para su implementación en diferentes zonas. Dado que se presenta una variabilidad en la composición de diferentes lixiviados, es necesario además contar con una metodología de determinación de su composición rápida y confiable, por lo que se estudiará el uso de métodos espectrométricos para la determinación de la composición y cantidad de los compuestos presentes en los líquidos percolados. Con los resultados obtenidos de este estudio, será posible probar el funcionamiento de un invernadero en forma piloto, cuyo diseño pueda establecerse de acuerdo a las condiciones reinantes en el lugar de emplazamiento, la geometría de la estructura, las cargas soportadas, y el tipo de lixiviado a evaporar en diferentes zonas del país.

598

Palabras Clave: *espectrometría, evaporación, invernadero, lixiviados, percolados*

1. Introducción

La complejidad en la composición de los lixiviados y la variación que presentan según los residuos de los que se originan, el lugar donde se encuentra el relleno, y la propia evolución experimentada en el tiempo, hace difícil la formulación de un sistema de tratamiento generalizado. Los actuales métodos de tratamiento sólo logran este objetivo parcialmente, y deben utilizarse dos o más de ellos en el proceso para superar las limitaciones que presentan los tratamientos individuales.

Otros métodos, menos convencionales, como ultrafiltración, osmosis inversa y nanofiltración han demostrado su eficiencia en la remoción casi completa de contaminantes (98-99% en el caso de osmosis inversa), obteniéndose un efluente que puede ser dispuesto en cuerpos de agua superficiales. Sin embargo, estos tratamientos implican altos costos, tanto de inversión inicial como en operación, pues la rápida colmatación de las membranas obliga a su continua limpieza y recambio en cortos períodos de tiempo.

La utilización de invernaderos presenta varias ventajas sobre el método tradicional de lagunas de evaporación: concentran la radiación solar en un espacio cerrado, aumentando la temperatura del ambiente y la velocidad de evaporación del líquido; es posible habilitar un sistema de recuperación del agua evaporada para usos posteriores, y posee un mejor control de los parámetros que afectan el proceso de evaporación (humedad relativa, temperatura, altura del líquido), así como facilidad en la

remoción del lodo resultante, y la eliminación de la exposición directa del lixiviado al medio ambiente.

2. La Radiación Solar como Fuente de Energía

La radiación solar se ha utilizado en diferentes procesos a través de la historia, como el secado de carne, frutas, y la deshidratación de otros tipos de artículos. En el caso de los lixiviados se utilizan piscinas de evaporación para disminuir su volumen, y disponer de los lodos resultantes en el mismo relleno sanitario. Sin embargo su exposición no se reduce a la radiación solar, pero también a precipitaciones, viento, contaminación desde otras fuentes como polvo y animales. Además requieren de amplias áreas para su utilización, y dado que es abierto a la atmósfera, no posee sistema alguno de retención de la radiación, volviéndolos ineficientes.

Una forma de aprovechar de mejor manera la radiación solar es mediante el sistema de invernaderos, en donde la radiación es transmitida al interior del equipo, impidiendo que vuelva a salir debido al cambio en su longitud de onda. De esta forma, la atmósfera interior se calienta, aumentando su temperatura, y facilitando el proceso de evaporación, el cual se realiza en un menor tiempo que si se encontrara al aire libre.

2.1 Proceso de Evaporación

La evaporación de líquido al interior de un invernadero funciona mediante la incidencia solar directa sobre éste. Parte de la radiación de onda corta es reflejada a la atmósfera, siendo el resto transmitido al interior del equipo. Otro porcentaje de esta energía es reflejada por el líquido, mientras que el resto es absorbida por éste último, aumentando su temperatura y emitiendo radiación de longitud de onda larga. Debido a las características del material de recubrimiento del invernadero (plástico o vidrio), la radiación de onda larga es retenida al interior del invernadero, elevando a su vez la temperatura al interior de la estructura.

Parte de la energía absorbida por el líquido es eliminada al evaporarse parte del agua al ambiente. Para reducir la humedad relativa al interior, es necesario el recambio continuo del aire, de manera que más agua pueda ser evaporada, pero permitiendo a su vez el calentamiento del mismo para permitir la evaporación.

La velocidad de evaporación está directamente relacionada con la altura del líquido, ya que el vapor de agua formado al interior del líquido escapa más rápido con alturas menores. Un problema de esto es que al mismo tiempo se trata un menor volumen de lixiviado, por lo que debe encontrarse un compromiso para el escalamiento del equipo.

3. Requerimientos en Diseño Estructural

3.1. Elementos Climáticos

Dada la función protectora del invernadero, su estructura y diseño depende en gran medida de los factores climáticos externos, los cuales pueden reducirse a cuatro formas principales: temperatura, precipitación, radiación solar y viento.

Estos factores son esenciales para el diseño estructural y la creación del microclima interno, y su determinación es necesaria independientemente de la función futura del invernadero, la cual dictará el microclima interno necesario. La combinación de ambos elementos climáticos definirá las necesidades estructurales finales.

Además se debe considerar el impacto y la necesidad de mantener ciertas condiciones interiores en el equipo, que permitan tanto la evaporación del líquido presente en el lixiviado y la capacidad de

remover esa masa del medio, procesos que se rigen principalmente por la temperatura y humedad ambiental.

3.3. Características de Construcción

Los invernaderos son estructuras ligeras en su construcción, y cuyo material de cobertura debe ser transparente para permitir el paso de la luz solar, haciéndolo sensible a las fuerzas que se presentan en el clima. La construcción debe, por lo tanto, ser capaz de resistir tanto los elementos expresados por el clima, traducidos en cargas, impactos, degradación del material, así como las cargas producidas por la misma estructura, las fuerzas en sus diversos puntos, y la forma en que distribuye esto a sus fundaciones y anclaje, permitiéndole resistir mejor.

Otra característica que afecta la dinámica de la atmósfera al interior y exterior del equipo es el diseño geométrico de la estructura, tales como altura, ancho, pendiente del techo, forma del techo, entre otros, alterando sensiblemente la forma en que los invernaderos reaccionan ante diferentes factores¹.

Los materiales utilizados en la construcción del equipo deben reunir características que les permitan enfrentar las condiciones exteriores ya señaladas, y al mismo tiempo resistir cierta corrosión del propio lixiviado. Es posible utilizar protecciones, pero estos agregados encarecerán el diseño final.

Las propiedades físicas del material utilizado en la cobertura afectan el clima que se genera al interior del invernadero, principalmente debido a la transmitancia que posee cada distinto material, determinando tanto la cantidad y tipo de luz que ingresa y sale de la estructura.

Por otro lado, las propiedades mecánicas de estos materiales influyen en el diseño estructural y comportamiento mecánico de la estructura completa.

La ventilación del invernadero tiene como función primaria el recambio del aire interior, afectando el microclima generado al interior de la estructura. Su importancia en la evaporación de lixiviados radica en el ingreso de aire fresco con menor cantidad de humedad, de manera de permitir que prosiga el proceso de evaporación, al reemplazar el aire saturado.

Existen dos fuerzas responsables de la ventilación. El viento exterior genera una distribución de presión en el perímetro de la estructura, induciendo una diferencia de presión en las aberturas de ventilación y generando el movimiento de aire. La distribución de presión depende de la geometría de la estructura, en especial la forma del techo, y debido a esto la posición de las aberturas de ventilación define el gradiente de presión que se obtenga al interior.

4. Bases Teóricas en la Generación del Clima Interno

Gracias a diferentes modelos matemáticos simulados en computadores, se ha podido apreciar que el gas al interior de un invernadero se comporta en forma similar a un tanque perfectamente agitado^{2,3}, lo que permite generar un esquema simplificado de su comportamiento, a través del cual pueden estudiarse algunas variaciones en transferencia de calor y masa.

4.1. Método de Convección y Tipo de Flujo

El principal mecanismo de transferencia de calor existente al interior de un invernadero es la convección, mediante la cual se extrae el líquido presente en los lixiviados hacia la atmósfera interna. De acuerdo al grado de ventilación interna esta convección puede ser libre o forzada, prefiriéndose conseguir la primera forma a través de diferenciales de presión y temperatura por medio de aberturas puestas estratégicamente en el diseño⁴, ahorrando de esta forma gastos en energía e implementación de equipos que requiere una ventilación forzada.

Dadas estas características, el flujo tiende también a ser turbulento, mejorando la transferencia al permitir un mayor contacto del lixiviado con aire no saturado. Estas características dependen mucho del diseño geométrico del invernadero, así como el posicionamiento general con respecto a los vientos existentes en la zona, así como la incidencia de los rayos solares sobre el equipo.

4.2. Determinación del Régimen de Transferencia de Calor

Para cuantificar la capacidad del invernadero para evaporar el líquido, es necesario determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección del lixiviado, una estimación compleja considerando la naturaleza variable del lixiviado, no sólo en el tiempo de vida del relleno sanitario, sino de acuerdo al tipo de residuo que éste recibe, que varía de localidad en localidad.

La determinación de este parámetro por medio de las características del lixiviado y el aire que lo rodea requiere una serie de experimentos exhaustivos, los cuales serían necesarios de realizar en cada caso particular, para cada relleno sanitario.

Se postula, sin embargo, que a través de métodos espectroscópicos se podrán catalogar los diferentes lixiviados en grupos de características similares, estableciéndose los diferentes parámetros necesarios en cada caso (número de Prandtl, Reynolds, Grashof, etc), permitiendo la estimación del coeficiente de transferencia, y finalmente, las necesidades estructurales del invernadero.

5. Conclusiones

La introducción de un sistema de evaporación cerrado para lixiviados permitirá mejorar la eficiencia del proceso al optimizar las condiciones del mismo. Sin embargo, se requiere establecer primeramente los criterios de construcción que permitan adaptar este equipo al nuevo uso dado, evaluando sus propias capacidades de transferencia y remoción de líquido.

Estas capacidades deben ser evaluadas en terreno, un paso a realizarse en el futuro, a través del cual busca validarse y corregirse los modelos elaborados en forma teórica, incluyendo un nuevo sistema de caracterización, con el cual se desea catalogar en diversos grupos los diferentes lixiviados provenientes de rellenos sanitarios.

Referencias Bibliográficas

- [1] Elsner B. Briassoulis D. Waaijenberg D. Mistriotis A. Zabeltitz C. Grattraud J. Russo G. Suay-Cortes R. "Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements". *Journal of Agricultural and Engineering Research*. Vol. 75. 2000. Pp. 1-16.
- [2] Udink A. "Remarks on greenhouse climate control". *Acta Horticulturae*. Vol. 106. 1980. Pp. 43-46.
- [3] Campen J. Bot G. "Determination of Greenhouse-specific Aspects of Ventilation using Three-dimensional Computational Fluid Dynamics". *Biosystems Engineering*. Vol. 84. 2003. Pp. 69-77.
- [4] Roy J. Boulard T. Kittas C. Wang S. "Convective and Ventilation Transfers in Greenhouses, Part 1: The Greenhouse considered as a Perfectly Stirred Tank. *Biosystems Engineering*. Vol. 83(2). 2002. Pp. 1-20.

Detección y cuantificación de las poblaciones hemicelulolíticas en residuos sólidos urbanos a regímenes de recirculación de lixiviados

Christian Omar Martínez-Cámara, Juan Manuel Sánchez-Yáñez, Liliana Márquez-Benavides y
Erick Alejandro Mendoza-Chávez
master.comc@gmail.com

Resumen

El manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos (RSU) es de interés energético por la producción de biogás y ecológico por el riesgo de contaminar el ambiente con lixiviados. El objetivo de este trabajo fue analizar la densidad bacteriana de la población hemicelulolítica (PHe) a diferentes regímenes de recirculación de lixiviados (LXS) en biorreactores a escala laboratorio (LBX) que simulan la digestión bacteriana anaeróbica (DBA) de los RSU de un relleno sanitario (RESA). Para la cuantificación de las PHe se utilizaron LXS enriquecidos y medios de cultivo estándar con base en el método del número más probable (NMP). Las variables respuesta fueron turbidez y cambio de pH. Los resultados mostraron que las PHe crecen constantemente independientes del régimen de humificación empleado conforme el tiempo, además las mayores lecturas en densidad de PHe se detectaron en la fase hidrolítica. El valor máximo acumulado de la densidad de PHe fue de 50.9 NMP/mL. El decremento en la densidad bacteriana de esta población fue consecuencia del consumo de hemicelulosas (HE) usadas como fuente de carbono y energía; que causó la liberación de ácidos orgánicos (AO) aumento en la turbidez y la acidificación del medio de cultivo.

602

Palabras Clave: *bacterias anaeróbicas, consumo de sustratos, densidad de poblaciones, lixiviados, polímeros vegetales*

1. Introducción

La DBA en un RESA es de interés energético y ecológico por el biogás y LXS producidos, generalmente se define en función de: LXS, del consumo de sustratos, generación biogás y otros productos metabólicos de la microbiota anaeróbica y no por los cambios en la densidad de las poblaciones bacterianas involucradas en este proceso [1], [2], [3]. La fracción orgánica (FO) que está compuesta por: celulosa 40-50%, hemicelulosas 10-12%, lignina 10-15%, algunos hidrocarburos y proteínas. Poco se sabe del efecto de la recirculación de los LXS generados por la DBA en los RSU sobre algunos de estos consorcios bacterianos involucrados en esa fase crítica de la DBA [4], [5], [6]. El objetivo de este trabajo fue cuantificar la densidad de la PHe a diferentes regímenes de recirculación de LXS, en LBX que simulan la DBA de los RSU en un RESA. Las hemicelulosas consisten de polímeros de pentosas (xilosa, arabinosa), hexosas (glucosa, manosa, galactosa) o ácidos urónicos (glucurónico, galacturónico). Son representadas principalmente por el xilano y este es el polisacárido más abundante después de la celulosa. La estructura del xilano no es homogénea y dependiendo de la fuente natural su estructura varía desde una cadena lineal hasta polisacáridos altamente ramificados. La degradación del xilano requiere de un complejo de enzimas que actúan de una manera cooperativa para convertirlo en constituyentes más simples. La corteza de los árboles y la paja contienen hasta 30% de xilano, la madera de coníferas 7-12%, la de árboles de hojas caducas 20-25% y representa hasta el 12% de la fracción orgánica de los RSU de RESA [7]. Derivado de esto es la importancia de su estudio.

2. Metodología

2.1. Diseño experimental

Para determinar el efecto de los niveles de humidificación de los LBX fueron usados 40, 60 y 80% de humedad (v/v de LBX). El ensayo se inició el día del desmonte de los LBX como se muestra en la Tabla 1. La densidad bacteriana fue determinada por NMP con 3 viales por dilución; las repeticiones y cantidad de inóculo se presentan en la Tabla 2, como medios de cultivo se utilizaron lixiviados enriquecidos y medios de cultivo estándar, la temperatura de incubación fue de 41°C, el análisis se llevó a cabo en viales de 2 ml sellados con aceite vegetal y se utilizó resazurin como indicador de la presencia de oxígeno. Se determinó pH en la matriz de los LBX el día del desmonte, todos los ensayos de detección de NMP se revisaron a los 28 días. Las variables respuestas usadas fueron turbidez y pH.

Tabla 1. Arreglo de identificación de muestras y días de desmonte para determinación de poblaciones hemicelulolíticas de RSU en LBX

Identificación de muestra	Muestreo-desmonte (día)	No. de LBX
T ₀ cobertura *	0	28
T ₀	3 (Sin desmonte)	28
T ₁	15	24
T ₂	45	20
T ₃	75	16
T ₄	105	12
T ₅	135	8
T ₆	165	4
T ₇	195	0

*Suelo de cobertura del RESA

Tabla 2. Número de repeticiones y cantidad de inóculo por nivel de humidificación para la determinación de poblaciones hemicelulolíticas en RSU en LBX

Concentración del medio de cultivo (0.9 mL)/cantidad de inóculo									
Humedad (%)	Doble/1.0 mL			Normal/0.1 mL			Normal/0.01 mL		
	Replica			Replica			Replica		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
40	x	x	x	x	x	x	x	x	x
60	x	x	x	x	x	x	x	x	x
80	x	x	x	x	x	x	x	x	x

3. Resultados

La Figura 1 muestra la dinámica de pH de los LXS producidos por reactores bajo diferentes regímenes de recirculación. Los resultados corresponden con los valores típicos de pH donde valores ácidos iniciales se recuperan para permitir el establecimiento de la fase metanogénica. Es importante señalar que esta dinámica es semejante para todos los regímenes de humedad.

La Figura 2 muestra la dinámica de densidades de PHe a diferentes porcentajes de humedad utilizando medios de cultivo estándar y lixiviados enriquecidos para el cultivo. El NMP/g para el suelo de cobertura fue de 210. Durante la hidrólisis de los RSU las PHe presentan valores de 1 – 8 NMP/mL, con valores máximos en la fase metanogénica de 13 NMP/mL, menores a lo encontrado en estudios con poblaciones celulolíticas. En la Figura 2a las PHe tienen una relación inversamente proporcional al volumen usado para recircular. En el medio de cultivo estándar al 80% de humedad las PHe detectadas fueron las más bajas con tan solo 5 NMP/mL. De igual manera, la Figura 2b muestra los resultados obtenidos al usar medio de cultivo de LXS enriquecido, de donde se observa

una mayor detección que al usar solo el medio estándar. En este caso, las mayores poblaciones detectadas pertenecían al régimen de 60% seguidas del 80 y 40%. Es interesante observar que estas dos últimas alcanzan valores similares para el día 135.

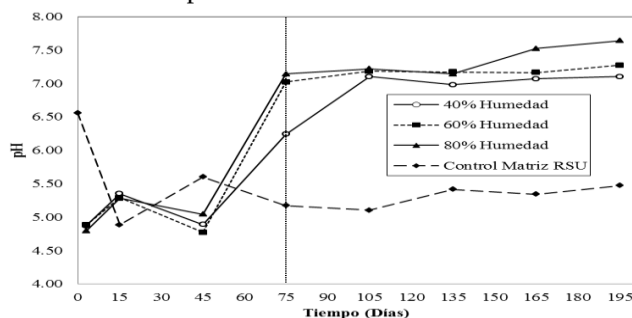


Figura 1. Dinámica del pH derivado de la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica en RSU en lixiviados de LBX a diferentes regímenes de humedad

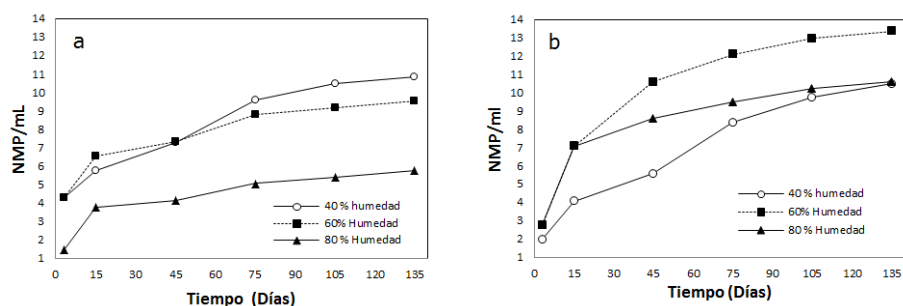


Figura 2. Comparación de acumulados de poblaciones hemicelulolíticas a diferentes porcentajes de humedad: (a) Medio de cultivo estándar (b) Medio de cultivo lixiviado enriquecido. Variable respuesta turbidez

La Figura 3 muestra las enumeraciones de PHe usando el pH como variable respuesta para el método NMP. Esta variable permitió obtener enumeraciones $\geq$ que las obtenidas por el método visual. En general, tras analizar y comparar las PHe usando ambos medios y ambos métodos de variable respuesta, las PHe del régimen del 60% se presentan en mayor cantidad, a excepción del resultado en el medio de cultivo estándar y método visual; aunque la sensibilidad de usar pH como variable respuesta respalda de manera consistente el resultado.

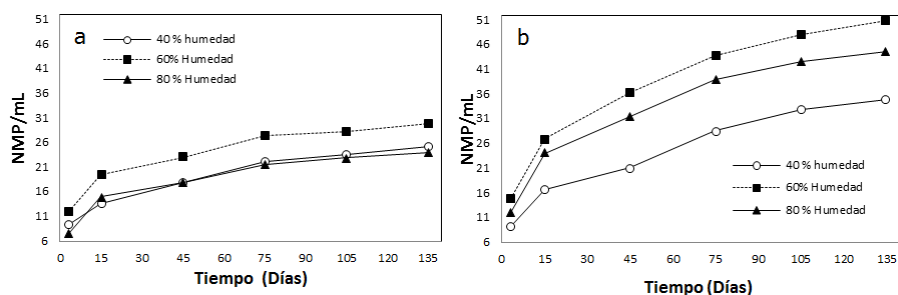


Figura 3. Comparación de acumulados de poblaciones hemicelulolíticas a diferentes porcentajes de humedad: (a) Medio de cultivo estándar (b) Medio de cultivo lixiviado enriquecido. Variable respuesta pH

4. Conclusiones

Al comparar las PHe de los diferentes regímenes de recirculación de lixiviados, se demostró que las del régimen de humedad del 60% eran mayores al enumerarse con las variables respuesta pH y detección visual del crecimiento.

Los métodos cuantificables para la medición de las variables respuesta permiten una enumeración precisa de las poblaciones en estudio.

La distribución no homogénea de la celulosa y hemicelulosas en la matriz de los LBX y su interacción física con la lignina hacen que diferentes regímenes de recirculación de lixiviados influyan la densidad de PC y PHe durante la DBA.

La información obtenida en este estudio es relevante porque permite hacer un análisis de lo que ocurre en los RESA con las poblaciones encargadas de DBA, ampliando la información de los efectos de la recirculación de LXS para interrelacionar lo aprendido con estudios relacionados como son: la producción de biogás y los cambios fisicoquímicos en los RESA.

Referencias Bibliográficas

- [1] Pohland, F.G. & Gould, J.P. 1986. Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills. *Water Science and Technology*. 18: 177–192.
- [2] Barlaz, M.A., Schaefer, D. M., and Ham, R.K. 1989b. Bacterial Population Development and Chemical Characteristics of Refuse Decomposition in a Simulated Sanitary Landfill. *Applied and Environmental Microbiology*. 55:55-65
- [3] Xian, X. & Barlaz, M.A. 1996. Enumeration of Anaerobic Refuse-Decomposing Micro-Organisms on Refuse Constituents. *Waste Management & Research*, 14: 151-161.
- [4] Dong-shen, S., Ruo, H., Guo-ping, R., Traore, I., Xiao-shen F. 2001. Effect of leachate recycle and inoculation on microbial characteristics of municipal refuse in landfill bioreactors. *Journal of Environmental Sciences*. 13: 508-513.
- [5] Palmisano, A.C., Schwab, B.S. & Maruscik, D.A. 1993. Hydrolytic enzyme activity in landfilled refuse. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 38: 828–832.
- [6] Spokas, K., Bogner, J., Chanton, J.P., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Golvan, Y.M. & Hebe, I. 2006. Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems?. *Waste Management & Research*, 26: 516–525.
- [7] Casablanca-Alarcón, E., Ríos-Manríquez N., Álvarez M.A., Terrazas-Siles E. 2009. Optimization of anaerobic thermophilic culture conditions for increasing xylanase enzyme production with encapsulated and free bacteria strains. *BIOFARBO*. 17(2): 51-59

Determinación de metales pesados en sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación

Nabila Osiris Álvarez Fragoso, María del Consuelo Hernández Berriel, Rocio Vaca Paulín, Liliana Márquez Benavides, *Jorge Lugo de la Fuente
*jlugo@uaemex.mx

Resumen

Los metales pesados (MP) forman parte de los contaminantes que contiene el lixiviado generado por la descomposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), los cuales por su toxicidad pueden causar severos problemas al ambiente. El propósito de este trabajo fue conocer el efecto de diferentes tasas de recirculación de lixiviados en la concentración de MP, así como en la matriz de residuos de biorreactores anaerobios a escala laboratorio (BrA's), para determinar la tasa que favoreciera la menor lixiviación de MP. Para ello, se montaron 20 BrA's con RSU del relleno sanitario de Pátzcuaro, Mich. Se operaron cuatro como controles y al resto se les recircularon sus lixiviados dos veces por semana, para mantener los contenidos de humedad de 50, 60, 70 y 80 % base húmeda (% Hbh) por cuadruplicado. Se dio seguimiento durante 126 días a los lixiviados producidos, analizándoles pH y metales pesados totales (MPT). A los biosólidos descargados se les determinó pH, materia orgánica (MO), MPT y metales pesados disponibles (MPD). Los lixiviados a 80 y 70 % Hbh, presentaron menor lixiviación de MP, mientras que a 50 % Hbh durante las fases de hidrólisis y acidogénesis mostraron concentraciones elevadas. Para MPT en biosólidos, Ni y Pb presentaron diferencias significativas entre las muestras y en cuanto a los MPD solo existieron diferencias significativas para Zn. Los biosólidos de todas las tasa de recirculación pueden utilizarse por su alto contenido de MO y baja concentración de MP.

606

Palabras Clave: *biorreactores anaerobios, metales, tratamiento de lixiviados*

1. Introducción

La disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) en rellenos sanitarios (RESA), en sitios controlados o en tiraderos a cielo abierto, da lugar a la generación de lixiviado y biogás, derivados de los procesos de descomposición microbiana y de los componentes de los residuos [1].

Los lixiviados contienen concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, sustancias orgánicas, nutrientes y metales pesados (MP), así como, sales inorgánicas que elevan la conductividad eléctrica y agentes infecciosos [2]. Los tipos de materia orgánica (MO) tienen influencia en la toxicidad de los MP. La interacción de las sustancias orgánicas solubles con los metales puede verse afectada por el pH, de manera que los MP tienden a disolverse de los sólidos cuando el pH decrece, y cuando se incrementa se adsorben o precipitan, pero sólo hasta cierto límite, después del cual son de nuevo solubilizados [3].

Los elementos potencialmente tóxicos pueden ser movilizados hacia el suelo, estar en posición de ser absorbidos por las plantas o ser lixiviados hacia los mantos acuíferos afectando los suministros de agua potable [4]. Los MP pueden ingresar a las redes tróficas y ocasionar en primera instancia bioacumulación y una posterior biomagnificación a través de los niveles tróficos superiores [5].

Para mitigar la contaminación al ambiente resulta imprescindible conocer las características del lixiviado generado y tratarlo. Una opción para el tratamiento de lixiviados, es su recirculación en la matriz de residuos que los generó, de manera que se reduce su potencial de contaminación y se

aceleran los procesos de degradación anaeróbica de la MO de los RSU [1], [6]. El objetivo de este trabajo fue conocer el efecto de diferentes tasas de recirculación de lixiviados en la concentración de MP en los lixiviados producidos y en la matriz de residuos (biosólidos) degradados anaeróbicamente, para determinar la tasa que favoreciera la menor lixiviación de MP.

2. Metodología

2.1 Montaje y operación de biorreactores a escala laboratorio

Se utilizaron 20 biorreactores a escala laboratorio (BrA's) construidos en PVC cédula 40 (5 cm de diámetro y 18 cm de altura). Cada BrA se cargó con 215.19 g de una mezcla de RSU previamente preparada (Tabla 1), se le colocó 32.15 g de suelo como material de cobertura (MC) y se le compactó a la misma densidad que la del RESA del Municipio de Pátzcuaro, Michoacán (600 kg/m³).

Tabla 1. Caracterización de subproductos de los RSU de Pátzcuaro, Mich.

SUBPRODUCTOS	% p/p	SUBPRODUCTOS	% p/p
Unicel	0.76	Cartón	1.07
Envase de cartón encerado	1.21	Material no ferroso	1.31
Material ferroso	1.76	Pañal desechable	1.89
Material de construcción	1.91	PET	2.67
Trapo	3.31	Vidrio	3.48
Polietileno de alta densidad	3.81	Plástico de película	4.74
Papel	5.97	Residuos de jardinería	31.86
Residuos alimenticios	34.25		
		Total	100.00

Se establecieron cinco tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. La operación inició con la adición de agua en las cantidades de 62, 124, 248 y 496 ml, con el fin de alcanzar los contenidos de humedad de 50, 60, 70 y 80 % base húmeda (% Hbh). La recirculación de los correspondientes lixiviados a cada BrA se realizó con una bomba peristáltica 2 veces por semana a 2 ml min⁻¹. Cuatro BrA's se mantuvieron como controles, sin humidificación adicional.

2.2 Determinaciones analíticas

A las muestras iniciales de RSU y MC y a los residuos descargados (biosólidos) después de 126 días de operación de cada uno de los 20 BrA's, se les determinaron pH [7], MO [8] y la concentración de los MP Ni, Pb y Zn, totales (MPT) y disponibles (MTD). Se dio seguimiento a los lixiviados producidos analizándoles periódicamente pH [9] y MPT [10].

La determinación de la concentración de MP en muestras sólidas y en lixiviados se realizó mediante un espectrofotómetro de absorción atómica Marca Perkin-Elmer, Modelo 3110.

A los resultados obtenidos se les aplicó una prueba de ANOVA y comparación de medias por Tukey, con un nivel de confianza del 95%, en el Software estadístico Statgraphics Plus 5.0®.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis de lixiviados

El pH de los primeros lixiviados producidos en todos los BrA's (Figura 1), presentaron valores ácidos (cerca de pH 5.0), los cuales fueron indicio de una dilución y arrastre importantes de ácidos orgánicos [11]. Considerando el pH de 6.5 como el término de la fase acidogénica e inicio de la fase metanogénica [12], la metanogénesis se alcanzó en relación directa a los niveles de recirculación de 80, 70, 60 y 50 % Hbh (días 97, 111, 118 y 139).

El que los lixiviados de los BrA's al 50 y 60 % Hbh hayan tenido valores de pH inferiores a los de 70 y 80 % Hbh, puede atribuirse a que los volúmenes de lixiviado recirculado a 50 y 60 %Hbh, no fueron capaces de arrastrar los ácidos orgánicos volátiles, de manera que afectaron el microambiente y retardaron el inicio de su fase metanogénica [13]. En la metanogénesis todos los BrA's con recirculación lograron la neutralidad en la semana 22, presentando diferencias significativas los pH de los BrA's al 80 % Hbh con los otros regímenes de humedad.

Las figuras 2 a 4 muestran las dinámicas de Ni, Pb y Zn, las cuales concuerdan con lo reportado por Kylefors K. & Lagerkvist [14], ya que la concentración de MP se reduce conforme los lixiviados van cambiando de acidogénicos a metanogénicos. En general los lixiviados producidos en los BrA's a 50 % Hbh presentaron las mayores concentraciones de MP entre los días 4 a 9, cuando los valores de pH eran ácidos, debido a que valores ácidos en lixiviados permiten mayor disponibilidad o movilidad de MP, lo cual es una de las características del lixiviado de un vertedero joven [15], [16].

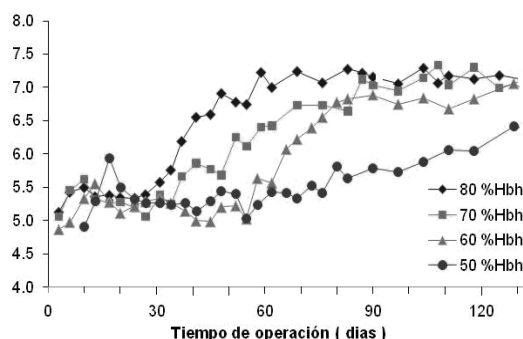


Figura 1. pH de lixiviados producidos a cuatro niveles de recirculación de lixiviados

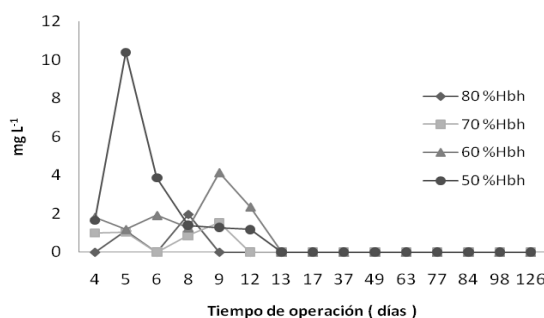


Figura 2. Dinámica de Ni en lixiviados producidos en BrA's con recirculación

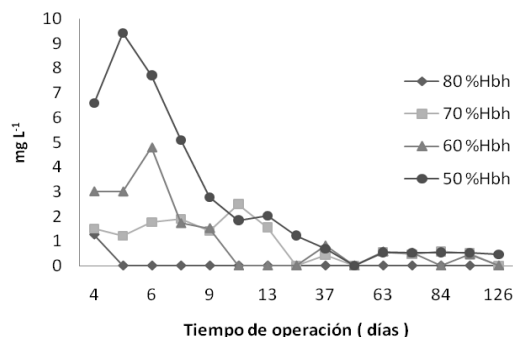


Figura 3. Dinámica de Pb en lixiviados producidos en BrA's con recirculación

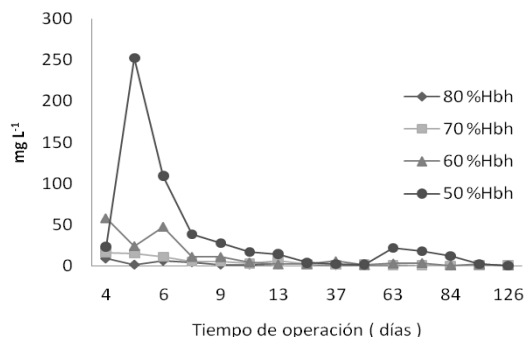


Figura 4. Dinámica de Zn en lixiviados producidos en BrA's con recirculación

Los lixiviados de la fase metanogénica presentaron menores concentraciones de MP que al principio del experimento, lo que puede explicarse en función de los procesos de sorción y precipitación, ya que los RSU que contienen suelo y MO tienen una capacidad significativa de sorción, especialmente a valores de pH neutro a básico [15]. Adicionalmente, las solubilidades de los metales con sulfuros y carbonatos son menores y, la precipitación de sulfuro es a menudo citado como una explicación para la concentración baja de MP en lixiviados [17].

3.2 Análisis de biosólidos

En la Tabla 1 las tres primeras filas muestra características de los materiales cargados en los BrA's, donde puede verse que las características del suelo afectaron las de los RSU preparados. El pH fue prácticamente neutro para todas las muestras de biosólidos descargados, independientemente de la recirculación utilizada, lo que indica la biodegradación de la MO de los RSU iniciales y el alcance de la fase metanogénica en todos los BrA's. La biodegradación también se puede apreciar en la diferencia de valores de MO entre los residuos cargados y los biosólidos, aunque entre estos últimos no se tuvo diferencias significativas en los resultados.

Tabla 1. Características de residuos cargados y descargados de BrA's

Muestras	pH	% MO	MPT mg L ⁻¹			MPD mg L ⁻¹		
			Ni	Pb	Zn	Ni	Pb	Zn
MC (suelo)	5.45	8.12	-	-	-	-	-	-
RSU (inicial)	6.04	61.51	-	-	-	-	-	-
RSU + MC	5.82	69.94	26.43 ^a	21.835 ^{bc}	43.24 ^a	-	-	-
BrA's control	6.93 ^a	57.34 ^a	35.34 ^{ab}	29.04 ^{bc}	132.83 ^a	3.22 ^a	18.76 ^a	35.16 ^c
50 % Hbh	6.97 ^a	49.41 ^a	43.64 ^{ab}	17.84 ^c	356.60 ^a	4.33 ^a	15.72 ^a	48.09 ^{bc}
60 % Hbh	7.22 ^a	53.13 ^a	38.51 ^{ab}	20.16 ^{bc}	158.00 ^a	2.44 ^a	16.32 ^a	54.11 ^{abc}
70 % Hbh	7.29 ^a	55.32 ^a	46.90 ^{ab}	53.65 ^{ab}	225.32 ^a	3.74 ^a	18.00 ^a	78.47 ^a
80 % Hbh	7.28 ^a	52.50 ^a	62.58 ^b	72.43 ^a	196.34 ^a	2.19 ^a	18.29 ^a	60.55 ^{ab}

Letras diferentes en la misma columna, denotan diferencias significativas ($p < 0.05$)

Al comparar los MPT de los residuos cargados en los BrA's (RSU + MC) con respecto a los descargados, para Ni y Pb en forma total, al 80 % Hbh mostraron ser diferentes con respecto al inicio. Para los MPD, la adición de agua presentó efecto en la concentración de Zn, entre los biosólidos resultantes de los BrA's control y los de 70 y 80 % Hbh.

Las concentraciones de MP, tienden a aumentar conforme los niveles de recirculación de lixiviados aumentan, sugiriendo que el incremento en las concentraciones de Ni, Pb y Zn, es generado como resultado de pérdida de la masa en los sitios de disposición [18], [19]. Los bajos contenidos de Ni disponible pueden deberse a que este elemento se encuentra adsorbido por los altos contenidos de MO, o bien formando quelatos solubles [20], [21], [22]. El alto contenido de MO puede favorecer la reducción del Pb y también su movilidad, atribuida a la lixiviación del metal como un complejo quelatado soluble con la MO [22],[23].

5. Conclusiones

- Los lixiviados producidos a las recirculaciones de 80 y 70 % Hbh alcanzaron la fase metanogénica, así como la neutralidad en menor tiempo y presentaron menor lixiviación de MP, lo que sugiere que fueron mejores para la estabilización del lixiviado.
- La tasa de recirculación de 70% Hbh fue mejor, en comparación con el resto de las humedades, ya que se presentó menor concentración de MP en lixiviados y biosólidos.
- El biosólido resultante del tratamiento de los RSU en los biorreactores anaerobios a las cuatro tasas de recirculación de lixiviados pueden tener un uso apropiado por su alto contenido de materia orgánica y baja concentración de metales pesados, sin provocar algún daño al ambiente.

Referencias Bibliográficas

- [1] Kiss G. y Encarnación G. “Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final”. *Gaceta Ecológica*. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe. Instituto Nacional de Ecología. Vol. (79). 2006. pp. 39-51.
- [2] Wiszniowski J., Robert D., Gorska J., Miksch K. & Weber J. “Landfill leachate treatment methods: A review”. *Environ Chem Lett*. 2006.
- [3] Bourg A. & Loch J. “Mobilization of heavy metals affected by pH and redox conditions”. *Springer- Verlag*. 1994. pp. 87-102.
- [4] Álvarez E., Mochon M., Sanchez. J. & Rodríguez M. “Heavy metals extractable form in sludge from wastewater treatment plants”. *Chemosphere* Vol. 47. 2002. pp. 765-775.
- [5] González E., Tórner A., Cruz A. & Bonilla N. “Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano”. *Rev. Int. Contam. Ambient*. Vol. 25 (1). 2009. pp. 15-22.
- [6] Reinhart D., McCreanor P. & Townsend T. “The bioreactor landfill: Its status and future”. *Waste Manage Resource*. Vol. 20. 2002. pp. 172-186.
- [7] NMX-AA-25-1984. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos solidos-determinacion del ph-metodo potenciométrico. (Documento web, último acceso Junio 2010)..
- [8] Davies B. “Loss-on ignition as an estimate of soil organic matter”. *Soil Sci. Proc*. Vol. 38. 1974. pp. 150.
- [9] NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación del pH (Documento web, último acceso Junio 2010).
- [10] SEMARNAT. 2009. (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (consultada 02.01.09). Mexican Official Norms. <<http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx?p=1>>.
- [11] Francois V., Feuillade G., Matejka G., Lagier T. & Skhiri N. “Leachate recirculation effects on waste degradation: Study on columns”. *Waste Management and Research*. Vol. 27(9). 2007. pp. 1259-1272.
- [12] Chugh S., Clarke W., Pullammanappallil & Rudolph V. “Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation”. *Waste Management & Research*. Vol. 16. 1998. pp. 564-573.
- [13] Sanphoti N., Towprayoon S., Chairprasert P. & Noparatana A. “The effects of leachate recirculation with supplemental water addition on methane production and waste decomposition in a simulated tropical landfill”. *Journal of Environmental Management* Vol. 81. 2006. pp. 27-35.
- [14] Kylefors K. & Lagerkvist A. (1997). “Changes of leachate quality with degradation phases and time” in: Proceeding of the Sixth International Waste management and Landfill Symposium, Cagliari, Italy.
- [15] Bozkurt S., Moreno L. & Neretnieks L. “Long term fate of organics in waste deposits and its effects on metal release”. *Sci. Total Environ*. Vol. 228(2). 1999. pp. 135-152.
- [16] Kjeldsen P., Barlaz M., Rooker A., Baun A., Ledin A. & Christensen T. “Present and long term composition of MSW landfill leachate: a review”. *Crit. Rev. Env.Sci.Technol*. Vol. 32(4). 2002. pp. 297-336.
- [17] Reinhart D. & Grosh C. “Analysis of Florida MSW landfill leachate quality, Florida Center for solid and Hazardous”. *Waste Management*. (1998).
- [18] Fang M. & Wong W. “Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting”. *Environ. Pollut*. Vol. 106(1). 1999. pp.83-89.
- [19] Sinan M., Demir A. & Özçaya B. “Metal concentrations of simulated aerobic and anaerobic pilot scale landfill reactors”. *Journal of Hazardous Materials, Elsevier*. Vol. 145. 2007b. pp. 186-194.
- [20] Weeb M. (1970). “The mechanism of adquired resistance to Co²⁺ y Ni²⁺ in gram positive and gram negative bacteria”. *Biochemistry Biophysics Acta*. Vol. 222. 1970. pp. 400-446.
- [21] Bernard, D.K. & Boyd, G.E. *Essential micronutrients IV. Cu, Fe, Mn and Zn*. In: *Aplied soil trace elements*. John Wiley and Sons Ltd. 1980. USA. 267-274.
- [22] Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. *Trace elements in soils and plants*. CRC Press. 1984. Florida.

[23] Cala V. & Rodríguez J. (1989). “Estudio de la contaminación por metales pesados en suelos de la Vega de Aranjuez. I y II”. *Anal. Edaf. Agrobiol.* Vol. 49(9-10). 1989. pp.189-193.

Diseño, construcción y operación de un biodigestor anaerobio tipo cúpula a escala real para la obtención de biogás

José Ramón Laines Canepa, José Aurelio Sosa Olivier, Karla Cristel Cámara Moguel, José Luis Alejandro Sánchez, Javier Ferreyro Olivares
josra_2001@yahoo.com.mx

Resumen

Una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos es el uso de biodigestores anaerobios. En 2010, se inició en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, el diseño, construcción y operación de un biodigestor anaerobio tipo cúpula. La construcción inició con el trazado y nivelación del suelo. Se levantaron cuatro taludes de tierra con forma trapezoidal constituyendo una celda de 67 m^3 . La celda se revistió con una geomembrana de PVC. En los taludes se colocaron cinco tubos, uno permite la entrada del influente, y 4 la recirculación y extracción del efluente. Sobre la celda, se instaló una geomembrana de PVC como reservorio, que toma forma cupular al llegar al nivel máximo de llenado con un volumen de 295 m^3 . A la cúpula se conectaron 4 reservorios desmontables de 3 m^3 cada uno, mediante filtros de biogás. Se comprobó la funcionalidad del biodigestor alimentándolo con 7.3 ton de material ruminal vacuno. En un tiempo de retención hidráulica de 30 días, se obtuvo un llenado máximo de la cúpula que aunado al biogás de la tercera parte de la celda, representa una producción de biogás de 312 m^3 . Se analizó la composición del biogás por cromatografía, obteniéndose para el metano y dióxido de carbono un porcentaje de 59.34 y 30.95 respectivamente y para el sulfuro de hidrógeno de 15.45 ppm. El biogás generado se quemó durante 52 horas continuas, aprovechando este potencial calorífico realizando una bioparrillada con la comunidad universitaria.

612

Palabras claves: bioparrillada, cúpula, geomembrana, metano, rúmen, residuos orgánicos

1. Introducción

La biodigestión anaerobia es una de las soluciones para el tratamiento de los residuos orgánicos y una fuente de energía renovable. La primera planta de digestión anaerobia fue construida en una colonia de leprosos en Bombay, India en 1859, desde entonces en India se han construido cientos de biodigestores. Por otro lado, también se han construido miles de digestores en China, Taiwán, Corea, Tailandia, Kenya y Sudáfrica [1], [2]. Desde el surgimiento del primer biodigestor, se han inventado y probado varios modelos de plantas de biogás con el objetivo de aumentar la eficiencia y bajar los costos de los mismos [3]. El tipo de planta de biogás a ser instalada depende de los recursos humanos, de los factores biológicos y físicos, factores de construcción y factores utilitarios. Además, se deben tener en cuenta las condiciones climáticas en la que se desea construir y la disponibilidad económica y de materia orgánica degradable. Los digestores por lotes se cargan una vez en forma total o por intervalos durante varios días. La descarga se efectúa cuando se ha degradado en su totalidad la materia orgánica y ya no se produce biogás. Los digestores por lotes son preferidos cuando se presentan problemas operativos, el más común es la carencia de personal, o cuando el residuo orgánico no se genera en forma continua. Este tipo de digestores tiene la ventaja de procesar una gran variedad de materiales. Los altos costos de generación de energía eléctrica utilizando combustibles convencionales derivados de materiales fósiles, los costos crecientes del abastecimiento de petróleo, la contaminación ambiental por su uso, sumado al costo que involucra su obtención y carácter finito, cuya extinción está prevista para este siglo, generan la necesidad de

desarrollar proyectos que utilicen energías renovables para la generación de energía eléctrica y calorífica [2]. En todos los países europeos se han construido en los últimos 20 años más de 5,000 digestores a nivel industrial. En Alemania, se cuenta con más de 2,500 plantas de biogás. En los países latinoamericanos también se están desarrollando proyectos industriales de aprovechamiento de desechos orgánicos para la producción de biogás [2]. Bolivia implementó en 2006 un programa de viviendas autoenergéticas. Este programa instaló 250 biodigestores de polietileno tubular en comunidades rurales como una alternativa para desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias de pequeña, mediana y gran magnitud [4]. En México, en el 2003 se puso en marcha el primer proyecto de generación de energía eléctrica a partir del biogás generado por la fermentación anaerobia de residuos sólidos orgánicos municipales en Salinas Victoria, Nuevo León, México. Con base en las experiencias desarrolladas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (SAGARPA), y a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), se generó la oportunidad de instrumentar en el 2006 un proyecto de aprovechamiento de biogás, en Convenio con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Consistió en establecer 9 módulos demostrativos mediante la instalación de motogeneradores accionados con biogás, para la generación de energía eléctrica; buscando superar las barreras de desconocimiento de la tecnología y lograr un efecto multiplicador de la misma. A nivel de investigación universitaria, en la universidad Earth, de Costa Rica, [5], presentan un análisis teórico donde estiman que un Biodigestor de Polietileno de 7.2 m^3 , puede producir entre 3524 y 4133 kW/año, señalan que el poder calorífico se debe a que dentro del biogás se encuentran compuestos en diferentes proporciones en volumen tales como el dióxido de carbono en un 33.2%, monóxido de carbono en un 0.1%, metano en un 60%, hidrógeno en un 1%, nitrógeno en un 0.5%, ácido sulfhídrico en un 0.1% y oxígeno en un 0.1%. [6] implementaron un sistema de generación de energía eléctrica, que permite aprovechar el biogás generado a partir de excretas de origen animal y [7], evaluaron un biodigestor de flujo continuo en la Finca Integrada Orgánica José Elías Sánchez (FIO), alimentado con heces fecales y orina humana y un digestor anaerobio plástico colapsable tipo batch ubicado en el Relleno Sanitario (RS), alimentado con lodos sépticos de las residencias estudiantiles de la misma universidad, reportan que el volumen del biogás producido no logró ser medido con total precisión. Estudios indican que 30 millones de toneladas de CH_4 son generadas anualmente por diferentes sistemas de producción animal y desechos orgánicos. Estas emisiones pueden reducirse a aproximadamente 13.24 millones de toneladas de CH_4 al año por la aplicación de sistemas de digestión anaeróbica. A nivel mundial, el uso de la biodigestión puede evitar la emisión de alrededor de 420 millones de toneladas de CO_2 y puede prevenir la emisión de 49 mil toneladas de óxidos de nitrógeno [8]. Los beneficios directos del uso de la biodigestión pueden ser estimados en base al uso del biogás como energía renovable y en la aplicación del efluente como sustituto de nutrientes aportados por fertilizantes sintéticos en la actualidad [9]. En Tabasco, México se ha generado muy poca información sobre el diseño, construcción y operación de biodigestores para la obtención de biogás. Lo anterior resulta paradójico si se considera que Tabasco es un estado del sureste mexicano donde se genera mucha materia orgánica y las características climatológicas son muy favorables para la degradación de la misma. Esta problemática permite plantear las siguientes preguntas de investigación ¿Se puede diseñar un biodigestor tipo cúpula, adaptable a las condiciones de la región? ¿Qué tipos de materiales se pueden utilizar en la construcción de los biodigestores que soporten las inclemencias del tiempo? ¿Influyen las condiciones meteorológicas en la operatividad de un biodigestor? ¿Se puede producir biogás a escala real en el estado de Tabasco? ¿Cuánto biogás se genera por tipo de residuo? ¿Cuál es la composición del biogás medido por cromatografía? Empezar a generar información local es de suma importancia. Por lo tanto el presente trabajo muestra los siguientes objetivos: diseñar un biodigestor anaerobio tipo cúpula de operación tipo Batch, construir un biodigestor anaerobio tipo cúpula utilizando como materiales básicos geomembrana y tubería de pvc y operar un biodigestor.

2. Materiales y método

El sitio seleccionado para la construcción del biodigestor es el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) de la DACBiol.

2.1 Construcción del biodigestor y reservorio de biogás

Celda. Debido a que el manto freático esta a 0.5 m de profundidad, se construyó sobre el nivel del suelo. La constituyen cuatro taludes de tierra, uno de 2 X 0.60 X 0.40 X 7.7 m ubicado al este, otro de la misma medida al oeste, un tercer talud de 2 X 1 X 0.40 X 18 m ubicado al norte y el último de la misma medida que la anterior ubicado al sur.

Construcción del biodigestor. A La celda que funciona como soporte, se le colocó un recubrimiento impermeable de geomembrana de PVC de 0.75 mm. La entrada del influente, es un tubo de PVC de 6" de diámetro, con uno de sus extremos colocado dentro de una capucha termosoldada sobre el talud ubicado al este y a una altura de 42 cm del nivel del piso, lo que permite un llenado de la celda en un 70%. El otro extremo del tubo está anclado en un registro de concreto de 1 m³. Se añadieron cuatro tubos de PVC de 6" tangencialmente al talud ubicado al oeste de la celda que permiten la recirculación y extracción de sólidos.

Construcción del reservorio. Para la instalación de la cúpula que funciona como reservorio del biogás, se utilizó el mismo tipo de geomembrana. Se soldó de manera térmica a la geomembrana que recubre la celda, con un traslape de 20 cm. En la cúpula se instalaron cuatro tubos de PVC de 2" con sus respectivas válvulas de paso. Tres que sirven para colocar manómetros de presión y tomar las muestras de biogás. El cuarto permite la extracción del biogás, y está conectado a 4 reservorios desmontables de 3 m³ cada uno, mediante filtros de limaduras de fierro, con el objeto de reducir el ácido sulfhídrico (H₂S) contenido en el biogás.

Alimentación del biodigestor. Se utiliza el material ruminal vacuno, donado por el Frigorífico y Empacadora de Tabasco, S.A. de C.V. El transporte se hace en tanques de 200 Litros con tapa. El proceso comienza con el pesado de la biomasa. Seguido del mezclado con agua en proporción 4 a 1 (agua:rumen). Y por último se introduce la mezcla al biodigestor hasta alcanzar los sellos hidráulicos.

Operación del biodigestor. Cada tercer día, se realiza una agitación de todo el sistema con ayuda de una bomba de agua autocebante de 15 H. P. a través de los tubos de recirculación y extracción de sólidos, durante un tiempo de 30 minutos

Tiempo de retención del biodigestor. 90 días.

2.2 Monitoreo

Sustrato. Cada tercer día, se toman cuatro muestras al sustrato que está dentro del biodigestor, una por tubo de recirculación y extracción de sólidos. A cada muestra, se le miden parámetros fisicoquímicos con un equipo HANNA 9828.

Biogás. Semanalmente se toman tres muestras de biogás, en bolsas de Tedlar de 10 litros. Estas muestras se envían al laboratorio del complejo Procesador de Gas (CPG) Cactus 1 de PEMEX, donde Se determina la composición del biogás utilizando cromatografía de gases.

3. Resultados

En la figura 1, se muestra el biodigestor, al fondo se observan los 4 reservorios desmontables y en frente, los tubos de recirculación y extracción de sólidos.



Figura 1. Características del biodigestor tipo cúpula

En la tabla 1, se muestran las características generales del biodigestor construido en la DACBiol.

Tabla 1. Características del biodigestor

Características	Unidad de medida
Volumen total de la celda	67.6 m ³
Volumen de llenado al 70%	47.3 m ³
Relación másica (agua/sustrato)	4:1
Producción de Gas Teórica [10]	6625 m ³
Tipo de Operación	Por Lotes o Tipo Bach
Tiempo de retención de diseño	90 días
Temperatura promedio anual de Tabasco	27°C
Vida útil del Proyecto	10 años
Costo del Proyecto	100,000 MN.

En la tabla 2 y 3, se muestra los parámetros fisicoquímicos del sustrato y la composición del biogás.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del sustrato

Parámetros	Promedios		
	30 días	60 días	90 días
Temperatura promedio	28.48°C	30.72°C	32.88°C
pH	6.47	6.99	7.14
Oxígeno disuelto	0.09 ppm	0.22 ppm	0.31ppm

Tabla 3. Composición del biogás

Composición del biogás	Concentración		
	30 días	60 días	90 días
CH ₄	59.34 %	66.18 %	62.89%
CO ₂	30.95 %	30.06 %	31.25%
N ₂	7.35 %	3.27 %	5.275%
O ₂	2.30 %	0.47 %	0.886%
H ₂ S	15 .00 ppm	16.58 ppm	16.38ppm

La temperatura del proceso, es mayor a la temperatura promedio del estado.

Los valores encontrados son mayores para el metano y menores para el dióxido de carbono, según lo reportados por otros autores [5], aunque estos manejan excrementos frescos.

4. Conclusiones

El presente trabajo, permite concluir que se puede adaptar y operar un biodigestor tipo cúpula a las condiciones de la región. El pvc, es un material que se puede utilizar en la construcción de los biodigestores y soporta las altas temperaturas. Si hay influencia de las condiciones meteorológicas en la operatividad de un biodigestor, ya que cuando hay altas temperaturas el biodigestor toma mayor presión. Tabasco, es una región donde la producción de biogás se puede dar por las grandes

cantidades de biomasa disponible. La composición del biogás por cromatografía es de 66.18 para el metano, 30.06 para el dióxido de carbono y 16.58 ppm para el ácido sulfhídrico.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP), a la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, al Complejo Procesador de Gas Cactus de Pemex Gas y Petroquímica Básica y a la Unión Ganadera Regional de Tabasco por los apoyos económicos y facilidades otorgadas para la ejecución de este proyecto de investigación.

Referencias Bibliográficas

- [1] Dias E., Kreling JC. Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. Tesis licenciatura. Universidad EARTH. 2006. Guácimo, Costa Rica. Pp 91.
- [2] Moncayo G. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y planta de biogás. Manual práctico de diseño. Aqualimpia Beratende Ingenieure. 2008. Pp. 763.
- [3] Kaiser F, Bas F, Gronauer A. Producción de biogás a partir del guano animal: el caso de Alemania. Agronomía y Forestal UC, 16 (4): 2002.Pp 4-8.
- [4] Campero R O. Programa “Viviendas autoenergéticas” en Bolivia. Una nueva forma de ver el futuro energético-ambiental del país en el área rural. Residuos. 103: 2008. Pp. 74-79.
- [5] Aguilar FX, Botero B R. Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. Tierra tropical. 2(1) 2006. Pp. 24.
- [6] Quesada R, Salas N, Arguedas M, Botero R. Generación de energía eléctrica a partir de biogás. Tierra Tropical. 3 (2). 2007. Pp. 139-147.
- [7] Servian PL, Martínez E, Botero R. Evaluación del tratamiento anaeróbico de aguas residuales ordinarias de la Universidad EARTH para su aprovechamiento energético. Tierra Tropical. 5(1). 2009. Pp 67-73.
- [8] Kumar, M.; Humar, S.; Poonia, M.P. Methane, carbon dioxide and nitrous oxide reduction through the application of biogas technology. Indian Journal of Environmental Health 42 (3). 2000. Pp. 117-120.
- [9] Meynell, P.J. Methane: Planning a Digester. Prism Press. Dorchester, GB. 1982. Pp. 163.
- [10] Tchobanoglous G, Theisen H, A. Vigil S. Gestión integral de residuos sólidos. Volumen II. 1ª Edición, 1998, Editorial Mc Graw Hill. España. Pp 1105.

Efecto de la densidad poblacional sobre el tamaño de las lombrices *eisenia andrei*, y la biomasa total, para el tratamiento de estiércol bovino

Francisco R. Bonive A.; G. Bianchi Pérez³; M. Cabeza; A. L. Medina¹ & José Runfolá⁴.

bonivefrancisco@ula.ve

Resumen

La tasa de crecimiento individual de las lombrices del género *Eisenia* depende tanto de las características ambientales en las que se desarrolla, como de la calidad de alimento suministrado y la densidad poblacional. Con el objeto de determinar el efecto de las altas densidades sobre el tamaño alcanzado por *E. andrei* en el tratamiento de estiércol bovino, se procedió a colocar de una a cinco lombrices, de una semana de edad en frascos de 120 ml que contenían 20 g de estiércol bovino homogeneizado. Al cabo de los 45 días se determinó el peso promedio de los individuos y la biomasa total de lombrices por tratamiento. Dado que la biomasa total observada en los cinco tratamientos estudiados no difiere significativamente, puede concluirse que a partir de 20 g estiércol homogeneizado, se puede producir 734 ± 34 mg de lombriz roja, *E. andrei*, en 45 días, lo que equivale a una tasa de conversión alimenticia superior al 3,5 %, es posible obtener 50 kg de biomasa por 1 t de sustrato.

Palabras claves: lombriz, *eisenia andrei*, estiércol bovino, tratamiento

617

1. Introducción

Diversos autores han estudiado los efectos denso dependiente sobre el crecimiento de poblaciones animales ([1], [2], [3] y [4]) y sobre la tasa de crecimiento individual [5]. Se han descrito efectos tan variados como los mecanismos compensatorios (tendencia general de la curva de crecimiento a recuperar sus características normales después de un periodo adverso), producto de la competencia por alimento y espacio, la mortalidad y la depredación, hasta los efectos depensatorios, efecto de Allee (la reproducción y la supervivencia de una población, es proporcional a la densidad poblacional), propios de grupos reproductivos, supervivencia de juveniles dependiente de la agregación, entre otros.

Tanto la respuesta poblacional como la tasa de crecimiento de las lombrices del género *Eisenia* dependen en buena medida de la densidad [2], [4] y [6], así como de la calidad y cantidad de alimento disponible y de las condiciones ambientales [7], [8], y [6].

En este trabajo se exploró el efecto de la densidad poblacional sobre la biomasa total y el tamaño alcanzado por la *Eisenia andrei* al cabo de 45 días, alimentándola exclusivamente con estiércol vacuno homogeneizado.

2. Metodología

En este ensayo se evaluó la tasa de crecimiento individual de *Eisenia andrei* en estiércol vacuno secado y homogeneizado por molienda, durante 45 días, cuya composición proximal parcial del sustrato empleado fue determinado en los laboratorios de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis de la Universidad de los Andes aplicando la metodologías de análisis AAOC 2000, que se muestra a continuación (ver tabla 1).

Tabla 1. Composición proximal (expresada en peso seco) del estiérco vacuno homogeneizado empleado en este ensayo como sustrato.

Cenizas (%)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	pH
8,91 ± 0,3	2,28 ± 0,06	33,96 ± 0,05	7,4

[9]

Diseño experimental se desarrollo de la siguiente manera, en 50 frascos de 120 ml se colocaron 20 g de estiérco vacuno homogeneizado por medio de un secado preliminar durante 48 horas con la sucesiva molienda de material, luego fue rehidratado al 80% aproximadamente llegando a el potencial capilar del sustrato. Se manejo el material de esta manera porque con ensayos anteriores la variabilidad del peso entre muestras con el mismo número de lombrices con el sustrato de estiérco fresco eran muy alto, por consiguiente el error absoluto de los promedios daba muy alto, así que se decidió procesar el sustrato de esta forma.

Después se colocaron para cada 10 de ellos nombrados desde la A hasta la letra J la cantidad de 1, 2, 3, 4 o 5 lombrices respectivamente, de una semana de vida, a partir de la eclosión previa de los capullos fértiles de lombrices del genero *Eisenia andrei* alimentadas con estiérco. El ensayo se realizó a una temperatura media de $20,1 \pm 0,2$ °C, en oscuridad.

Al cabo de 45 días se procedió a comparar la biomasa total de lombrices y el peso promedio de los individuos en cada frasco obtenido a partir de la pesada en el laboratorio de Alimento del Departamento de Ciencias de los Alimentos de la Facultad de Farmacia de Bioanálisis, por medio de una balanza analítica de de 0,0001 g. luego con esta data de definieron las curvas de biomasa total obtenida sumando todas las masas de los frascos y la de los promedios de las masas de cada 10 repeticiones.

3. Resultados

A continuación se presenta los resultados obtenidos en esta experiencia, en la tabla 2 y en el gráfico 1, después de 45 días transcurridos. En la Figura 1 se puede observar la biomasa total de lombrices al cabo de 45 días de ensayo a cinco densidades iniciales, como también sobrepuesta el peso promedio de las lombrices a los 45 días del estudio, en cinco densidades diferentes. Por regresión lineal las líneas de tendencias de estas curvas se ajustaron mejor a polinomios de 2do grado, cuyas expresiones son:

$Y = -0,0193X^2 + 0,2018X + 0,01784$ con un factor de correlación de 0,9991, y $Y = 0,0121X^2 - 0,1247X + 0,4661$ con un factor de correlación de 0,9939 respectivamente.

Tabla 2: valores de los pesos de la biomasa resultante para cada frasco y repetición.

Frasco Nº Ind.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,3567	0,3453	0,3456	0,3602	0,3465	0,3561	0,4102	0,3534	0,3497	0,3601
2	0,5128	0,5054	0,4989	0,5200	0,5056	0,5123	0,5245	0,5161	0,5078	0,5111
3	0,6231	0,6034	0,5993	0,6121	0,6344	0,6032	0,6234	0,6102	0,5678	0,6108
4	0,6745	0,6892	0,6451	0,6760	0,6898	0,6784	0,6867	0,6756	0,6734	0,6875
5	0,7121	0,7078	0,7034	0,6983	0,7323	0,7105	0,6999	0,7045	0,7012	0,7103

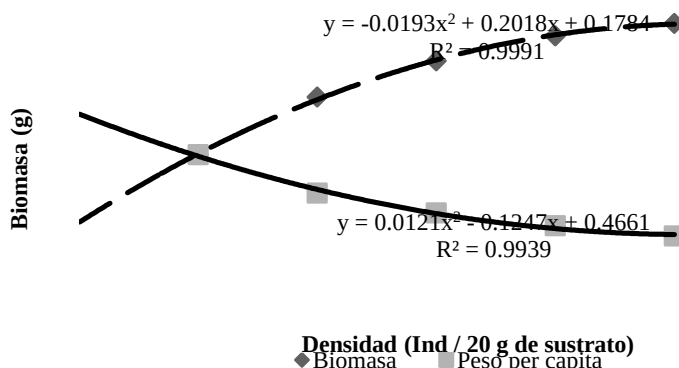


Figura 1: Efecto de la densidad poblacional sobre el tamaño de las lombrices y la biomasa total.

4. Discusión

Del la figura 1 se puede observar que el peso promedio de las lombrices que se encuentran a baja densidad, es decir un individuo cada 20 g de sustrato, es similar al reportado por Hernández en su trabajo [6] durante un periodo similar, en ensayos realizados a una temperatura promedio de 31 °C. Este valor es significativamente superior al de los tratamientos con mayores densidades, lo que demuestra un efecto denso-dependiente sobre el crecimiento individual de las lombrices *E. andrei*, esto se puede notar claramente en el punto de corte entre las dos curvas. Como lo señala Hernández [6] donde resaltar “que la biomasa está influenciada por la densidad de población, a mayor densidad menor biomasa (Reinecke y Viljoen, 1990), por lo tanto es posible que los resultados observados varíen al aumentar la densidad”. Siendo correcta esa suposición, y podemos validarla a partir de la figura1, La ecuación de regresión no lineal que mejor se ajustó para describir el efecto denso-dependiente corresponde a un modelo polinomial de 2do grado, de igual manera la curva del total de la biomasa.

En ambas curvas se nota una tendencia asintótica para mayores densidades tanto para la biomasa total como para el promedio por individuos, por consiguiente se puede decir que a mayor densidades poblacional no hay mas crecimiento de la biomasa, pero esto requiere la continuación de un próximo trabajo más profundo y un mayor número de ejemplares para lograr realizar cálculos estadísticos más precisos.

De estos resultados se pudo obtener los siguientes valores numéricos; como lo máximo de biomasa producido en 20 g de sustrato de estiércol bovino fue de $0,708 \pm 0,007$ g lo que equivale a una taza de conversión alimenticia igual al 3,5%, y la mejor biomasa se obtiene cuando existe un individuo por cada 20 g de sustrato a un peso promedio de 0,350 g; se puede decir, 17,5 kg de biomasa por t de estiércol bovino ambos expresado en peso fresco.

5. Conclusiones

Del trabajo realizado se puede concluir lo siguiente.

La biomasa total observada en los cinco tratamientos estudiados difiere paulatinamente, puede concluirse que la biomasa de la lombriz está influenciada por la densidad poblacional de una manera inversamente proporcional, es decir, a mayor densidad menor biomasa.

Al momento de sembrar o incubar un sustrato de estiércol bovino se pueden utilizar aproximadamente 50 lombrices por kilogramo de sustrato como densidad inicial. Se hace necesario realizar una nueva experiencia con mayor cantidad de repeticiones de tal manera de tener más datos

para la obtener mejores estadísticos que permitan visualizar mejor el comportamiento denso-dependiente.

Referencias Bibliográficas

- [1] Eisemberg, R.M., "The regulation of density in a natural population of the pond snail, *Lymnaea elodes*". *Ecology*, 47, 1966: 889-906.
- [2] Graff, O. "Gewinnung von Biomasse aus Abfallstoffen durch Kultur des Kompostregenwurms *Eisenia foetida* (Savigny 1826)". - *Landbauforschung Volkenrode* 24, 1974: 137-142.
- [3] Courchamp F., T. Clutton-Brock and B. Grenfell. "Inverse density dependence and the Allee effect". *Trends in Ecology & Evolution* 14(10), 1999: 405-410,
- [4] Neuhauser, E.; R. Hartenstein and D.L. Kaplan. "Growth of the earthworm *Eisenia foetida* in relation to population density and food rationing". *OIKOS* 3, 1980: 93-98.
- [5] Mayoral, A.G., A. García, J. Perea, R. Martín, J. Martos, R. Acero y F. Peña. "Efecto de la densidad de población sobre el tamaño del caracol *Helix aspersa* Müller." *Arch. Zootec.* 53, 2004: 379-382.
- [6] Hernández, J.A., N. Ramírez, B. Bracho, y A. Faría, "Caracterización del crecimiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.), bajo condiciones de clima cálido". *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 25, 1999:139-147.
- [7] Tsukamoto, J. and Watanabe, H. "Influence of temperature on hatching and growth of *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae)". *Pedobiologia* 17, 1977: 338-342.
- [8] García, M., F. Mariño, y S. Mato. "Effect of diet on growth and reproduction of *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Lumbricidae) reared in individual cultures". *Pedobiologia* 43, 1999: 267-275.
- [9] AOAC. *International official methods of analysis*. 16° edición, quinta revisión; Volumen 1, 2001: United States of America. Capítulo 4 página 25-26, capítulo 32 página 1-12.

Evaluación de la eficiencia de un tratamiento fisicoquímico para lixiviados de un sitio de disposición final de residuos sólidos utilizando un coadyuvante orgánico

Emmanuel Pérez Zepeda, Guillermina Gómez Beltrán, Ma. Guadalupe Martín del Campo Sánchez,
Victor Pacheco Salazar, Ma. Guadalupe Macedo Miranda
pezemm@yahoo.com.mx

Resumen

Los tratamientos fisicoquímicos son una opción para el manejo y tratamiento de lixiviados generados en vertederos de residuos sólidos urbanos. En el presente proyecto, se evaluó la eficiencia de un tratamiento fisicoquímico, utilizando una sal metálica como coagulante-floculante (sulfato de aluminio) en combinación de un coadyuvante orgánico (almidón de papa) valorándose dicha eficiencia mediante el porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el color. Se evaluaron tres tratamientos utilizando como coadyuvantes: policloruro de aluminio, almidón de papa y un blanco. El sulfato de aluminio fue utilizado como coagulante-floculante principal. Los resultados obtenidos muestran el 66% de remoción de la DQO con el almidón de papa cuya dosis idónea se compone de 100 mg l⁻¹ de sulfato de aluminio mezclado con 25 mg l⁻¹ de almidón de papa comparado con el 70 % de remoción con el policloruro de aluminio sin existir diferencias significativas entre los tratamientos. A la par, se estimó el volumen de lixiviados generados anualmente en el vertedero de residuos a través de un balance hídrico, utilizando el software Hydrologic Evaluation of Landfill Performance 2.2. Con ello, se obtuvo el análisis costo beneficio del tratamiento propuesto por m³ de lixiviado generado en el tiradero a cielo abierto de Mexicaltzingo, Estado de México. Además, se propone el uso como mejoradores de suelo, de los lodos procedentes del tratamiento de lixiviados, como alternativa para la disposición final de los mismos.

Palabras Clave: *balance hídrico, coagulación-floculación, HELP*

1. Introducción

Los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos no controlados se convierten rápidamente en una fuente de generación de lixiviados, líquidos que se forman por la reacción y arrastre de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos [3], tornándose en una fuente potencial de contaminación hacia los mantos freáticos, debido a que algunos compuestos tóxicos pueden migrar en el subsuelo y alcanzar la zona saturada. Durante la infiltración no controlada, los lixiviados transportan una gran variedad de contaminantes en el acuífero de aguas subterráneas en las zonas circundantes y causa gran impacto ambiental [2]. En la última década se ha investigado sobre tratamientos para lixiviados utilizando productos inorgánicos y orgánicos en procesos fisicoquímicos [5], además se han utilizado combinaciones de métodos fisicoquímicos (coagulación-floculación y ozonificación) para hacer más eficiente el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios [5]. [5].

Los almidones tienen un número enorme de posibles aplicaciones: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente anti-envejecimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante [4]. Al ser ligantes pueden ser considerados como buenos floculantes en un tratamiento fisicoquímico y disminuir costos comparado con los floculantes comerciales. Es por ello que el objetivo del trabajo es evaluar la

eficiencia del proceso de coagulación-floculación utilizando una sal metálica de aluminio en conjunto con almidón de papa como coadyuvante orgánico, para establecer la propuesta de tratamiento de los lixiviados generados en el sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos del municipio de Mexicaltzingo, Estado de México.

1.1 Zona de estudio

La mayoría de los municipios del Estado de México han depositado los desechos sólidos en forma inadecuada y por tanto han impactado en forma negativa al ambiente. Ejemplo claro es el municipio de Mexicaltzingo, el cual deposita los residuos sólidos generados por su población, en sitios que no cumplen con las especificaciones de un relleno sanitario. El municipio de Mexicaltzingo se localiza entre los paralelos 19° 11' 43" y los 19° 13' 15" de latitud norte, y entre los meridianos 99° 33' 05" y 99° 37' 02" de longitud oeste. El municipio cuenta con una extensión territorial de 12.20 kilómetros cuadrados.

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca. El procedimiento a seguir fue el siguiente.

2.1 Muestreo

Se realizó el muestreo en el vertedero de Mexicaltzingo dentro de la laguna de lixiviados de acuerdo a la NMX-AA-003-1980, se tomaron 9 puntos de muestreo, 5 en el área perimetral y 4 en el centro de la laguna.

2.2 Prueba de jarras y análisis

Las muestras fueron caracterizadas y sólo se analizaron los parámetros de pH (NMX-AA-008-SCFI-2000), turbiedad (NMX-AA-038-SCFI-2001), color (NMX-AA-045-SCFI-2001), DQO (NMX-AA-030-SCFI-2001) y alcalinidad (NMX-AA-036-SCFI-2001). En el laboratorio realizaron pruebas de prueba de jarras en el equipo Jarttester, marca PHIPPS & BIRDTM, modelo PB 700, con un volumen de muestra de lixiviado de un litro, a una velocidad de 150 rpm min⁻¹ durante 50 segundos para la mezcla rápida, seguido de una mezcla lenta de 15 rpm durante 20 minutos.

2.3 Diseño de experimento

El experimento constó de dos tratamientos, utilizando sulfato de aluminio como coagulante principal en dosis de 90, 100 y 110 mg L⁻¹ y como coadyuvantes policloruro de aluminio y almidón de papa en dosis de 25 mg L⁻¹, además de un testigo (Tabla 1). Se realizó una prueba estadística ANOVA para comparación de medias entre los tratamientos con una confiabilidad del 95% y una prueba de tukey para comparación entre las medias, utilizando el software StatGraphics plus.

Tabla 1. Tratamientos y combinaciones para prueba de jarras

Tratamiento	Coadyuvante	Coadyuvante en mg L ⁻¹	Sulfato de Aluminio en mg L ⁻¹		
A	Ninguno	-----	90	100	110
B	Almidón de papa	25	90	100	110
C	Policloruro de aluminio	25	90	100	110

3. Resultados, Análisis y Conclusiones

Podemos apreciar los resultados de la prueba de color verdadero (Figura 1) de los tratamientos propuestos, siendo que el tratamiento con policloruro de aluminio presentó una eficiencia del 69%, mientras el tratamiento con almidón alcanzó un 62 %. Ambos tratamientos no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$).

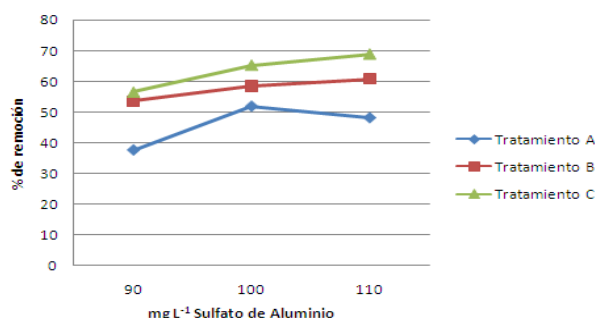


Figura 1. Porcentaje de remoción de color verdadero de los tratamientos

En el caso de la turbiedad (Figura 2) el tratamiento más eficiente es el testigo (sin coadyuvantes) el cual alcanzó una remoción de hasta el 55 %, existiendo diferencias significativas ($p<0.05$) con respecto a los tratamientos con policloruro de aluminio y almidón de papa los cuales alcanzaron eficiencias de 43 y 40 por ciento respectivamente.

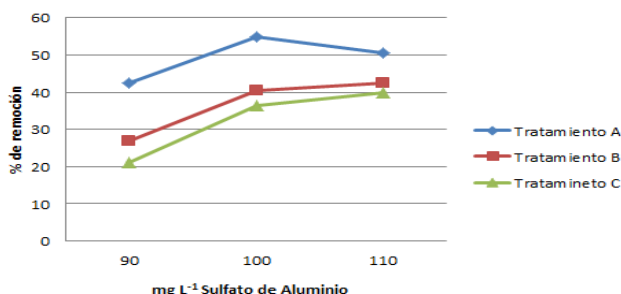


Figura 2. Porcentaje de remoción de turbiedad en los tratamientos

En la medición de los parámetros de DQO (ver figura 3) se obtuvieron eficiencias de remoción de hasta el 70% con el policloruro de aluminio, seguido del tratamiento con el tratamiento de almidón de papa (66%), no existiendo diferencias significativas ($p>0.05$) entre ambos.

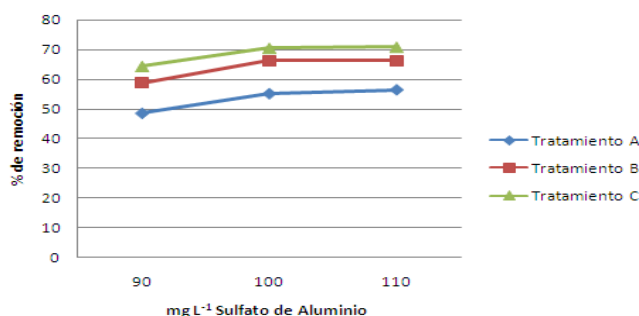


Figura 3. Porcentaje de remoción de DQO en los tres tratamientos

Debido a las eficiencias de remoción de los parámetros elegidos, la dosis idónea para el tratamiento de lixiviados en el tiradero a cielo abierto del municipio de Mexicaltzingo Edo. De México es de 100 mg L⁻¹ del tratamiento con sulfato de aluminio con una dosis de 25 mg L⁻¹ de almidón de papa

como coadyuvante orgánico. La dosis es con base en el análisis estadístico donde a pesar de ser el tratamiento con policloruro de aluminio el de mayor eficiencia, en cuanto a remoción de color y DQO, no se tienen diferencias significativas ($p>0.05$) con el almidón de papa, siendo éste tratamiento más económico y sin generar un impacto mayor por contaminación de aluminio en el ambiente.

3.1 Modelación del software HELP

Con los datos de la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua con clave 76675, se calcularon los siguientes datos:

Precipitación sobre el tiradero de Mexicaltzingo = 19,868.48 m³/año

Evapotranspiración sobre el tiradero = 2,552.3 m³/año

Escurrecimiento sobre el tiradero = 3,403.07 m³/año

Infiltración sobre el tiradero = 13,913.11 m³/año

De acuerdo con la modelación, se tiene un estimado de 0.4251 m³, multiplicado por el área del tiradero (23,200 m²) tenemos un total de 9,862.32 m³ por año.

3.2 Generación de lodos por tratamiento

La generación de lodos obtenido por el tratamiento con almidón de papa es 20.9 metros cúbicos en base seca, los cuales se pueden disponer en suelo agrícola de acuerdo a la formula europea para disposición de biosólidos con contenido de metales pesados, pueden ser depositados en una superficie de 10,400 metros cuadrados al año durante un periodo de 10 años, con la finalidad de evitar la biodisponibilidad del aluminio (por el sulfato de aluminio adicionado) presente en los lodos, ya que pueden ser causa de la acidificación del suelo e inhibidor del crecimiento de las plantas.

La dosis idónea para el uso del almidón de papa con un costo de \$1.31 pesos mexicanos por metro cubico, así que el margen de inversión para el tratamiento es de \$12,949.23 a \$18,267.91 por año (Tabla 2).

Tabla 2. Costo en pesos mexicanos cada tratamiento por metro cubico

mg L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃	90	100	110
Tratamiento Testigo	0.73	0.81	0.89
Tratamiento /almidón	1.23	1.31	1.39
Tratamiento /policloruro	1.28	1.36	1.44

4. Conclusiones

El tratamiento fisicoquímico con sulfato de aluminio en combinación de almidón de papa como coadyuvante, es una opción viable, económica y con porcentajes de remoción aceptables para poder seguir con un tratamiento terciario avanzado que permita disponer adecuadamente a los lixiviados generados en el tiradero a cielo abierto del municipio de Mexicaltzingo Estado de México.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT: clave FECYT-2009-C02-01) por el apoyo financiero para la realización de este proyecto.

Referencias Bibliográficas

- [1] Arboleda V. J. (2000). *“Teoría y práctica de la purificación del agua”*. Tomo I, 3ª ed. Mc Graw Hill, 21-84 y 164-197
- [2] Chang, S. “Prediction of leachate flow-rate in a MSW landfill site using neural networks method”. *Journal of Soil Waste Technology and Management*. Vol 35.(2). 2009.pp. 104-114
- [3] Hernández-Berriel, Ma. C., L. Marquez-Benavides, M. del C. Mañón-Salas, y J. C. Orantes-Avalos (2008). *Estudio de la Degradación Anaerobia de Residuos Sólidos Urbanos y en su fracción Orgánica a Diferentes Regímenes de Recirculación de Lixiviados. Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales Residuos*. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (AIDIS). Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales A.C. (FEMISCA), y SMISA. De Cd. De México.
- [4] James N. BeMiller, R. Lester W. (2009). Starch: *“Chemistry and Technology”*. Potato starch: Production, Modifications and Uses (3.ª edición). Academic Press. pp. 511-539. ISBN978-0-12-746275-2.
- [5] LainesCanepa J. R., GoñiArévalo J.A., Howard Adams S., Camacho Chui W., (2008). *“Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario”*. *interciencia*, 33.(1): pp. 22-28

Evaluación de la generación de lixiviados en pacas impermeabilizadas de RSU. Experimento a gran escala

Pilar Tello Espinoza, Georgina Fernández Villagómez
ptello@hpambiental.com

Resumen

La investigación fue realizada en 15 meses y tuvo como objetivo verificar si se formaban lixiviados en pacas con residuos sólidos urbanos, impermeabilizadas con polietileno de baja densidad (LDPE) de 1 tonelada promedio de peso, y de 950 kg/m³ de densidad, en condiciones similares a las que se darían si se implementase el sistema en México. Se desarrollaron dos ensayos, el primero con pacas impermeabilizadas y el segundo encapsulando con polietileno de alta densidad (HDPE) una de las pacas impermeabilizadas, para verificar si a una impermeabilización mayor el comportamiento del lixiviado varia. En ambos casos se observó la formación del lixiviado y se midió pH, DQO y AGV en lixiviados y humedad de los residuos, además de las condiciones atmosféricas de la zona. Los resultados indicaron que se pudo medir lixiviado en 3 de las 13 pacas impermeabilizadas y en las demás se formó lixiviado pero no se pudo medir por la evaporación. Sin embargo la paca encapsulada generó lixiviado con valores de DQO de 30,588 a 44,791mg/l, los AGV se presentaron a partir del 5° mes con valores de 14,103 mg/l en promedio. El pH de la paca encapsulada se mantuvo entre 7.2 a 8 y se observó de manera general que a partir del 12° mes se presentaron condiciones de la fase metanogénica. Las pacas impermeabilizadas generaron pequeñas cantidades de lixiviado que con las justas permitían tomar la muestra.

Palabras Clave: AGVs, digestión anaerobia, DQO, pH.

1. Introducción

La generación de los lixiviados en los sitios de disposición final es uno de las consecuencias de la digestión anaerobia que más retos provoca, por la alta concentración de materia orgánica que tienen. La disposición final con pacas impermeabilizadas es una técnica de disposición que ha sido evaluada anteriormente con residuos que tienen menos del 50% de contenido de materia orgánica, reportando inhibición de la descomposición anaerobia. La investigación tuvo como objetivo evaluar la generación de lixiviados en pacas de residuos sólidos urbanos impermeabilizadas con polietileno de baja densidad (LDPE) de 1 tonelada promedio de peso, con residuos sólidos urbanos (RSU) y de 950 kg/m³ de densidad, en condiciones similares a las que se darían si se implementase el sistema en México. Se desarrollaron dos ensayos, el primero con pacas impermeabilizadas y el segundo encapsulando con polietileno de alta densidad (HDPE) una de las pacas impermeabilizadas. En ambos ensayos se midió pH, DQO y AGV en lixiviados y humedad de los residuos, además de las condiciones atmosféricas de la zona.

Las pacas fueron colocadas sobre geomembrana de alta densidad para retener el lixiviado que pudiera salirse de las pacas.

2. Resultados

De las 13 pacas impermeabilizadas sólo 3 pacas generaron lixiviados a los que se les pudo tomar una muestra representativa, las demás pacas mostraban manchas en el piso con pequeñas cantidades de lixiviados que no permitían que se tome una muestra, por lo tanto los resultados que se muestran

son solo los que fueron tomados desde el interior de las pacas. La paca que fue encapsulada presentó lixiviados antes y durante todos los meses que estuvo encapsulada.

La precipitación pluvial de la zona fue medida a través de una Estación Meteorológica inalámbrica marca DAVIS modelo Wireless Vantage Pro 2 con Sensor de radiación solar con soporte marca DAVIS y software utilizado es el Weather Link 5.7.

La medición del pH se inició el día de la creación de las pacas obteniendo un pH de 5. Los valores de pH del lixiviado obtenido en las pacas impermeabilizada y la paca encapsulada fueron similares a partir del día 200 encontrándose en el rango de 7 a 7.7 (Ver figura 1), considerando así que se está en la fase metanogénica ya que según [1] el pH de los lixiviados en la fase metanogénica se encuentran entre 6.8 y 7.5.

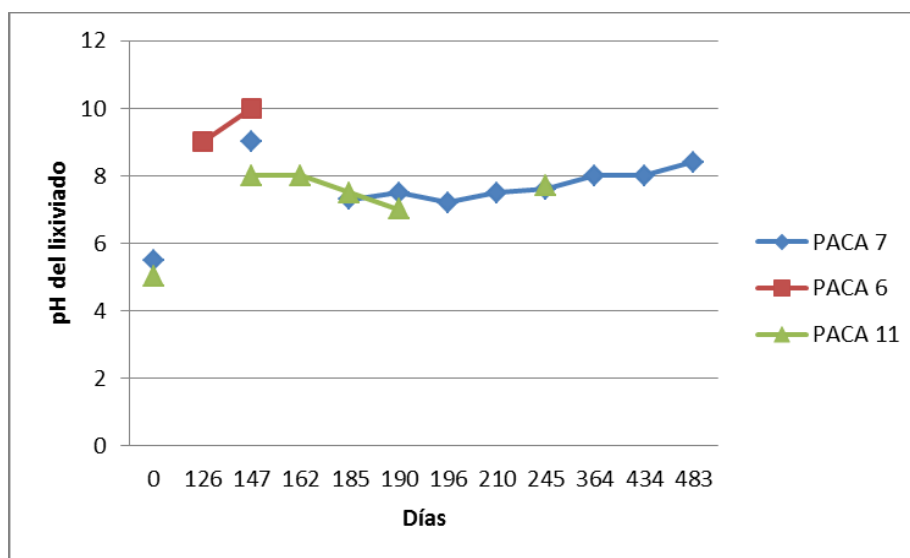


Fig. 1. Comportamiento del pH de los lixiviados de las pacas con LDPE y HDPE.

La DQO de los lixiviados se encuentran en rangos de 20,000 a 80,000 mg/l y los valores característicos de DQO comúnmente son mayores de 20,000 mg/l [2], sin embargo otra investigación encontró que densidades mayores de 800 kg/m³ y humedad mayor de 49% provocan valores elevados de DQO hasta de 83,100 mg/l [3]. En el caso de la investigación que desarrollamos la materia orgánica medida como DQO alcanzó valores de más de 60,000 mg/l y en los 8 meses donde se generó lixiviado presentó una disminución de los valores en todas las pacas llegando a 29,000 mg/l. Los resultados de DQO encontrados en los lixiviados del relleno sanitario de Naucalpan (con 4 años de edad) reportaron valores de 35,000 mg/l a 81,000 mg/l [4]. En el caso de los AGV se observó que hay mayor formación de estos en el 5° mes de la investigación y posteriormente un descenso del ácido acético, propiónico y butírico. El descenso del ácido acético en la paca encapsulada (paca 7) es más lento que en las pacas impermeabilizadas (paca 6 y 11), tal y como se presenta en la figura 10 y 11.

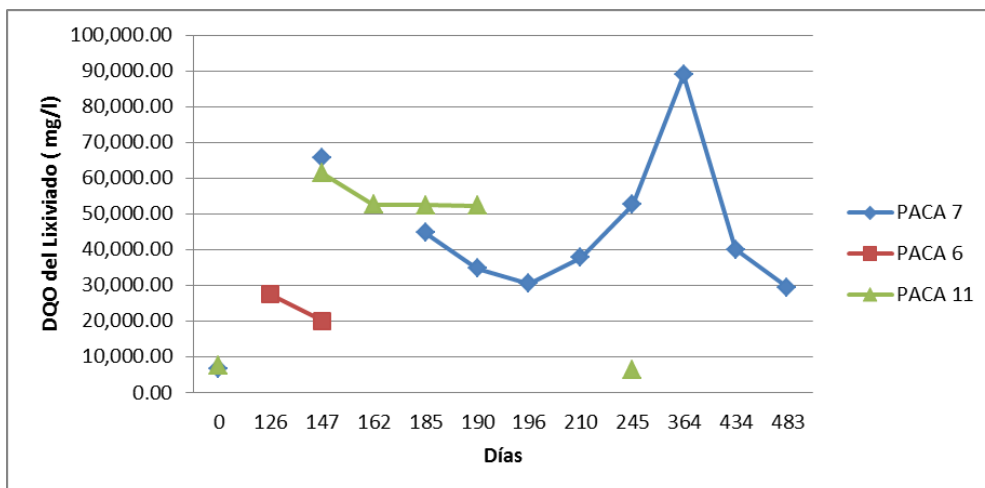


Figura 10. Materia orgánica medida como DQO en lixiviado.

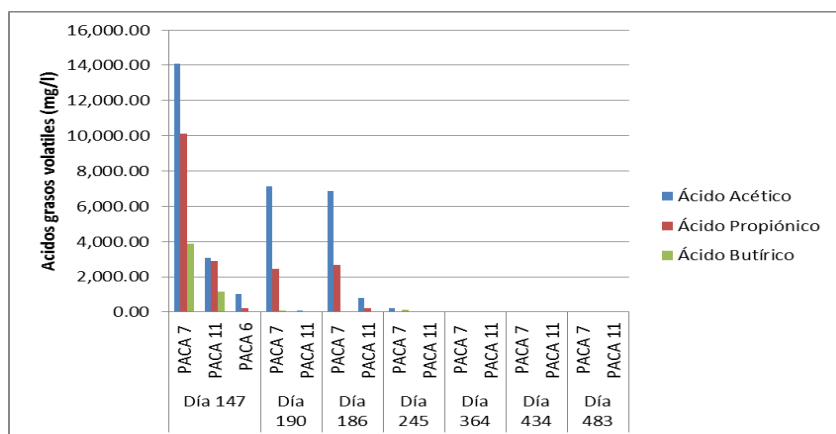


Figura 11. Los ácidos grasos volátiles de los lixiviados.

3. Conclusiones

Los resultados de la investigación permitieron evaluar el comportamiento de la descomposición anaerobia de los residuos sólidos urbanos producidos en las pacas compactadas e impermeabilizadas con más del 50% de materia orgánica de fácil degradación, y su relación con la formación del lixiviado, llegando a la conclusión que la formación de lixiviado es escasa o casi nula, debido a que la precipitación pluvial no entró a los residuos, sin embargo sus características físico químicas indican que la descomposición de los residuos en el interior de las pacas a los 8 meses si se encontró en una fase metanogénica.

La disposición final de las pacas impermeabilizadas con plástico de baja densidad constituye una barrera física que evita que la lluvia aporte a la generación de lixiviados, por lo que el lixiviado que se obtiene es el generado exclusivamente de la humedad de los residuos y el agua formada por la hidrólisis de la materia orgánica de los residuos dentro de la paca.

Referencias Bibliográficas

[1] Williams P. 2005. *Waste treatment and disposal*. Publicado por John Wiley and Sons, ISBN 0470849134, 9780470849132. pp. 1-380

- [2] Robinson H.D.& Gronow J.R. 1993. "Review of landfill leachate composition in the UK". Proceedings Sardinia. Fourth International Landfill Symposium, Cagliari, Italy, pp 821-832.
- [3] Pisani Jr, R., Duran, C., Pereira, C. 2010. "Leachate Chemical Composition of Household Baled Waste in Lysimeters". Universidad de Ribeirao Prieto, sao Paulo. Brasil . Symposium de DIRSA. Congreso de AIDIS, 2010.
- [4] SETASA, 2010. Bitácora de Operacion del relleno sanitario de Naucalpan. Edo. México.

Lodos residuales provenientes de la planta termoeléctrica de la Rosita en Mexicali Baja California, alternativas de reuso y disposición final

Carlos Salazar Briones, ²Jaime Alonso Reyes López, ³Concepción Carreón Diazconti, ⁴Marcelo Lomelí Banda
csalazarvive1@gmail.com

Resumen

La baja disponibilidad de agua en Baja California obliga a las industrias a utilizar las aguas residuales urbanas. La planta termoeléctrica de La Rosita depura agua residual de la ciudad de Mexicali para su operación generando y vertiendo bajo norma 14,000 toneladas por año de los lodos en un confinamiento privado, autorizado por las autoridades para residuos no peligrosos. Con el propósito de darle un manejo ambientalmente responsable, en este trabajo se identificaron las alternativas de tratamiento más adecuadas para el manejo de lodos en concordancia con sus características fisicoquímicas, las condiciones climáticas prevalecientes de la región y su viabilidad económica. La revisión del estado del arte indicó que el uso de lodos residuales como mejoradores biorgánicos a suelos agrícolas es la alternativa más conveniente para su disposición. Se propone aplicar tecnologías de secado de los lodos mediante calor aprovechando las elevadas temperaturas ($>40^{\circ}\text{C}$) que se alcanzan en la ciudad durante más de 3 meses de verano, los que coinciden con el pico de producción de lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El prototipo de producción de composta consiste en un secador de 25 m^2 de área y profundidad de 80 cm, con movimiento mecánico, un tiempo de residencia de 10 días con volumen de secado de 20 m^3 y una producción aproximada de 3 toneladas de composta por secador. La composta producida revaloriza el producto, mejorará su posibilidad de uso y comercialización e impactará de forma positiva en el medio ambiente.

630

Palabras clave: *alternativas de reuso, mejoradores orgánicos, lodos residuales, reuso, disposición final*

1. Introducción

Energía Azteca X, S de R.L de C.V es una filial de Intergen compañía de capital global, la que cuenta con 12 centrales eléctricas alrededor del mundo ubicadas en el Reino Unido, los Países Bajos, México, Filipinas y Australia. En México la compañía cuenta con la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado “La Rosita” ubicada en la Cd. de Mexicali, Baja California.

En el presente trabajo se realiza un estudio para establecer las alternativas más adecuadas para la reducción, reutilización y disposición final de los lodos residuales subproducto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Central Eléctrica. Debido al volumen de agua requerido, la empresa adquiere mediante convenio de compra parte del agua residual de la ciudad de Mexicali (aproximadamente 600 L/s) para sus procesos. Por este motivo la compañía cuenta con su propia Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). En estas instalaciones se llevan a cabo los procesos de tratamiento primario y secundario. Durante el proceso de tratamiento de agua residual se generan lodos residuales con un volumen aproximado de 14,000 toneladas por año. Estos lodos representan un inconveniente para la empresa debido al volumen de producción y su costo de gestión.

2. Desarrollo

Durante el tratamiento de las aguas residuales se generan lodos que contienen contaminantes tales como patógenos, metales pesados y tóxicos orgánicos, lo que podría provocar la contaminación del aire, suelo y acuíferos. En México, los criterios utilizados para establecer los límites máximos y mínimos permisibles en la concentración de contaminantes en biosólidos para su aprovechamiento y disposición final se encuentran en la norma oficial mexicana NOM-004-SEMART-2002 (tabla 1) y en la NOM-052-SEMARNAT-1997, que establecen los límites para considerar si un residuo, en este caso los lodos, son peligrosos por su toxicidad al ambiente. En el caso de la PTAR de la Rosita, previo a su disposición final, al lodo resultante de este proceso se le determinan sus características para identificar si es corrosivo, reactivo, explosivo, toxico ambiental, inflamable o biológico infeccioso (CRETIB), mediante análisis se determina que cumple bajo la norma las características de un residuo no peligroso.

El manejo y disposición de los lodos residuales de la PTAR La Rosita, tiene actualmente un costo anual de alrededor de los cien mil USD. Los lodos son transportados a un relleno industrial privado, autorizado por el gobierno del estado.

El estudio se realizó en la Central Termoeléctrica La Rosita que se ubica en el lote No. 46 de la Colonia Progreso, 20 km al suroeste del Municipio de Mexicali, Baja California, 600 m al norte de la carretera federal No. 2 (figura 1). Las coordenadas geográficas aproximadas de la planta de poder son $32^{\circ}36'08.5''$ latitud norte y $115^{\circ}37'39.5''$ longitud oeste.



Figura 1. Localización del área de estudio.

La problemática de los lodos residuales ha sobrellevado diferentes restricciones en cuanto a su reuso. Sin embargo, los tiempos cambian y están apareciendo nuevas vías para su aprovechamiento. Dadas estas premisas y en vista de que el reuso se ha vuelto un eje de desarrollo, es trascendental comenzar a cambiar el paradigma que se tiene del recurso y pensar en formas de reutilizarlo. En este sentido, los sectores industrial y agrícola ya han avanzado en algunos puntos, principalmente debido a que técnicamente es más simple idear soluciones conjuntas a gran escala. Se piensa más que todo en el ahorro y en las posibilidades de aprovechamiento.

3. Resultados y discusión

Algunas alternativas, tales como el reuso de los lodos como fuente de energía [1], la incineración, la cocombustión [2], el aprovechamiento de las cenizas de los lodos como materiales de construcción, la recuperación de fósforo a partir de la oxidación con agua en estado súper crítico [3]

o la pirólisis para obtener combustibles líquidos similares al petróleo, son actualmente poco factibles. Esto debido a que estas tecnologías requieren de grandes inversiones de recursos financieros y científicos, lo que en el caso de México, y particularmente en el caso de Mexicali, no las hace viable en el corto o mediano plazo.

Entre las alternativas disponibles para la disposición final de los lodos se destaca el reuso agrícola del residuo, que dentro de criterios seguros, es una de las posibilidades de menor impacto ambiental y costo de operación [4].

Debido a que la PTAR de la Central Eléctrica “La Rosita” se encuentra ubicada en el Valle de Mexicali, región con una producción agrícola muy importante, es deseable el reuso de sus lodos en el sector agrícola. Lo anterior facilitaría y economizaría el manejo y transporte de las aproximadamente 14,000 toneladas de lodo residual generadas anualmente. Esta alternativa de reuso permitiría la sustitución del fertilizante químico, que comúnmente se utilizan en el Valle de Mexicali, por fertilizantes orgánicos aportado por los lodos. Además, al utilizar el lodo residual para fertilizar cultivos se está generando un ahorro económico al evitar la compra de fertilizante convencional. Por otro lado, la reutilización de los lodos evita disponerlos como un residuo, lo que es otro beneficio implícito [5]. Con el reuso de estos desechos que cuentan con un alto potencial de aprovechamiento, la PTAR evitará en gran medida los costos por confinamiento por lo tanto el ahorro es una consideración importante que trae consigo la revalorización de este residuo.

Tabla 1. Aprovechamiento de los biosólidos con un contenido de humedad hasta el 85%. Basado en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	•Usos Urbanos Con Contacto Público Directo Durante Su Aplicación •Los Establecidos Para Clase B Y C
Excelente O Bueno	B	•Usos Urbanos Sin Contacto Público Directo Durante Su Aplicación •Los Establecidos Para Clase C
Excelente O Bueno	C	•Usos Forestales •Mejoramientos De Suelos•Usos Agrícolas

Los principales cultivos que se siembran en el Valle de Mexicali son el trigo, algodón, forrajes, alfalfa, hortalizas, cebolla, además de cultivos de invernadero como tomate, pepino y chile (Tabla 2). El trigo es el principal cultivo del valle de Mexicali [6] y el concepto de fertilización, alcanza el 20% de su costo de producción y aunque con el uso de los lodos no se estaría sustituyendo en su totalidad la fertilización química, si se esperarían ahorros por este concepto para los agricultores.

Tabla 2 Principales Productos agrícolas en el Valle de Mexicali, año 2009 (SEFOA, 2009).

Cultivo	Superficie en Hectáreas (Ha)
Trigo	89,032
Algodón	19,719
Alfalfa	29,907
Cebolla	3,587
Hortalizas	6,748

La tendencia mundial para el reuso de los lodos como abono agrícola, es primero estabilizarlos mediante un proceso de secado, lo que permite eliminar la posibilidad de contaminación por patógenos. En este contexto, es que se realizó una revisión de los equipos y modelos que se utilizan para el secado; cabe mencionar el hecho de que una de las opciones deseadas es la de utilizar al sol como fuente de energía para el secado de los lodos, pensando en aprovechar las condiciones climáticas de la región. La alta incidencia de rayos solares, y las temperaturas que alcanzan los 50° en el verano coinciden con el pico de producción de lodos en la planta termoeléctrica.

El proceso de compostaje de los residuos sólidos consiste en la descomposición o fermentación natural de la porción orgánica de los residuos, es decir, por la acción metabólica de los microorganismos presentes, dando origen a un producto denominado composta. Este es un producto orgánico estabilizado, cuyas propiedades lo hacen particularmente útil como mejorador de la estructura y textura de los suelos y, en menor grado, como fertilizante vegetal. En este proceso son necesarias temperaturas altas para la destrucción de los organismos patógenos y las semillas de diversas plantas, con lo cual se obtiene una composta de mejor calidad. La temperatura óptima para la digestión aeróbica varía entre 50 a 70°C, siendo probablemente los 60°C, la temperatura más satisfactoria [7].

Se concluye que la opción de un desarrollo tecnológico para el secado de los lodos mediante la energía solar, permitiría la reducción del volumen de lodos generados, con la consecuente reducción en los costos del manejo del biosólido. Además, la eliminación de patógenos estabilizaría el producto y generaría composta de acuerdo a las normas mexicanas y estándares internacionales, de tal forma que la composta obtenida a partir de esta aplicación tecnológica, tendría un valor económico y una reducción en el impacto ambiental. Por otro lado, se generaría un producto atractivo para los agricultores locales por sus características de mejorador de suelos y para la población en general, debido a la posibilidad de usar la composta en jardines públicos y privados, con seguridad en su manejo, sin descontar la posibilidad de comercialización.

4. Bibliografía

- [1] Zhuo, DR Dugwell and R. Kandiyoti. Trace Element Distribution in Sewage Sludge Gasification: Source and Temperature Effects. *Energy & Fuels*. 19 (2005)
- [2] R. Cenni *, B. Janisch, H. Splietho, K.R.G. Hein. Legislative and environmental issues on the use of ash from coal and municipal sewage sludge co-firing as construction material. Institute of Process Engineering and Power Plant Technology, University of Stuttgart, Germany. (July 2000)
- [3] D. Fytili, A. Zabaniotou. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *ScienceDirect Energy Reviews* 12 (2008). Hailong
- [4] Lavado Raúl S., Miguel A. Taboada. Factibilidad de valorización agrícola de biosólidos de plantas depuradoras. Manual de procedimientos para la aplicación en el campo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina (2002)
- [5] Bravo, M. Minimización de Residuos. Seminario Internacional CYTED, Costa Rica, (1999)
- [6] <http://www.sefoa.gob.mx> Principales productos agrícolas del estado de Baja California (2009)
- [7] Kreith, Frank Handbook of solid waste management. McGraw-Hill New York (1994)

Los microorganismos en los abonos orgánicos a partir de podas en la Universidad del Norte

Amelia Escudero de Fonseca, Carmen Alicia Arias Villamizar
afonseca@uninorte.edu.co

Resumen

Un proceso de compostaje es entendido como la descomposición biológica y la estabilización de un sustrato orgánico bajo condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas en el rango termófilo como resultado del proceso biológico aerobio exotérmico, para producir un producto final estable, libre de patógenos y de semillas y que pueda ser aplicado al suelo de forma beneficiosa. En el proceso mediante el método Indore modificado que utilizamos para obtener abono a partir de podas, en Barranquilla, Colombia, pudimos apreciar, en cada caso, la participación de agrupaciones de microorganismos termófilos y mesófilos que se corresponden con los componentes de los materiales utilizados en la composta, la evolución de las variables físico – químicas por cuenta de los microorganismos que gobiernan el proceso y con la calidad de la aireación pasiva involucrada.

Palabras clave: *actividad microbiana, aireación pasiva, biotransformación, residuos vegetales, abono*

1. Introducción

En la Universidad del Norte, Uninorte, en Barranquilla, Colombia, desde 2009, hemos trabajado en la biotransformación aeróbica de las podas de árboles frutales y jardines por el método Indore. En la primera etapa de esta investigación sobre compostaje logramos abono tipo A, con una fertilización del 100% en los cultivos de prueba. Allí trabajamos en seis celdas (o pilas) independientes habiendo abandonado el proceso en tres de ellas por invasión de plagas de procesos vecinos. El proceso y los resultados en la pila uno, una de las que culminó en abono, forman parte de las memorias del Simposio 2010 de REDISA [1]. En la segunda etapa, introdujimos tres variables en el material de composta con el fin de evaluar su incidencia en el proceso y en el abono resultante y aquí se presenta el resultado en dos de las cuatro celdas bajo estudio.

Escogimos variar las condiciones de entrada por cuanto ellas forman parte de los factores que, según la literatura científica consultada, inciden en los resultados [2] y muchos otros. Las variaciones correspondieron a la relación Carbono/Nitrógeno, C/N, a la inoculación de microorganismos autóctonos y a uniformar el tamaño de las podas en 25 mm, cumpliendo el rango recomendado entre 3 mm y 50 mm [3]. El diseño de experimentos utilizado fue el factorial de 2^2 que corresponde a 2 factores, sin réplica, con un total de 4 corridas al que acudimos para reducir el número de análisis al mínimo necesario y adaptado a los recursos económicos disponibles para el mismo. En ambas etapas, el método utilizado para el compostaje es una modificación del Indore tradicional [4] porque la aireación que gobierna el proceso es la pasiva y no se utilizan residuos animales.

La diferencia en la relación C/N inicial se hizo para conocer su influencia en la duración del proceso. La adición de microorganismos se hizo como una aproximación al proceso austriaco (desarrollado por la familia Lübke) denominado CMC – Compostaje Microbiológicamente Controlado – que reporta mayor productividad del abono. Se habla de aproximación porque el método CMC implica la inoculación de determinados microorganismos de arranque, el control

permanente de la vida microbiana y la garantía de la aireación mediante volteos lo que no estaba previsto en el método utilizado en la investigación de Uninorte.

Este documento corresponde a las dos condiciones extremas: Nivel alto en C/N y en microorganismos inoculados (*Aspergillus Niger* y *Streptomyce*), de la pila 2 y nivel bajo para C/N y sin inoculación de microorganismos de la pila 3.

2. Metodología

Para la construcción de las cuatro pilas de un m³ de capacidad cada una (un m en cada lado), se utilizaron palos gruesos entabados en altura procedentes de las podas, se instaló otro palo vertical en el centro de cada una y un fondo entramado separado del suelo, todo ello para asegurar la aireación pasiva y se protegieron del sol con polisombra, producto sintético que cumple ese propósito.

Las podas provinieron de la flora identificada con su nombre científico y vulgar siguientes: *Mangifera indica* (Mango), *Erythrina crista-galli* L (Coral), *Codiaeum variegatum* (Croto), *Mespilus germanica* L (Níspero), *Archontophoenix cunninghamiana* (Palmera), *Swinglia glutinosa* (Swingla), *Musa paradisiacal* (Plátano) y *Cynodon dactylon* (gramilla). Las podas de mango y níspero son las únicas en común con las del proceso anterior. Variamos la cantidad de los elementos participantes en cada pila para proveer la relación C/N buscada, en dos pilas valores altos y en las otras dos, bajos, proporcionalmente a los valores de C y N del material base [5].

Durante todo el proceso se midieron las variables de control del proceso. La temperatura se midió en 15 puntos de cada pila, primero 2 veces al día, luego diario y al final, semanal, con una Sonda de Temperatura. Para las otras mediciones se tomaron muestras compuestas procedentes de diferentes puntos de cada pila y se sometieron a los procedimientos y mediciones consagradas en los métodos normalizados ASTM o los sugeridos por la norma chilena 2880, 2004 [6] para compostaje. Los ensayos de Nitrógeno y los análisis del abono fueron realizados por laboratorios externos a la Universidad. Sus resultados cumplieron los siguientes protocolos: N según Kjeldahl, P y B por colorimetría; S por turbidimetría; K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu, Zn por absorción atómica. C-orgánico por Calcinación, N mineral en KCl (1N), pH y C.E, en extracto de saturación, % de elementos mayores y menores, en peso a peso.

En relación con los microorganismos, a nivel macro, se identificaron las diferentes colonias por su aspecto, confirmando esta aproximación mediante pruebas bioquímicas. Para el conteo de colonias, se hicieron diluciones hasta 10¹⁰ y se sembraron en medios de cultivo apropiados: Agar nutritivo, para bacterias totales, Sabouraud, para hongos caseína enriquecida con varios nutrientes, para microorganismos totales, caseína con extracto de papa, para *Streptomyce* y EMB para enterobacterias. Los hongos se dejaron crecer durante más de cinco días, se identificaron mediante su observación al microscopio y se diferenciaron unas colonias de otras mediante tinción en azul de lactofenol. Se buscaron patógenos encontrando antes y en la etapa termófila y ninguno en el abono, los siguientes: *Salmonella*, *Shiguella*, *Klebsiella*, *Pseudomona* y *Estcheritchia Coli*, mediante las pruebas bioquímicas del caso. Para microorganismos Gram negativos se acudió a confirmaciones mediante el método de BBL CRYSTAL.

3. Resultados y discusión

Las enmiendas mediante abonos no solo restauran los niveles de materia orgánica en los suelos sino que con ellas se revalorizan residuos, con el consiguiente beneficio ambiental, cuando provienen, como en este caso, de podas. Ello ha incrementado considerablemente su práctica [7], [8] y las investigaciones para optimizar el compostaje. Si además, el método es el Indore modificado que usamos, el proceso solo requiere controlar la entrada de los materiales, vigilando sus proporciones

C/N, tamaño de las partículas y evitando elementos nocivos, metales pesados principalmente, garantizar la aireación pasiva desde la conformación de las pilas y mantener la humedad y tiene las ventajas de que no produce olores ni exporta plagas, lo que facilita y hace atractiva su producción artesanal.

El proceso que tiene lugar es biooxidativo aerobio en un entorno controlado en el que se producen compost, CO_2 , agua, calor e higienización del abono y lo ejecutan microorganismos que se suceden en las labores de mineralización de la materia orgánica según la temperatura y otras condiciones de la composta. Los microorganismos que principalmente participan son bacterias y hongos y su actividad es responsable de las variaciones de la temperatura y del pH, condicionadas a su vez por las características del material de composta que fijan las escenas iniciales de la relación C/N y de otros factores y por la humedad. Durante el compostaje, la temperatura pasa de la ambiente a la adecuada para microorganismos mesófilos (hasta 40°C), luego a la de los termófilos, entre 40°C y 75°C [6], luego a una nueva etapa mesófila y se enfría, en la maduración, hasta alcanzar la temperatura ambiente. Simultáneamente el pH baja a condiciones ácidas, sube a un máximo alcalino (alrededor de 8.5) y baja a condiciones cercanas a la neutralidad donde se mantiene en el abono conformado.

Cuando los materiales de la composta son residuos vegetales, además de que pueden no cumplir todos los requerimientos de un buen abono [2], la maduración puede tardar hasta un año [8] y aplicar un abono inmaduro puede ser tóxico [9], [10].

Por ello se ha incrementado la búsqueda de métodos que permitan acelerar el proceso pero obteniendo un abono de la mejor calidad. Con ese propósito, en el compostaje a partir de podas, en esta etapa, nosotras ensayamos agregar microorganismos, *Streptomyces* y *Aspergillus Niger*, en los ambientes ya indicados: Igual tipo de materiales para la composta pero en mezclas que nos dieran diferentes proporciones de C/N, tamaños iguales y cumpliendo normas para aireación del material de composta, riego para controlar la humedad y aireación pasiva.

Y estos fueron los resultados:

En la tabla 1 que se incluye más adelante y en la que la información de la pila 2 (C/N Inicial = 150.78 e inóculos de *Aspergillus Niger* y *Streptomyces*) se muestra primero y la de la pila 3, (C/N Inicial = 56.47 sin inocular microorganismos), después de la diagonal (/), puede apreciarse que, en general, los valores de la temperatura y de la Materia Orgánica fueron más altos en la pila 3 que en la 2 y más bajos para las otras variables físico químicas, Y en relación con la microbiota, muestra que, en ambas pilas, las poblaciones máximas de los microorganismos fueron similares con excepción de los siguientes:

La *Salmonella* que se presentó solo un día y solo en la pila 2, lo que permite suponer que provino del exterior al proceso y las altas temperaturas la eliminaron del mismo; la *Pseudomonas* con una relación de 9.500 (pila 3) a 1 (pila 2) que pudo deberse a que la *Streptomyces* le impidió un mayor desarrollo en la pila 2; los microorganismos totales, con la relación 83 (pila 3) a 1 (pila 2) que presume un mejor hábitat en la pila 3; y la *Streptomyces*, que solo se desarrolló en la pila 2 donde había sido inoculada.

Cabe indicar que los organismos patógenos fueron erradicados desde el día 14 dadas las altas temperaturas y su permanencia, como veremos más adelante y las grandes poblaciones de microorganismos se mantuvieron hasta el día 18 en la pila 3 y hasta el día 81 en la pila 2, respondiendo a la relación C/N inicial. A continuación, la tabla 1.

Tabla 1. Población máxima de microorganismos y condiciones físico-químicas del día de ocurrencia. Pilas 2 y 3 de compostaje de podas en Uninorte, 2010 – 2011 (na= no aplica)

Microorganismo y su valor máximo en cada pila (UFC)		Día de ocurrencia	Valores físico químicos para el valor máximo de microorganismos					
			T °C	pH	CE μ S/cm	Humedad %	C/N	MO %
Shiguella	44*10 ⁶ /30*10 ⁶	3 / 2	58.2 / 62.8	7.7/6.9	1,025/823	80.6/65.6		85.5/88.3
klebsiella	24*10 ² /16*10 ⁶	0/0	53.5/63.5	5.8/5.3	783/1,310	77.8/63.9	151/56	86.3/86.7
E. Coli	4*10 ⁶ /16*10 ⁶	3/2	58.2/62.8	7.7/6.9	1,025/823	80.6/65.6		85.5/88.3
Salmonella	1*10 ⁶ /0	9/ na	45.1/ na	7.9/ na	819/ na	85.3/ na	na	86.8/ na
Pseudomona	2*10 ³ /19*10 ⁶	0/0	53.5/63.5	5.8/5.3	783/1,310	77.8/63.9	151/56	86.3/86.7
Microorganismos totales	64*10 ⁶ /53*10 ⁸	1/3	53.5/63.3	6.7/7.2	800/1,135	82.6/67.8	78/	84.9/88.9
levaduras	29*10 ⁴ /31*10 ⁴	2/4	58.8/63.2	7.3/6.9	797/1,162	77.0/66.8		87.6/88.1
Aspergillus Niger	19*10 ² /19*10 ²	17/17	40.9/45.1			76.3/69.0		
Aspergillus fumigatus	13*10 ² /14*10 ²	11/39	43.8/29.2	8.0/		76.3/62.0	108	85.4
Aspergillus flavus	72*10 ² /11*10 ²	9/46	45.1/35.9	7.9	819	85.3		86.8
Mucor	12*10 ² /7*10 ²	14/17	41.7/45.1			/69.0		
Streptomyces	34*10 ⁶ / na	16/ na	40.5/ na	8.2/ na	985/ na	78.0/ na	98/ na	85.1/ na

Cabe indicar que los comportamientos de los microorganismos respondieron a las condiciones imperantes en el compost. En efecto, al examinarlos con respecto al pH que es uno de los mayores diferenciadores de la microbiota presente en un hábitat [11], se apreció lo siguiente: En los primeros días del proceso, el pH se situó entre 7 y 8, valores adecuados para el desarrollo de los Aspergillus (Niger, Flavus y Fumigatus). Sin embargo, su presencia fue nula en ambas pilas, resultado sorprendente en la pila 2 donde fue inoculado el Aspergillus Niger pero que se explica por el amensalismo derivado de la presencia de Streptomyces, en la pila 2 y de la Pseudomona de la pila 3. El actinomiceto, Streptomyce, se caracteriza por producir antibióticos que inhiben el crecimiento de otros microorganismos con los que comparten hábitat [12] y la protobacteria Gamma Pseudomonas es antifúngica. Más aún, es un control biológico aceptado para uso en frutas en Estados Unidos [13]. Y, cuando estos inhibidores del crecimiento desaparecieron, los valores de pH se mantuvieron en 8 o más lo que explica los valores bajos de los Aspergillus y de los otros hongos [14].

En su respuesta a la humedad, encontramos que, el Streptomyces que se inhibe cuando la humedad se sitúa continuamente entre 85% y 100% y crece en condiciones más secas [15], se comportó de otra forma durante la experiencia en la pila 2 que fue la única en la que actuó y donde había sido inoculado. Allí cuando la humedad estuvo más alta (72.3°C a 85.3°C), hubo un buen desarrollo de la Streptomyces. Y cuando la humedad bajó un poco, llegó a 54°C, el microorganismo desapareció. Se ha supuesto que este desarrollo respondió a que las colonias de Streptomyce debieron ocupar, preferencialmente, la superficie de la pila o se situaron a poca profundidad dentro de ella donde la temperatura estaría matizada por la del ambiente que durante los 18 días de la gran presencia de este microorganismo se mantuvo entre 24.5°C y 31.5°C con un promedio de 28.7°C. Esta ubicación también le permitiría un buen desarrollo ya que son aerobios estrictos [12].

En relación con la temperatura, al parecer las Streptomyces participantes en la experiencia no son de las mesófilas en las que el rango más alto tolerado es el situado entre 35°C y 47°C [12] sino que pertenecen a los pocos actinomicetos (1/3) que son termófilos o termófilos facultativos [15]. Esta suposición se fundamenta en que estuvieron presentes en un rango de temperatura entre 40.5°C y 58.8°C con poblaciones que llegaron hasta 34*10⁶ UFC y se inhibieron cuando la temperatura descendió a 30°C, evento coincidente con una reducción del Nitrógeno. En consecuencia,

Pseudomona y Streptomyce primero y el pH después, inhibieron el desarrollo de los hongos y la temperatura inhibió a Pseudomona y Streptomyce. Esta inhibición por baja temperatura tuvo lugar a los 18 días en la pila 2 para la Streptomyce. La inhibición para la Pseudomona fue por el mantenimiento de altas temperaturas que tuvo lugar desde el inicio del experimento. La inhibición ocurrió el día 10.

Precisamente por ese mantenimiento de altas temperaturas que tuvo lugar en nuestra investigación se logró la higienización del compost en ambas pilas. La higienización requiere, entre otros pares temperatura – duración de esa temperatura, la de 55°C por períodos superiores a 1 hora [16], y las nuestras fueron superiores tanto en el valor como en la duración. Tabla 2

Tabla 2. Temperaturas y su mantenimiento para la Higienización del compost

Temperatura durante descomposición, algunos días y algunos datos de la primera semana																							
Día	Pila 2. Condiciones iniciales: c/n=150.78					Pila 3. Condiciones Iniciales: c/n=56.47					Día	Pila 2. Condiciones iniciales: c/n=150.78					Pila 3. Condiciones Iniciales: c/n=56.47						
1	39,3	40,7	51,5	50,1	50,8	65,1	64,7	61,4	61,8	58,1	58,1	4	59,7	60,3	57,1	55,3	50,5	62,2	61,6	62,1	65,2	52,5	52,5
1	48,7	54,8	50,9	49,9	49,8	65,3	62,6	62,8	57,5	60,8	60,8	4	58,9	54,8	49,8	50,8	58,2	65,7	65	64,5	66,3	62,8	62,8
1	58,8	56,7	60,3	55,1	57,8	66,5	66	62,6	59	62,8	62,8	5	57,2	57,9	53,5	58,3	56,6	64,5	64,3	67,7	66,9	53,6	53,6
2	60,2	56,7	64,6	60	59,6	57,9	66	64,7	62,5	66,8	66,8	5	55,2	48,2	51,6	53,6	50,1	64,5	58,5	57,6	56,8	66,7	66,7
2	63,8	61,9	57,9	60,7	57,1	61	66,1	65,2	63,2	63,2	63,2	5	42,6	48,1	49,8	49,8	46,4	65,2	64,4	64	65	61,7	61,7
2	61,6	64,9	59,6	60,9	62,7	65,2	64,2	65,3	65,5	66,8	66,8	5	46,4	51,1	48,8	57,9	47,2	62,3	62,1	65	60,6	61	61
2	64,8	59,8	52,4	62,4	57,1	67,5	50,7	54,3	56,7	66,2	66,2	6	48,8	44,2	48,8	54,8	47,5	60,8	65,6	60,9	67,4	63,7	63,7

También comprobamos la influencia de la relación C/N inicial sobre el proceso. Ello se evidenció en la tardanza en lograr la etapa termófila en los primeros días del compostaje, la menor temperatura alcanzada y la menor duración del mantenimiento de la temperatura más alta lograda, en la pila 2 con C/N más altos. La relación C/N inicial también influyó en la duración del proceso. En la pila 3 con C/N más bajo, se obtuvo abono a los 100 días y en pila 3, después de los 160 días.

El producto obtenido se utilizó como enmienda de suelos demostrando su calidad. Sus características en ambas pilas lo catalogan como tipo A según la norma chilena 2880 [6]. En efecto, en las pilas 2 y 3, respectivamente, el pH se situó en 7.9 y 7.6, para un requisito entre 5 y 8.5; la Conductividad Eléctrica alcanzó 0.964 S/m y 0.64, cuando se requiere que sea ≤ 3 S/m; la Materia Orgánica fue de 29.5 % y 27.5 % y se exige que sea $\geq 20\%$; la relación C/N bajó a 12.87 y 18.42 y se pide ≤ 25 ; y el Nitrógeno total resultó ser de 1.06 y 0.69 que cumple la norma: $N_{\text{total}} \geq 0.5$.

4. Conclusiones

Nuestro trabajo confirmó que con el método Indore modificado se obtiene abono tipo A, se facilitan y reducen los controles sobre el compostaje y que, si se usan podas, se beneficia el ambiente al valorizar residuos, aumentando su atractivo sobre todo para producciones artesanales. También nos mostró la gran influencia que ejercen, la relación C/N inicial, sobre el proceso (a menor relación pero cercana al 35/1 teórico, menor duración del compostaje y microbiota más abundante) y el material de partida y las condiciones del hábitat, sobre los microorganismos participantes.

Bibliografía Bibliográficas

- [1] Escudero de Fonseca, A., & Arias Villamizar, C. A. "Calidad Nutricional de la biotransformación de podas". *Memorias III Simposio de Ingeniería de Residuos de REDISA*. 2010.
- [2] López, M. S. *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora*. Valsain Ceneam/Mimam. 2004. 1-20.
- [3] Chiu-Chung Young, P. R. "What Happens during Composting?" *Food & Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region*. Annual Report. 2005.

- [4] Heckman, J. "A history of organic farming : Transitions from Sir Albert Howard's War in the Soil to USDA National Organic Program". *Renewable Agriculture and Food Systems*. Volume: 2. 2006. Issue: 3 , 143-150.
- [5] Cardona Castelblanco S., L. J. *Aprovechamiento de residuos de podas mediante compostaje en la base Marco Fidel Suárez*. 2008. Cali.
- [6] INN - Instituto Nacional de Normalización, C. *Norma chilena 2880 de 2004*. Servicio Agrícola Ganadero (SAG) de Chile. 2004. 1-27.
- [7] Rogers, B F; L S Boyles; WJ Bamka; JR Heckman. *Guidelines for land application of non-traditional organic wastes (Food processing by products an dmunicipal yard wastes) on farmlands in New Jersey*. New Jersey Agricultural Experimet Station. 2002. Pp. 36 en Bulletin E-281.
- [8] Arrigo, N., Jiménez, M. D., Palma, R. M., & Tortarolo, m. B. *Residuos de poda compostados y sin compostar: uso potencial como enmienda orgánica en suelo*. 2005. Ci. Suelo (Argentina) - 23 (1), 87-92.
- [9] ZUCCONI, F. M. *Phytotoxins during the stabilization of organic matter*. Composting of Agricultural and Other Wastes. J.K.R (Ed.) Gasser, Elsevier. 1985. London, U.K . 73-80.
- [10] Varnero M. M. T., C. R. *Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el Compostaje*. R.C.Suelo Nutr. Veg. 2007. 7 (1) , 28 - 37.
- [11] Martínez, O. C. *Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost*. Vol. 1 No. 2. 2006. PML, Jul - Dic 2006. 87-98.
- [12] Michael T. Madigan, J. M. Brock, *Biología de los microorganismos*. Madrid: Pearson Education S.A. 2004. ISBN 84-205-3679-2.
- [13] Palou, L. Para el trataminiento antifúngico en poscosecha de cítricos de producción integrada. *Revista Especial de la Comunidad Valenciana para la investigación agroalimentaria*. 2007. 82-93.
- [14] Useche Y., P. V. *Aspergillus niger* Tiegh (1867). Proyecto Atlas de la Biodiversidad de Colombia - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2007. <http://www.siac.net.co/sib/catalogoespecies/especie.do?idBuscar=546&method=displayAAT> .
- [15] Sánchez-Yáñez J. M., J. V. (s.f.). *Los actinomicetos en la fertilidad y producción agrícola*. 2007. <http://www.monografias.com/trabajos47/actinomicetos/actinomicetos2.shtml>. 1-2.
- [16] Elias Castells, X. *Tratamiento y Valorización energética de residuos*. 2005.

Microorganismos que intervienen en la generación de biogás

Karla Cristel Cámara Moguel, José Ramón Laines Canepa, José Aurelio Sosa Olivier
josra_2001@yahoo.com.mx

Resumen

La digestión anaerobia es un proceso biológico degradativo en el que a través de sus fases consecutivas y con óptimos parámetros fisicoquímicos, diversos complejos enzimáticos generan biogás. La hidrólisis, primera fase elemental, se da cuando las enzimas celulolíticas, proteolíticas y lipolíticas degradan las biomoléculas del sustrato a sus monómeros correspondientes para ser utilizados por microorganismos de la siguiente fase hasta la metanogénesis. En la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco se desarrolla un proyecto cuyo objetivo es conocer las poblaciones microbianas de la digestión anaerobia del rumen gástrico de ganado bovino y su correlación con los gases que éstas generan durante la producción de biogás en un biodigestor de cúpula tipo Batch. Para dicho estudio se tomaron muestras de cuatro puntos del biodigestor durante 45 días, los parámetros fisicoquímicos se analizaron cada tercer día, los microbiológicos y la concentración de gases, cada semana. Se utilizó el medio de cultivo EMB para identificar bacterias de la familia *Enterobacteriaceae*; los gases se determinaron por cromatografía y los parámetros fisicoquímicos con un conductor eléctrico marca Hanna HI9828. Las bacterias halladas fueron *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis*, *Proteus mirabilis*, *Shigella flexneri*. El volumen de CH₄ fue 59.34%, CO₂ 30.95%, N₂ 7.349% y 2.361% de O₂; de H₂S 15.451 ppm. La temperatura y el pH no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$); el oxígeno disuelto presentó un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.0396$) entre los puntos de muestreo 1 y 4; en sólidos disueltos no se encontró diferencias significativas ($p > 0.05$, Kruskal-Wallis).

640

Palabras Clave: bacterias, biodigestor, bioquímica, digestión anaerobia, enzimas

1. Introducción

El desarrollo tecnológico e industrial y la elevada densidad poblacional generada al final del siglo XX, han ocasionado considerables volúmenes de residuos sólidos urbanos (RSU) a nivel nacional e internacional, constituyendo uno de los principales problemas ambientales de la sociedad contemporánea, además de contribuir en la generación de focos de infección que perjudican la salud humana como consecuencia de la falta de control, de alternativas de tratamiento y la ausencia de leyes reguladoras. Investigaciones realizadas en América Latina para tratar estos residuos, utilizando métodos físico-químicos, químicos y biológicos han demostrado que estos últimos son los más adecuados, siendo el de mayor perspectiva la digestión anaerobia (DA). La aplicación de esta tecnología es considerada una de las más eficientes para el tratamiento de los RSU, debido a que en la mayoría de los países latinoamericanos el contenido de Fracción Orgánica (FO) representa entre un 40 – 75% [1]. La DA que se genera de manera natural en los rumiantes, involucra diversos microorganismos, más de 200 tipos de bacterias y 20 tipos de protozoos ayudan a la vaca a usar los nutrientes y son capaces de degradar materia orgánica en diferentes fases hasta producir una mezcla de gases [2]. Debido a la fermentación ruminal, se producen diferentes gases cerca de 30-50 litros/hora en un bovino adulto, los cuales son eliminados a través del eructo. El contenido del rumen y retículo es de aproximadamente de 30 a 60Kg en bovinos [3]. La DA es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄ [4]. El objetivo del

presente trabajo fue entender la interacción de los microorganismos hidrolíticos del rumen en la primera fase de la DA con la generación de biogás.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El biodigestor se encuentra ubicado en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) en la ciudad de Villahermosa Tabasco, México. El rumen utilizado, fue transportado del frigorífico de la Unión Ganadera de la ciudad de Villahermosa a la DACBiol. Para la fermentación del rumen gástrico se utilizó un biodigestor en forma de cúpula tipo Batch con una capacidad de DA de 67m³, con un volumen total de sustrato de 7,300Kg.

2.2 Muestreo

Nomenclatura de las muestras. Muestra 1 (M1), a la entrada del influente, primer día. Las Muestras 2 a la 6 (M2-M6), se nombran en razón de los días de muestreo: M2-20 días, M3-35 días, M4-42 días, M5-49 días y M6-56 días.

Lugar de muestreo para M2-M6. Tubos de recirculación y extracción de sólidos de PVC de 6'' colocados tangencialmente a lo largo del biodigestor (Celda).

Tamaño de submuestra para M2-M6. 4 de 2L cada una.

2.3 Análisis fisicoquímicos

Se determinó a cada submuestra, los siguientes parámetros: pH, temperatura (°C), sólidos disueltos (SD, ppt) y oxígeno disuelto (OD, ppm). El equipo utilizado fue un medidor multiparamétrico portátil con receptor GPS, modelo HANNA HI 9828®, cada tercer día desde la alimentación del biodigestor hasta llegar a su capacidad de DA.

2.4 Preparación de diluciones y siembra en Agar Eosina y Azul de Metileno (EMB)

Muestra representativa. De las 4 submuestras, que conformaban cada una de las muestras, se le aplicó el método de cuarteo hasta tener una muestra de 0.5L.

Diluciones. A tubos de cultivo que contenían un volumen de 9ml de solución de NaCl 0.85% estéril, se les agregó 1ml de la muestra representativa de rumen, realizando diluciones seriadas de 1:10 (10⁻¹) hasta 10⁻¹⁰.

Siembra. Se procedió a realizar las siembras de las muestras en cajas Petri con medio de cultivo EMB, después de la siembra se incubaron durante 48h a 37°C. La siembra se hizo para las seis muestras tomadas de rumen del biodigestor con dos repeticiones por dilución. Para el conteo de colonias, se utilizó el método directo en placa.

2.5 Análisis de gases

Semanalmente se tomaron tres muestras de biogás, en bolsas de Tedlar® (Keika Ventures, Chapel Hill, North Caroline, USA) de 10 L, bolsas apropiadas para el muestreo de gases debido a sus durabilidad y a que el material de construcción de éstas (fluoruro de polivinilo) es químicamente inerte a los componentes del biogás. Estas muestras se enviaron al laboratorio del complejo Procesador de Gas (CPG) Cactus I de PEMEX, donde se determinó la composición del biogás utilizando un cromatógrafo de gases Varian, modelo GC-450®.

2.6 Diseño estadístico

Para los resultados de los parámetros medidos (Temperatura, pH, SD, OD) se utilizó un diseño completamente aleatorizado ANCOVA (una vía) tomando como covariable el tiempo. El estudio estadístico de las bacterias cultivadas en medio EMB fue realizado por conteo directo tomando un mínimo de microorganismos de 30 por placa. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS 5.1. Para el diseño de las graficas se utilizó el programa SIGMAPLOT 11.0.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis microbiológicos

Hubo crecimiento de bacterias que fermentan lactosa así como microorganismos que no fermentan lactosa en las muestras M1, M2, M3, M5 y M6. En la única muestra que no se encontró bacterias que no fermentan lactosa fue en la M4.

Dentro del complejo mundo bacteriano del rumen, la bacteria más abundante en esta investigación fue *Klebsiella*, bacteria que fermenta lactosa además de producir gases; seguida de *E. coli* que también fermenta lactosa y glucosa con producción de gas y ácidos orgánicos; *Enterobacter aerogenes* fermenta lactosa con producción de gas H_2 ; *Shigella* no fermenta lactosa y no produce H_2S . Las bacterias menos abundantes fueron *Proteus mirabillis*, *Salmonella* y *Candida spp.* en orden descendente teniendo las dos primeras la misma proporción (Figura 1).

La mayor actividad bacteriana en el biodigestor se dio en el punto cuatro de muestreo para las muestras M2 y M4 (Figura 2). En la M4, muestra tomada a los cuarenta y dos días hubo el mayor crecimiento bacteriano ($2.27E+05$ cel/ml) seguido de M2, muestras que fueron tomadas a los veinte días ($1.22E+05$ cel/ml). El menor crecimiento bacteriano se dio en las muestras que se tomaron a los treinta y cinco días (M3) teniendo crecimiento solo en el punto de muestreo cuatro. Las muestras M5 y M6 tuvieron su mayor actividad microbiana en los puntos uno y tres respectivamente para descender su actividad catalítica en el punto cuatro.

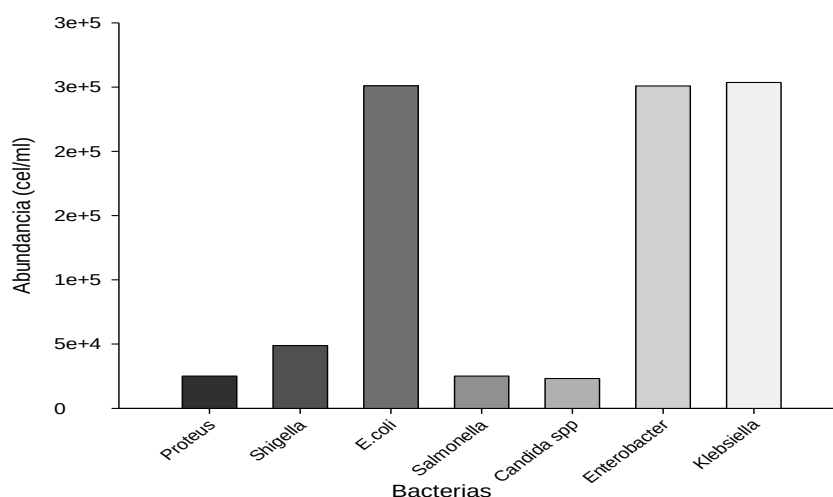


Figura 1. Abundancia de enterobacterias que forman la microbiota del rumen de ganado bovino fermentado en un biodigestor tipo Batch

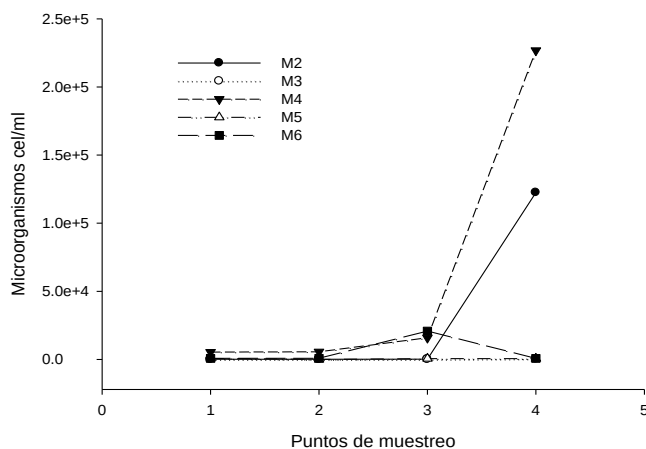


Figura 2. Crecimiento bacteriano de cinco muestras de rumen (de M2 a M6) tomadas en los cuatro puntos de muestreo del biodigestor

3.2 Análisis fisicoquímicos

La concentración de oxígeno disuelto (OD), fue mayor en el punto de muestreo cuatro (0.5ppm) y menor en el uno (0.1ppm) presentando un efecto estadísticamente significativo ($p=0.0396$, ANCOVA) entre ambos puntos (Figura 3); el pH y la temperatura no presentaron diferencia entre los cuatro puntos de muestreo manteniendo valores entre 6.4 - 6.5, 28.4 - 29.3 °C respectivamente (ANCOVA $p>0.05$). El rango óptimo del pH para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión es entre 6.6 a 7.6 [5]. El equilibrio ácido-base que tiene lugar en la operación de los biodigestores anaerobios es muy importante por la presencia de los diversos tipos de microorganismos que están en el medio y que requieren ser neutralizados para restituir el pH [6]. Los sólidos disueltos tuvieron concentración de 2.2 – 2.5ppt, no presentaron diferencias significativas (Kruskal-Wallis $p>0.05$).

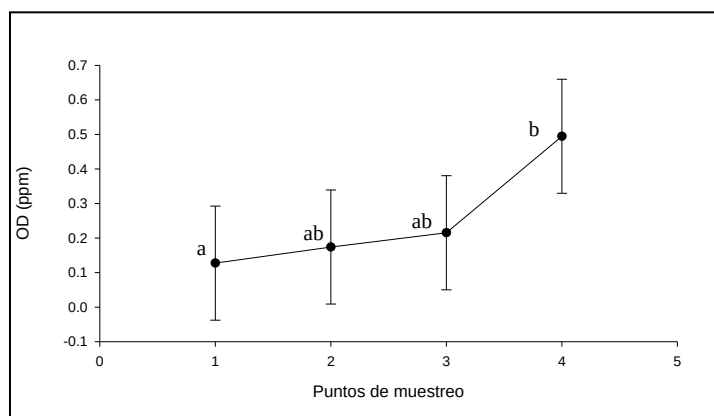


Figura 3. La concentración de oxígeno disuelto fue medida al sustrato (rumen de ganado bovino) durante su fermentación en cuatro puntos del biodigestor. Letras desiguales muestran diferencias significativas, letras iguales no presentan diferencias.

3.3 Composición de biogás

La tabla 1 muestra la composición de biogás obtenido en la fermentación de rumen de ganado bovino en un biodigestor de cúpula tipo Batch con un tiempo de retención de 63 días con recirculación cada tercer día. Grant *et al.*, reportan un rendimiento de CH₄ entre 47 y 64% de una mezcla de estiércol de pollo y vaca con un tiempo de retención de 60 días, y de 41 a 72% con una

mezcla de estiércol de pollo y cerdo [7]. La Comisión Nacional de Energía (CNE) reporta que la composición promedio de CH₄ en la generación de biogás es de 50-79% [8].

Tabla 1. Composición del biogás

Gases	Composición
Metano (CH ₄)	59.34%
Bióxido de carbono (CO ₂)	30.95%
Nitrógeno (N ₂)	7.35%
Oxígeno (O ₂)	2.30%
Ácido sulfhídrico (H ₂ S)	15.45 ppm

4. Conclusión

La diferencia significativa encontrada en los puntos de muestreo 1 y 4 para la concentración de oxígeno disuelto se debió a la pendiente del terreno, sin embargo esto no afectó ni la producción de gas metano ni la actividad hidrolítica de las bacterias debido a que en este punto del biodigestor se encontró la mayor actividad catalítica. Las bacterias con mayor actividad hidrolítica (*Klebsiella*, *E. coli* y *Enterobacter aerogenes*) son microorganismos capaces de fermentar lactosa y producir gases H₂S y H₂; *Shigella* bacteria abundante en las últimas muestras no fermenta lactosa y no produce ácido sulfhídrico. Este dato además de la buena recirculación que se le dio al biodigestor podría ser la causa de la baja concentración de H₂S que se obtuvo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Sandoval C. J., Carreño M., Fernando E., Vergara M. “Caracterización microbiológica de lodos anaerobios utilizados en el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos”. *Scientia et Technica* Año XIII, No 35, Agosto de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. pp. 509-510.
- [2] DeLaval, 2006. Fisiología Básica. Consultada marzo 2011. [Online]. Disponible: http://www.delaval.es/Dairy_Knowledge/EfficientFeeding/Basic_Physiology.htm
- [3] Nava C. y A. Díaz. 2001. Introducción a la Digestión Ruminal. Departamento de Nutrición Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM. Consultada marzo 2011. [Online] Disponible: http://www.veterin.unam.mx/fmvz/enlinea/Ruminal/digest_ruminal.htm
- [4] Soria M., Ferrera R., Etchevers J., Alcántar G., Trinidad J., Borges L., Pereyda G. “Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo”. Revista de divulgación científica, *Terra* volumen 19, No. 4, 2001. pp.354.
- [5] McCarty, P.L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals. Part two, Environmental Requirements and Control. “Chemistry and microbiology”. Vol. 95, No. 10. 1964. pp. 122-123.
- [6] Mejía M., G. 1996. Digestión anaerobica. Folleto Técnico 1. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yuc., México.
- [7] Grant S., Marshalleck A., Brown N. “La producción de la energía y la mitigación de contaminación en las granjas avícolas de Jamaica y Pensilvania”. Fourth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for *Engineering and Technology* (LACCET’2006). Mayagüez, Puerto Rico. 2006. pp.6-8.
- [8] Comisión Nacional de Energía. Consultada abril 2011. [Online]. Disponible: http://www.cne.cl/cnewww/opencms/03_Energias/Otros_Niveles/biocombustible_tipoenergia/biogas.html.

Potencial de degradación de los residuos sólidos confinados en el relleno clausurado de Morelia, Michoacán

José Alfredo Nila Cuevas , Otoniel Buenrostro Delgado
nilajosealfredo@gmail.com

Resumen

La fracción orgánica continúa siendo predominante dentro de la composición de los residuos sólidos, por lo que la estabilización de ésta tiene gran relevancia en la gestión de éstos, particularmente en aspectos de generación de biogás y de costos de la disposición final. Uno de los parámetros más utilizados para estimar la degradabilidad de los residuos sólidos es el contenido de Celulosa-Lignina. El objetivo principal de este estudio fue determinar el contenido de compuestos lignocelulosicos en los residuos sólidos confinados en el relleno clausurado de Morelia. Se tomaron 16 muestras de residuos sólidos, mediante un muestreo aleatorio y se analizó la composición y el contenido de lignina y celulosa. La fase de análisis de laboratorio, consistió en la preparación de la muestra libre de extraíbles con el método estándar *ASTM D1105-56* [1]. Los contenidos de celulosa y lignina se determinaron con el método Wise [2] y el método Colin -Urieta[3], respectivamente. Entre los principales resultados se determinó un 60.5% de fracción orgánica (residuos alimenticios, de jardinería, cartón, madera y papel), el pañal (alto contenido de lignina) con 11.4 % y trapo con 6.15%. Entre los primeros resultados de los análisis de celulosa-lignina, se obtuvieron porcentajes de lignina de 38 % y 14%. Estos resultados indican un gran potencial de biodegradabilidad y de producción de metano en los residuos sólidos confinados en el sitio de estudio.

Palabras Clave: *celulosa, fracción orgánica, lignina, metano*

1. Introducción

El contenido de residuos orgánicos confinados en el antiguo relleno de tierra Morelia, Michoacán, representa un 50% del volumen total de residuos. La degradación de estos residuos conlleva a la generación de líquidos y gases indeseables, lo cual significa un riesgo, directo o indirecto a la salud pública, dependiendo del contacto de la población con dichas emisiones.

La gran mayoría de los residuos orgánicos, presentan componentes lignocelulósicos. Los componentes químicos de los residuos orgánicos que se degradan y tienen gran importancia en la generación de Biogás, los cuales son la Celulosa y Lignina. La celulosa, es un polímero de la D-glucosa, es la sustancia orgánica más abundante en los residuos de origen vegetal [4]; por su lado, la lignina es otro componente orgánico principal de los residuos la cual interfiere con la descomposición de la celulosa y hemicelulosa físicamente impidiendo el acceso microbiano a estos carbohidratos degradables.

2. Materiales y métodos

La investigación se desarrollo en varias fases y actividades.

Fase 1. Toma de muestras de los residuos sólidos.

Se perforaron 16 pozos con una retro-excavadora, seleccionados al azar y localizados en distintas coordenadas geográficas del tiradero. Las muestras fueron etiquetadas y congeladas para los análisis posteriores.

Fase 2. Preparación de las muestras.

Esta fase se realizó en diferentes actividades, para un mejor manejo de las muestras.

Actividad 2. 1. Descongelamiento de las muestras de residuos.

Actividad 2.2. Secado, Selección y cuantificación de subproductos.

Se realizó la selección y cuantificación de subproductos con base en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-022-1985 [5]

Actividad 2.3. Molienda de las muestras.

Las diferentes fracciones se trituraron y tamizaron para obtener una muestra más fina.

Se utilizó un molino de cuchillas (Kika Werke).

Fase 3. Análisis de laboratorio

Los análisis químicos, se realizaron en diferentes actividades de acuerdo a cada una de las técnicas para determinar los componentes lignocelulósicos.

Actividad 3.1. Preparación de los RS libre de extractivos.

Se utilizó el método ASTM D1105-56 [1] para la preparación de la madera libre de extraíbles. Los extractivos consisten de materiales que son solubles en solventes neutros.



Fig. 1. Equipo de reflujo Soxhlet

Actividad 3.2. Determinación de lignina.

La determinación de lignina en las muestras de residuos sólidos se realizó de acuerdo al método reportado por Colín-Urieta [3]. Los análisis se realizaron por duplicado.



Fig. 2. Lavado de la muestra.

Actividad 3.3. Determinación de celulosa.

La determinación de celulosa en las muestras de residuos sólidos se está realizando de acuerdo al método WISE [2] El presente método se basa en la acción del dióxido del cloro cuyos productos de reacción acuosa y caliente hacen que la lignina se separe en forma soluble

Fase 4: Análisis estadístico de los datos.

Los resultados de los análisis de laboratorio, se ordenarán en una base de datos y se procesarán mediante estadística descriptiva.

3. Resultados-Discusiones.

La caracterización de los residuos sólidos oscila del 48 al 85 % de fracción orgánica (Tabla 1). La clasificación de la fracción orgánica se basó en la utilizada en el modelo mexicano de generación de biogás versión 2.0 [6] (Tabla 2).

Tabla1. Porcentajes de la caracterización y del contenido de Lignina

Muestra	% Orgánico	% Inorgánico	% Lignina	% Celulosa
pozo1	85	15	27.09	51.56
pozo2	79	21	28.09	53.31
pozo3	69	31	21.18	37.67
pozo4	66	34	38.52	40.93
pozo5	54	46	11.31	29.52
pozo6	61	39	13.18	52.08
pozo7	64	36	24.71	46.03
pozo8	78	22	14.78	51.63
pozo9	58	42	31.91	39.23
pozo10	67	33	22.79	43.45
pozo11	64	36	34.34	39.91
pozo12	52	48	29.01	44.21
pozo13	61	39	22.84	48.83
pozo14	48	52	18.88	41.93
pozo15	59	41	20.45	38.09
pozo16	62	38	15.41	50.25

*Los porcentajes de celulosa y lignina son del total de la muestra de residuos

Tabla 2. Clasificación respecto a la degradación de los residuos

Fracción Orgánica	
1. Residuo de degradación muy alta	Residuos alimenticios, 20 % Pañal desechable y toalla femenina
2. Residuo de degradación medio rápida	Residuos de jardinería, Residuo fino, algodón, fibra dura vegetal.
3. Residuo de degradación medio lenta	Cartón, Papel, Textiles
4. Residuo de degradación lenta	Madera

Los contenidos de fracción orgánica en las muestras analizadas sugieren altos contenidos de compuestos lignocelulósicos. Los contenidos de lignina y celulosa en las muestras analizadas indican un origen predominantemente vegetal de la fracción orgánica, y por ende, de una degradación medio lenta y lenta, de acuerdo con la clasificación del modelo mexicano de biogás. Asimismo, que la fracción orgánica de degradación medio rápida y rápida (residuos alimenticios y de jardinería, predominantemente) ya fueron degradados, pues el tiempo de confinamiento de los residuos sólidos del cual provienen las muestras analizadas oscila de periodos de tiempo de 10 a 20 años. Lo anterior coincide con estudios previos realizados en otras regiones y con residuos frescos.

4. Conclusiones

Los contenidos de lignina, celulosa y de fracción orgánica en los residuos analizados indican aún un tiempo prolongado para la estabilización de este sitio y por ende, de producción de biogás.

La celulosa y lignina son buenos parámetros para tener una estimación de la estabilización de los residuos sólidos.

Referencias Bibliográficas

- [1]Meltzer Robert L. 1979. Annual Book of ASTM Standars, (Madera y adhesivos vol 22), United States of america; printed in the United States of America, 1979.
- [2]Wise L.E., Murphy M., DÁdieco A. 1946. Clorite holocellulose, its fractionation and beating on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. Paper Trade Journal 122, 35-45.
- [3]Colín-Urieta S., García-Calderon Ma.A., López-Albarrán P., Rutiaga-Quiñonez J.G. 2007. Análisis preliminar de la composición química de la madera de cordia eleanoides DC. 4to. Congreso Forestal, IV Simposio Internacional sobre técnicas agroforestales, III Congreso International de Jóvenes Investigadores DEFORS 2007 y I Taller sobre Silvicultura Urbana y Periurbana. 7 al 11 abril 2011. La Habana, Cuba. pp. 223.
- [4]Wade L. G. Jr. 2006. Química Orgánica. 5ta. Edición. Pearson, Prentice Hall. 1057-1059 y 1095-1096 Pp.
- [5]SECOFI (Secretaria de Fomento Industrial) 1985. Norma Mexicana NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-selección y cuantificación de subproductos.
- [6]SCS ENGINEERS. Manual de usuario Modelo Mexicano de Biogás, Versión 2.0, IIE-CONAE SEDESOL,2009.

Reciclaje en una empresa purificadora de agua empleando programas del municipio de Orizaba, Veracruz

Ismael Alatríste Pérez, Edilberto Gracia Castellanos
api172002@yahoo.com.mx

Resumen

En Orizaba, Veracruz, México., se inició el programa BARRELE coordinado por la Dirección de Limpia Pública, el proyecto pretende la recolección, clasificación y comercialización de aquellos residuos que puedan ser empleados, el manejo eficiente de los residuos generados por la ciudad y representa una de las prioridades para todo ayuntamiento, siendo una de las alternativas más productivas con fines de reciclaje. Productos industrializados es una empresa que se dedica al envasado de agua purificada embotellada en presentación de 500 ml y 1.5 L., se localiza en el municipio de Orizaba, la empresa tiene once áreas, y en ellas se generan por mes; 50 kg., de cartón, 10 kg., de plástico, 5 kg., en residuos sanitarios y 1 kg., de materia orgánica (restos de comida), los cuales son recogidos y almacenados para su transporte y disposición por una empresa privada que se le pagan \$ 123 pesos por mes. Es por ello que se implementó un programa de reciclaje que consiste en almacenar plástico y cartón generados en las áreas, con el propósito de intercambiar los kilogramos de residuos reciclables por vales en puntos que son emitidos por el programa del municipio de reciclado y que posteriormente se intercambiaron por productos de la canasta básica. Este programa generó: despensas para los trabajadores, evitar el pago mensual que se realizaba de \$ 123 pesos por la recolección y el transporte de residuos, así como la disminución del 90 % de residuos.

649

Palabras Clave: *empresa, programa, reciclaje*

1. Introducción

La minimización de los residuos sólidos urbanos (RSU) se hace cada vez más necesaria en México ya que el incremento poblacional y la urbanización acelerada del país han ocasionado un flujo de basura incontrolada en los municipios provocando costos sociales y económicos crecientes asociados a su recolección, manejo y disposición final [1].

Por otra parte, la demanda también creciente de los recursos naturales renovables está obligando a que estos sean utilizados de manera racional y sostenida para evitar su agotamiento. En los RSU existen numerosos subproductos que pueden ser nuevamente utilizados como materia prima. El retiro de materiales reutilizables o reciclajes del flujo de la basura disminuye el volumen y la cantidad de desperdicios que son enviados para su disposición final, lo cual resulta del beneficio para el medio ambiente [1].

El *reciclaje* es la práctica más común y apropiada para productos que se usan y son arrojados constantemente por usuarios cuando se ha finalizado su vida útil. La colaboración de los consumidores es crucial [2].

En este sentido, Ponte de Chacín (2008) señala que el reciclaje presenta numerosas ventajas: disminuye la contaminación y fortalece la conservación de los recursos naturales, favorece la conservación de la energía porque se requiere menos para hacer los productos de materiales reciclados, evita los costos de disposición de desechos en los rellenos sanitarios, disminuye el volumen de basura que va a los rellenos y prolonga la vida de los rellenos, los programas de reciclaje pueden ser competitivos con los costos de los rellenos sanitarios, crea trabajos y hace las

industrias de manufacturas más competitivas, suministra a las industrias de fuentes menos costosas de materiales y en términos de costos traslada las ventajas a los consumidores quienes gastan menos en productos y en empaquetamientos, fomenta la disciplina social en el manejo de los desechos, induce al respeto por la naturaleza y promueve las organizaciones de las comunidades [3].

El proceso de reciclaje, para el cual se requiere separar los residuos, incorpora tres instancias: los centros de acopio de residuos, las empresas recicladoras y las industrias que compran los residuos de las anteriores [4].

Actualmente, el reciclaje se considera a escala mundial como una importante alternativa para reducir la cantidad de basura doméstica, al mismo tiempo que disminuir los costos de tratamiento y los problemas ambientales que surgen por la acumulación de la basura. [5]

1.1 Productos Industrializados

Productos Industrializados se dedica a la elaboración de agua embotellada de 500 mL y 1.5 L. El producto requiere para su producción de los siguientes materiales; envase, tapa, etiqueta y caja. Estos materiales para mantenerlos en buen estado están protegidos durante su transporte. El envase es transportado en pallets los cuales constan de niveles y llegan protegidos por emplayado plástico, así como bases de madera para su estabilidad, la tapa llega en bolsas y caja para mantenerlo libre de polvo, la etiqueta se transporta en rollos los cuales se cortan posteriormente para etiquetar el envase y la caja llega a la empresa en amarres de 25 piezas. La empresa tiene 11 áreas y son; producción, recepción de envase, armado de caja, estancia temporal de producto terminado, laboratorio, cuarto de recepción, cuarto de muestras para control de vida de anaquel, oficina, bodega, baños y cuarto de mantenimiento [4].

1.2 Programa del Municipio “BARRELE”

En Orizaba, Veracruz se tiene el Programa **BARRELE** dirigido por la Dirección de Limpia Pública que pretende la recolección, clasificación y comercialización de aquellos residuos de la basura que puedan ser reutilizados. El objetivo del manejo eficiente de los residuos generados por la ciudad, representa una de las prioridades para todo ayuntamiento, siendo una de las alternativas más productivas para la disminución y comercialización de los mismos con fines de reciclaje [6].

Dentro de las ventajas se mencionan; mejora del medio ambiente, disminuir la cantidad de residuos que se llevan a los rellenos sanitarios, creación de conciencia hacia el medio ambiente que perdure a través de los años, disminuir costos por la recolección y manejo de residuos.

Los métodos de operación y canje se mencionan a continuación; Los camiones hacen una ruta (x) una vez por semana y se recolecta exclusivamente material separado y limpio, el cual se destinará a un centro de acopio. Los camiones de recolección están equipados con báscula con la que se pesa el material separado y limpio para posteriormente realizar una contra entrega de vales en puntos como se observa en la tabla 1. [6]:

Tabla 1, Valor de los materiales reciclajes en puntos

Material	Puntos
1 Kilo de vidrio	10
1 Kilo de papel ó cartón	20
1 Kilo de metal	10
1 Kilo de plástico	20

Los puntos se canjearán de acuerdo al siguiente producto como se muestran en la tabla 2.

Tabla 2, Canje de los productos

Producto	Puntos acumulados
Aceite	200
1 L de leche	200
1 Kg de frijol	200
1 Kg de arroz	200
Jabón de tocador	150
Pasta para sopa	150

Una despensa con todos estos productos equivale a 1100 puntos. Los productos se canjeán el primer viernes de cada mes en la explanada del Palacio Municipal. Las personas que por razones de trabajo no puedan dar su material en el momento de la visita podrán solicitarlo.

Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo reducir los residuos reciclables generados en Productos Industrializados, haciendo uso de los programas del municipio y con ello evitar que estos sean depositados en el relleno sanitario intermunicipal [6].

2. Desarrollo

2.1 Situación del manejo de residuos sólidos en empresa.

El presente trabajo se realizó de febrero a Junio y se inició con la observación del manejo de residuos en la empresa; generación, recolección, almacenamiento, transporte y disposición final. Se cuantificaron los residuos que se generan en cinco días en las once áreas; producción, recepción de envase, armado de caja, estancia temporal de producto terminado, laboratorio, cuarto de recepción, cuarto de muestras para control de vida de anaquel, oficina, bodega, baños, cuarto de mantenimiento. Se investigó en el municipio de Orizaba sobre los centros de reciclaje y el material que compran, sus precios y la posibilidad de recogerlos en la empresa, así mismo los programas de reciclaje que el municipio realiza. Se etiquetaron los contenedores con la leyenda de residuos orgánicos e inorgánicos y se realizó una reunión informativa con todo el personal convocándolo para que participaran en la separación de los residuos sólidos y se expusieron los beneficios que se obtenían para el medio ambiente y para la empresa. Posteriormente se realizó la observación diaria de lunes a viernes para confirmar que se comprendieron las actividades de separación. Y se capacito a dos personas para la recolección de los residuos sólidos.

3. Resultados y Discusión

3.1 Manejo antes de iniciar programa

Antes de iniciar el proyecto se tenía en todas las áreas contenedores para colocar los residuos sólidos pero estos se mezclaban y se ensuciaban, la recolección la realizaba una persona e iniciaba en el cuarto de mantenimiento y concluía en el mismo lugar tardándose 15 minutos en toda la actividad empleaba diariamente una bolsa grande para colocar todos los residuos generados en la misma y eran almacenados en el cuarto de mantenimiento los residuos eran recolectados por una empresa privada los días viernes pagando por mes \$ 123 pesos y estos eran depositados en el relleno sanitario intermunicipal.

3.2 Cuantificación de los residuos sólidos

Se encontraron cuatro centros de reciclaje en el municipio de Orizaba ubicados en lugares accesibles para la comunidad y se compararon los precios de compra de los reciclables pero de los que se generan en Productos Industrializados, sólo el cartón lo compran en los cuatro lugares. En el municipio se realiza el programa “BARRELE”, el cual recoge los reciclables el día viernes de 15 a 17 hr., y va hasta el lugar en donde le solicite sin costo alguno. Se cuantificaron los residuos por una

semana en todas las áreas y se obtuvo la información que se muestra en la tabla 3., así mismo en la tabla 4 se muestran los residuos generados durante el estudio.

Con base en la información obtenida, se decidió hacer uso del programa del municipio y en la cuarta semana del mes recogía los reciclables, estos eran pesados con una báscula romana y entregados a cambio de una nota con los kilogramos obtenidos, en el mes de julio se intercambiaron los 6,600 puntos generados durante el trabajo y se lograron seis despensas, las cuales se recogieron en el municipio y posteriormente se entregaron en una reunión con los trabajadores para agradecer su apoyo y continuar con el programa de reciclaje.

Se evitó el pago de \$ 123 por mes, es decir, \$ 615 durante el estudio, así como el impacto que estos originan al medio ambiente. Finalmente se concluyó con la elaboración de un procedimiento para el seguimiento del programa de reciclaje con la finalidad de incluirlo en la carpeta de procedimientos de la empresa.

Tabla 3, Cuantificación de los residuos generados por área

ÁREAS / DÍAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL	MATERIALES RECICLABLES
PRODUCCIÓN	1		0.5		1	2.5	PLÁSTICO
PRODUCCIÓN	0.5		0.5		0.5	1.5	CARTÓN
RECEPCIÓN DE ENVASE	1		1		1	3	CARTÓN
ARMADO DE CAJA	1	1	1	1	1	5	CARTÓN
LABORATORIO			0.5			0.5	CARTÓN
CUARTO DE RECEPCIÓN		1		1		2	CARTÓN
BAÑOS					0.5	0.5	CARTÓN
CUARTO DE RECEPCIÓN	0.1		0.1		0.1	0.3	MATERIA ORGÁNICA
BAÑOS	0.3	0.1	0.5	0.1	0.2	1.2	SANITARIOS
TOTAL (Kilogramos)						16.5	

Tabla 4, Generación de los residuos sólidos por mes en la empresa

MES	PLÁSTICO (Kg)	CARTÓN (Kg)	RESIDUOS SANITARIOS (Kg)	MATERIA ORGÁNICA (Kg)	TOTAL (Kg)
Febrero	10	50	5	1	66
Marzo	10	50	5	1	66
Abril	10	50	5	1	66
Mayo	10	50	5	1	66
Junio	20	70	5	1	96
Total	60	270	25	5	360

4. Conclusiones

Se logró hacer la separación de los residuos en las áreas y son almacenados en la bodega para mantenerlos en buen estado para su recolección y transporte, se seleccionó el programa del municipio BARRELE del cual se intercambiaron un total de 330 kg., reciclajes, lo que equivale a 6600 puntos y dio como beneficio seis despensas las cuales fueron entregadas a los trabajadores, se evitó el pago de \$ 615 pesos durante el estudio, se redujo el 90 % de los residuos generados, los cuales serían depositados en el relleno sanitario e instalar un procedimiento para la recolección de reciclajes, el cual no existía antes. Por lo anterior en la medida que como ciudadanos vayamos creando conciencia de la importancia de reciclar, se puede solicitar a las autoridades un mejor manejo de los residuos sólidos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Maldonado L. Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: estudio de caso. Ingeniería revista Académica. Vol. 10(1). 2006. Pp. 59 – 68.
- [2] González Torre P.L. y Adebso Díaz B. Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling. Waste Management. Vol. 1 (25). 2005. Pp. 15 - 23
- [3] Ponte de Chacín C. Manejo integrado de residuos sólidos: Programa de reciclaje. Instituto Pedagógico de Caracas. Revista de Investigación. Vol. 1(63). 2008. Pp. 173 - 200.
- [4] Alatraste Pérez I. 2006. Notas del manejo y aprovechamiento de los residuos generados en una planta purificadora de agua.
- [5] Colomer Mendoza, F.J. y Gallardo Izquierdo A. Tratamiento y gestión de residuos sólidos. 1era. Edición. 2009. Editorial Limusa. México DF. Pp. 165 – 167.
- [6] H. Ayuntamiento Constitucional de Orizaba, Dirección de Limpia Pública-Coordinación de Reciclado.2004. Programa BARRELE “Un gobierno para todos”.

Secado de residuos de jardinería en reactor mediante procesos biológicos

Lidón Herrera Prats, *Francisco J. Colomer Mendoza, Fabián Robles Martínez, Antonio Gallardo Izquierdo, Mar Carlos Alberola

*fcolomer@emc.uji.es.

Resumen

El biosecado consiste en disminuir la humedad y estabilizar la materia biodegradable para obtener un producto útil como combustible o como paso previo a su depósito en vertedero. Para ello, se aprovecha el calor de la fermentación aerobia de la materia biodegradable. Los parámetros que controlan el proceso son: aireación, temperatura alcanzada y humedad inicial. En este trabajo, se ha empleado como sustrato los residuos de jardinería de la Universidad Jaume I de Castellón. El biosecado se ha realizado en unos reactores de 25 litros de capacidad de modo que se aproveche el calor generado en la fermentación. Para favorecer la aireación se ha aprovechado la capacidad texturizante de los restos de poda triturados además de un caudal de aire forzado que facilita la desecación por medio de la evaporación por convección. Así pues, se han conseguido en unos tiempos de secado de 20 días, reducciones de volumen entre el 40 y el 60% y de peso sobre el 40-57%. El residuo final reduce su humedad hasta un 56% y tiene un poder calorífico final (unas 2.000 kcal/kg) adecuado para ser usado como combustible.

Palabras Clave: *biosecado, estabilización, fermentación aerobia, poder calorífico, texturizante*

1. Introducción

En este trabajo, se desarrolla un proceso de biosecado mediante reactores en los que se ha depositado residuos de jardinería. En anteriores experiencias realizadas por este equipo de investigación, se emplearon tanto los reactores como el biosecado mediante invernaderos, con diferentes mezclas de producto, proporciones y caudales; obteniéndose resultados de descenso de peso, volumen y humedad significativos.

1.1 Descripción del biosecado

En este trabajo, se plantea la disminución de la humedad mediante la técnica conocida como biosecado. El biosecado consiste en eliminar parte de la humedad y estabilizar la materia orgánica biodegradable para reducir el peso y volumen para su deposición final, obtener un producto que puede ser utilizado como combustible o simplemente, para abaratar los costes de transporte. Para ello, la acción combinada del calor generado en la fermentación aerobia de la materia biodegradable y un adecuado flujo de aireación, facilitarán que el porcentaje de humedad baje, además de producirse una considerable pérdida de peso y volumen. Por consiguiente, el producto ya biosecado podrá tanto valorizarse energéticamente, como ser llevado a un vertedero, pero en esta ocasión con una menor carga ambiental. Esto es debido a que se trataría de un residuo estabilizado sin apenas generación de lixiviado y con menor cantidad de humedad y peso.

1.2 Parámetros de control en el biosecado

En el proceso de biosecado, la circulación de aire forzado a través de la pila formada de residuos y el calor producido en las reacciones de degradación aeróbica de la materia orgánica permiten la evaporación del agua contenida en los residuos [1]. De todos modos, el secado no sólo es producido por estas dos únicas causas, si no por algunas variables más que se encuentran íntimamente ligadas,

siendo en ocasiones difícil discernir qué parámetro ha forjado un cambio significativo en el biosecado.

Tipo de muestra: El tipo de muestra tratada determinará las condiciones que se produzcan en el biosecado. Es decir, las características del material establecerán tanto el resultado positivo del biosecado, como la duración del mismo.

Tiempo de permanencia: El tiempo de permanencia es el periodo de funcionamiento del experimento, que vendrá establecido por la progresiva caída de temperatura del interior del residuo y de la humedad inicial de la muestra.

Microorganismos responsables del biosecado: En el proceso de biosecado la fermentación se realiza por medio aerobio siendo la masa de residuos atacada por una población de microorganismos que se nutren de los componentes más digeribles produciendo calor [2].

Temperatura: La temperatura es un parámetro clave en el biosecado, no sólo influye la temperatura del exterior del reactor si no que la actividad microbiana hace que esta temperatura aumente. Una parte del calor generado biológicamente servirá para favorecer el crecimiento y la conservación de los microorganismos presentes, mientras que el resto sirve para mejorar la evaporación del agua en la matriz porosa [3]-[4].

Humedad: La presencia de nutrientes y humedad en el sustrato propiciará la proliferación de bacterias que degraden la muestra [5].

Aireación: El flujo de aire forzado es necesario para proporcionar oxígeno a las bacterias aerobias, eliminar el agua de la matriz y arrastrar la humedad ambiental hacia el exterior del reactor [6].

Adición de material texturizante (MT): En algunos estudios la presencia de material de granulometría mayor que el residuo biosecado influye positivamente en el secado, ya que se favorece la aireación en el interior de la pila [7] – [8].

2. Objetivos

En el proceso de biosecado los parámetros de control del proceso están fuertemente ligados, y por ello es clave investigar cómo pueden afectar al rendimiento del secado y estabilización de los residuos tratados. El objetivo fundamental será estudiar la reducción de humedad, peso y volumen en los reactores. Para ello, es necesario realizar diversas variaciones atendiendo a las variables principales que afectan al funcionamiento del proceso:

- Determinar el efecto de la ventilación.
- Hallar un tiempo de permanencia óptimo.
- Estudiar la evolución del biosecado dependiendo del tipo de muestra.
- Contrastar la eficiencia mediante la adición de material texturizante.

Una vez biosecado el residuo, éste aumenta su poder calorífico. Dependiendo del resultado de las distintas experiencias, la muestra podrá ser utilizada para varios usos, aunque el más sostenible desde el punto de vista ambiental sería la incineración previo pelletizado del residuo.

3. Material y métodos

En este proyecto de biosecado a escala de laboratorio, se sometieron muestras de césped procedentes de la zona verde de la Universidad Jaume I de Castellón en cuatro bidones. En cuanto al emplazamiento de los reactores, éstos están ubicados en una sala cerrada donde se monitorea la temperatura y la humedad del aire. El caudal de aire forzado que deseca el residuo de jardinería se

inyecta por los cuatro soplantes y se libera por un orificio situado en la tapa del bidón. En el caso del lixiviado generado, se recoge de forma diaria mediante una abertura en la parte inferior del bidón (Figura 1).

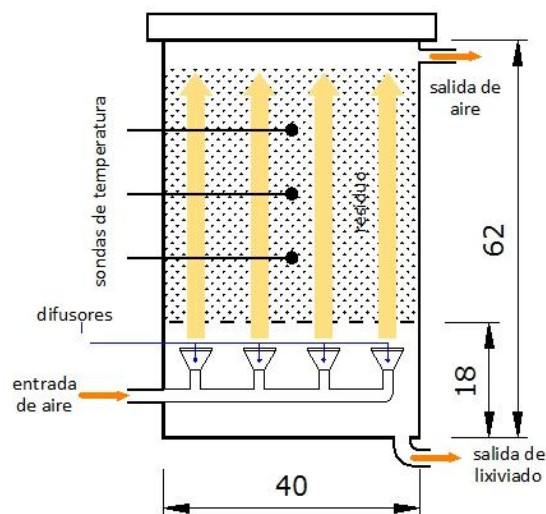


Figura 1. Esquema de los bidones para el biosecado (cotas en cm)

Cada reactor tiene una capacidad de 25 litros, repartidos en dos compartimentos; el inferior ocupará una altura de 18 cm y albergará 4 difusores apoyados en las paredes de un cilindro hueco de 40 cm de diámetro. En el compartimento superior se dispone una base metálica que funciona como retén de los residuos, sobre la cual se deposita el volumen de muestra para biosecar.

3.1 Descripción de la experiencia

Las muestras de césped necesarias para este experimento se recogen de los contenedores donde se depositan los restos de poda de la Universidad. Se disponen 4 reactores cargados con 7 kg de césped cada uno, con diferentes caudales de suministro de aire desde 2 L/min hasta 8 L/min (ver Tabla 1) que corresponden a unos caudales por kg de materia seca de 1.21 a 4.85 L/min·kg m.s.

3.2 Recogida de datos

Una vez cargados los bidones y se comienza con la inyección del caudal de forma continua durante 20 días. Durante este periodo se monitorea el aire de la sala donde se ubican los bidones, además de controlar diariamente los siguientes parámetros:

Recogida de lixiviados, medición de volumen y pH de los mismos: una vez anotado el volumen diario generado de lixiviados, se analiza el pH.

Control del descenso de peso de los bidones: se anota la reducción de peso del bidón con una balanza portátil. Esta disminución está relacionada con la pérdida de humedad de la muestra.

Registro de la temperatura y humedad del aire de salida: mediante un termohigrómetro marca Testo modelo 925 se registran ambos parámetros tres veces al día.

Control de temperatura interna: se miden también tres veces al día la temperatura en el centro de la pila de residuos en tres puntos a diferente altura mediante sondas de compost marca Leybold Didactic GmbH modelo 666 210.

Análisis del gas de escape: se chequea dos veces al día la composición del gas de escape de los reactores (CH_4 , CO_2 , O_2 , SO_2 y NH_3) mediante un analizador portátil Dräger modelo SEP 8314060.

Después de los 20 días, se descarga el bidón y se toman muestras del residuo biosecado para analizar su humedad. Para ello se secan en la estufa a 105 °C siguiendo el proceso normalizado de la norma UNE 32-002. El residuo seco se tritura en molino de cuchillas hasta un tamaño de partícula en el que el 98.75% pasan por un tamiz de 2 mm. El residuo se mezcla de forma homogénea y se determina el poder calorífico mediante calorímetro isoperibólico (UNE 32 006:1995). El contenido en nitrógeno se analiza mediante el equipo de conductividad térmica (LECO FP-528®). Carbono y azufre se determinan con equipo de espectrometría infrarroja (LECO SC 144 DR®) y el hidrógeno se determinó por espectrometría atómica de masas. Mediante las normas UNE 32-004-84 y UNE 32-019-84 se investiga también el contenido en cenizas y sólidos volátiles respectivamente de bidón. Los datos mostrados son el promedio de cuatro análisis en todos los casos. Con estos datos se puede estimar las condiciones en las que se realizará la valorización energética. Con el poder calorífico inferior (PCI) del residuo se podrá prever el calor que se va a desprender, lo cual puede ser transformado en energía eléctrica. Con el contenido en sólidos volátiles, carbono, azufre y nitrógeno se podrán estimar las emisiones de gases contaminantes en el proceso de combustión (CO_2 , NO_2 y SO_2) y determinará la necesidad o no de instalar sistemas de depuración de gases. Por último, el contenido en cenizas obtenido de las muestras determina el peso del residuo (escorias) que quedarán tras la incineración.

4. Discusión de resultados

Los reactores se llenaron con césped con una humedad del 76.41%, reduciéndose hasta alcanzar un 44.78% de humedad en el reactor 4 frente a 60.78% del reactor 1 (ver Tabla 1). La disminución de volumen ha estado comprendida entre el 40% y el 60%. Únicamente en los reactores 1 y 2 se genera lixiviado, obteniéndose como máximo un 2.49% de agua convertida en lixiviado en el reactor 1, el resto se elimina por la acción combinada del caudal de aireación y la acción de las bacterias presentes en la muestra. Por otro lado, se determinó el PCI de las muestras después de 20 días en los que se llegó a un aumento del 335.7% (desde 452.45 kcal/kg hasta 1971.23 kcal/kg) en el reactor con mayor tasa de aireación (reactor 4).

Tabla 1. Resumen de la experiencia

Reactor	Tasa de aireación		% H ₂ O convertida en lixiviado	% agua evaporada	% pérdida de peso	% incremento PCI
	L/min·kg	L/min				
	2	1.21	2.49	52.16	39.86	159.9
2	4	2.42	1.93	68.80	52.27	277.4
3	6	3.64	0	71.98	55.00	305.9
4	8	4.85	0	74.97	57.29	335.7

Tanto la pérdida de peso como la disminución de humedad cambian la pendiente mayor medida que aumenta la tasa de aireación (Figura 2). En esta experiencia de biosecado se observa que los caudales de 4, 6 y 8 L/min muestran un comportamiento similar sin diferencias muy destacables a pesar de la diferencia que existe en el caudal de aireación. En este sentido, el fino equilibrio que existe entre las variables que afectan al biosecado es de especial importancia, ya que se comprueba que el incremento progresivo de caudal no repercute en una disminución proporcional de la humedad ni del peso. Se puede observar además la doble tendencia que existe entre los primeros 10 días y los últimos donde las pendientes son diferentes, siendo más acusada la correspondiente a la segunda mitad. Como se observa en la Figura 3 el porcentaje de pérdida de peso aumenta en un 31.13% del reactor 1 al reactor 2, mientras que del reactor 2 al reactor 3 hay un incremento del 5.2%, y del reactor 3 al reactor 4 sólo del 4.2%. Con esto, se deduce que el aumento de caudal no es linealmente proporcional a la pérdida de peso.

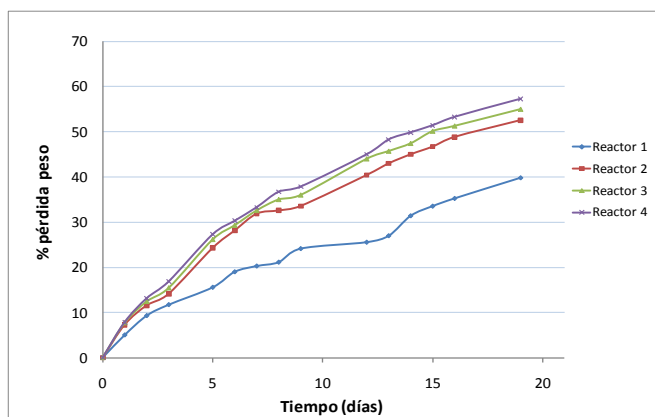


Figura 2. Evolución del porcentaje de pérdida de peso

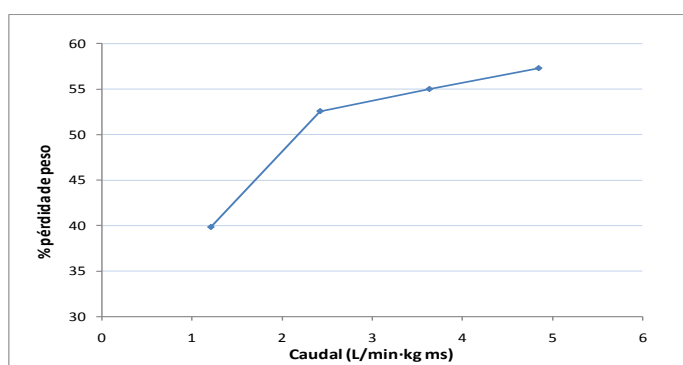


Figura 3. Variación de la pérdida de peso respecto al caudal

5. Conclusiones

En el presente estudio se ha secado césped segado mediante dos fuentes de energía. En primer lugar, el calor producido por la fermentación aerobia y en segundo lugar, el arrastre de humedad por convección. El aumento de temperatura favoreció la evaporación del agua contenida en el sustrato y el caudal de aire suministró oxígeno a los microorganismos aerobios y arrastró esta agua.

Se instalaron cuatro reactores con la misma cantidad de sustrato y con distintos caudales de aire para comprobar el efecto de distinta aireación en el tiempo del biosecado. El tiempo de biosecado fue de 20 días. La reducción de humedad osciló entre 20.45% (reactor 1). 34.21% (reactor 2). 37.72 (reactor 3) y 41.39% (reactor 4). lo cual demuestra que a mayor caudal, la pérdida de peso es mayor. Sin embargo, esta relación no es lineal ya que el mayor incremento de pérdida de peso se produjo entre el reactor 1 y el reactor 2.

De este modo, se obtuvo una reducción de peso entre el 40% y el 57% y una reducción de volumen entre el 40% y el 60%. lo cual minimizaría los costes de transporte entre los lugares de generación y los sitios de procesamiento o eliminación.

Con las humedades finales obtenidas se consiguió ralentizar la actividad microbiana y por tanto, estabilizar los residuos.

Así pues, el siguiente paso será comprobar el caudal óptimo desde el punto de vista económico y energético para secar los residuos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España por la financiación concedida mediante el proyecto ACI2009-0993 en la modalidad Convocatoria de Ayudas del Programa Nacional de Internacionalización de la I+D. Subprograma de Fomento de la Cooperación Científica Internacional (ACI-PROMOCIONA).

Referencias Bibliográficas

- [1] Velis. C.A.; Longhurst. P.J.; Drew. G.H.; Smith. R.; Pollard. S.T.J. “*Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering*”. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100. pp. 2747-2761.
- [2] Madigan. M.T. y Martinko. J.M. *Brock Biology of Microorganisms*. Prentice Hall. 2006. Upper Saddle River.
- [3] Bailey. J.E. y Ollis. D.F. *Biochemical Engineering Fundamentals*. Mc Graw-Hill International Editions Inc. 1986. New York. NY.
- [4] Prescott. L.M.. Harley. J.P. y Klein. D.A. *Microbiology*. W.C. Communications Inc. 1993. Dubuque. Iowa.
- [5] Zhang. D.Q.; He. P.; Shao. L.; Jin. T.; Han. J. “Biodrying of municipal solid waste with high water content by combined hydrolytic-aerobic technology”. *Journal of Environmental Sciences*. 2008. Vol. 20. pp. 1534-1540.
- [6] Roy. G.. Jasmin. S. and Stuart. P.R. “Technical modelling of a bath biodrying reactor for pulp and paper mill sludge”. 2006. Prague. Czech Republic. 17th CHISA International Congress of Chemical and Process Engineering.
- [7] Robles. F.; Ramírez. I.; Piña. A.B.; Colomer. F.J. “Efecto de la adición de agentes estructurantes a residuos horticolas en tratamientos aeróbicos”. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* . 2010. Vol. 2 (1). pp. 45-51.
- [8] Yañez. R.. Alonso. J.L. and Díaz. M.J. “Influence of bulking agent on sewage sludge composting process”. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100. pp. 5827-5833.

“Separación” a siete años de su nacimiento: Los avances hacia la consolidación

Rosa María Espinosa Valdemar, Alfonso de la Torre Vega, Alethia Vázquez Morillas, Roberto Carlos Vázquez Solís

rmev@correo.azc.uam.mx

Resumen

Desde octubre de 2003 el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UAM Azcapotzalco, “*Separación Por un mejor UAMambiente*”, se puso en marcha como parte de las acciones que se efectúan en el campus con miras hacia la sustentabilidad. En este trabajo se muestran los resultados a siete años de sus actividades en cuanto a separación de residuos, almacenamiento, envío a reciclaje y mejoramiento en la infraestructura del Programa, así como las campañas de concientización y educación que se han realizado en la comunidad universitaria. Hasta la fecha se han enviado a reciclaje 64,366 Kg de residuos recuperables, los cuales se desglosan en las siguientes cantidades: 6,358 Kg de envases de PET, 11,037 Kg de envases multicapa, 110 Kg de latas de aluminio, 9,418 kg de vidrio, 20,973 Kg de papel y 16,470 Kg de cartón. También se presentan los avances en el programa de separación de papel y residuos recuperables en áreas administrativas y académicas del campus.

Palabras Clave: *clasificados, envases recuperables, reciclaje, residuos, separación*

660

1. Introducción

La Universidad Autónoma Metropolitana Campus Azcapotzalco (UAM-A) se encuentra situada en el norte del Distrito Federal, tiene una superficie de 20 ha., una población de 14,000 alumnos y 2800 trabajadores entre personal docente-investigador y administrativo con una superficie construida en planta de 13 ha. y una extensión de 7 ha. de áreas biodiversas. Con una generación promedio de 7.7 tons. de residuos sólidos urbanos (RSU) a la semana, de los cuales 1.7 tons. son de residuos de jardinería; una generación per cápita de 0.100 kg.

2. Antecedentes

En un contexto donde la dinámica ambiental cobra relevancia global y donde la tercera generación de problemas ambientales entre los que se encuentran el calentamiento global, el agotamiento de la capa de ozono, la disminución de recursos naturales entre otros, ponen en el tapete de la discusión el nuevo papel que la gestión ambiental debe enfrentar bajo un contexto de cambio permanente (Alfie, M., 2005). En este sentido, un grupo interdisciplinario académico-administrativo trabajó en el diseño de Separación por un periodo de 18 meses para sentar las bases que permitieran modificar en primera instancia, la cosmovisión del manejo de la entonces llamada “basura”.

El grupo interdisciplinario que se organizó para trabajar la adaptación de la infraestructura existente en el campus, la difusión y promoción, la capacitación y un evento inaugural incluyó:

- a) Profesores-investigadores de las tres divisiones académicas de UAM Azcapotzalco: Ciencias Básicas e Ingeniería, Ciencias Sociales y Humanidades y Ciencias y Artes para el Diseño.
- b) Personal administrativo de las áreas de intendencia, mantenimiento, obras y cafetería.

- c) Personal académico-administrativo de coordinaciones dependientes de la Rectoría como lo es Extensión Universitaria.

La realidad a la que se enfrentó ese grupo se ilustra en la figura 1.



Figura 1. Situación del contenedor de residuos en 2002

Después del periodo de diseño e implementación, se inauguró el Programa el 31 de octubre de 2003 con la presencia del Rector, el Secretario del campus y los directores de las tres divisiones académicas, esto solo fue el inicio de un largo y fructífero camino enfocado en el horizonte de la sustentabilidad.

3. Etapas del Proyecto

El Programa se diseñó con tres objetivos que son concientizar a la comunidad universitaria sobre la problemática de los residuos, cumplir con la legislación e involucrar a toda la comunidad en la separación de los RSU, para lo cual se establecieron tres etapas.

La *primer etapa* se consideró en el 2003 y 2004 para la separación en dos fracciones en pasillos de toda la planta baja, plazas y accesos en dos fracciones, la recuperable que incluye el PET, vidrio, envases de cartón laminado y el aluminio; la otra fracción es la no recuperable, que son aquellos residuos que no se contemplan en la anterior.

Una vez terminada la implementación en toda la planta baja de la Universidad, Separación se amplió en su *segunda etapa* comprendida del 2004 al 2005 a los pasillos del primer, segundo y tercer pisos, y estaba contemplada la separación de papel y recuperables en oficinas académicas y administrativas.

La implementación en los pasillos superiores fue exitosa; la implementación en las oficinas académico-administrativas que se planeó para el 2005 y 2006 presentó diversas problemáticas como las del diseño propio de los contenedores, disponibilidad de recursos económicos para su adquisición, seguimiento y retroalimentación a la primer etapa, salida de algunos integrantes originales del equipo de trabajo y llegada de nuevos, así como problemáticas de carácter sindical que fueron aplazando su ejecución.



Figura 2. Alguno de los diversos diseños preliminares de contenedor para oficinas

El tema de la relación con el sindicato es uno de los puntos de mayor relevancia, ya que en el 2006 y 2007, la UAM-A entró en una etapa de negociaciones con el área de intendencia, donde se presentaron situaciones difíciles en la asignación de recursos humanos para la limpieza de las 20 has. de superficie y el clima laboral no era propicio para incorporar esta etapa, ya que se corría el riesgo de retroceder en los avances logrados en estos primeros cuatro años; por indicaciones de la Secretaría General del Campus, se optó por aplazar la implementación de esta parte de la segunda etapa y entonces se optó por reforzar el Programa en los avances obtenidos hasta ese día.

No fue sino hasta 2010 cuando las condiciones generales permitieron continuar con esta importante etapa; actualmente el Programa ya adquirió 130 botes de acero inoxidable para colocarse en igual número de áreas académico-administrativas y se está ejecutando un Programa Piloto para afinar algunos detalles de esta etapa que si bien, se ha pensado y diseñado rigurosamente, la experiencia en la implementación de este tipo de proyectos ha generado un conocimiento social invaluable el cual indica que ante la diversidad de pensamientos, usos, costumbres y culturas como lo es el crisol de una universidad pública, es necesario afinar ciertos puntos durante la marcha.

Este piloto se efectúa en 7 áreas que van desde las oficinas de la Rectoría y la Secretaría General del campus hasta oficinas de departamentos académicos, a continuación se muestra en la figura 3, el bote del área de la Rectoría-Secretaría.

La recolección de los residuos en oficinas no ha estado condicionada a la instalación de los botes separadores, los operadores del Centro de Acopio efectúan la recolección de papel, cartón, toners y cartuchos de impresión en las oficinas que así lo requieren, a pesar de no contar con los botes.



Figura 3. Contenedor de residuos en la Rectoría-Secretaría

Los objetivos de la tercera etapa son la separación y gestión adecuada a residuos de manejo especial provenientes de laboratorios, talleres, fotocopiado y mantenimiento, así como el diseño, equipamiento y puesta en marcha de la Planta de Composteo del campus, en esta etapa se continúa trabajando.

4. La calidad con enfoque sistémico

En el 2009, la Rectoría y la Secretaría General del campus impulsaron el proyecto de inserción en el esquema de la mejora continua, para ello, se trabajó durante 1 año en la preparación de la auditoría de certificación en ISO 9000:2008.

El Programa, como parte importante de la Oficina de Gestión Ambiental, dependiente de la Secretaría General del Campus, se certificó en dicho sistema de calidad con 2 procedimientos, el de “Recolección de RSU en oficinas” y el de Recepción de RSU en el Centro de Acopio”. Esta certificación ha permitido darle la relevancia debida a este tipo de programas dentro de las instituciones y organizaciones; también ha permitido impulsar el cambio de paradigmas al “certificar la basura” como es común escuchar entre las personas menos receptivas a estos temas, claramente en ellos se está logrando el objetivo de cambiar su percepción y su cultura.

5. Otras consideraciones

El Programa ha incorporado diversos recursos para obtener mejores resultados, tal es el caso del desarrollo de campañas de concientización, elaboración de juegos de mesa, crucigramas, separación en fuente de la Cafetería Universitaria y la vinculación con la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.



Figura 4. Recursos de concientización del Programa

6. Conclusiones

Durante cinco años, del 2005 al 2009, Separación ha permitido el envío a reciclaje de 64,366 Kg de residuos recuperables, los cuales se desglosan en las siguientes cantidades: 6,358 Kg de envases de PET, 11,037 Kg de envases multicapa, 110 Kg de latas de aluminio, 9,418 kg de vidrio, 20,973 Kg de papel y 16,470 Kg de cartón.



Figura 5. Comparativo antes-después del Centro de Acopio

Las estrategias de prevención de la generación de residuos han dado resultados favorables, ya que en el 2001, el campus generaba 1 tonelada de residuos de PET al mes, actualmente con la instalación y operación de 20 bebederos, esta generación se ha reducido a 300 Kg.

De manera general, los registros del Programa indican que la generación continúa en el orden de las 8 tons. semanales, los registros escolares indican para 2010, un incremento en la población de 2000 alumnos, llegando así a una población de 17,000 personas en el campus, a diferencia de las 15,000 personas en 2003, lo cual indica una disminución en la generación de los residuos per cápita del 8.5%.

En el contexto externo a la UAM-A y dado el trabajo continuo e interdisciplinario del Programa, se han podido efectuar los primeros ejercicios de implementación a nivel comunitario, tal es el caso de la Colonia Solidaridad en el Municipio de Tlalmanalco Estado de México, donde se ha trabajado para implementar un Programa de Gestión Integral de Residuos con los criterios de diseño originales, sumando el rescate del conocimiento indígena, las costumbres locales y las tradiciones

de los pueblos originarios del Valle de México que permiten una apropiación efectiva de este tipo de programas (Moctezuma, P., 2006) y posibilitando el retorno del enfoque sistémico del alto desarrollo de estas culturas antes de la llegada de los peninsulares con la conquista (Llanas, R., 1996), distintos a la separación tradicional de la Ciudad de México.

Referencias Bibliográficas

- [1] Alfie Cohen, M. *Democracia y Desafío Medioambiental en México*. 1ª Edición. 2005. Ediciones Pomares. México. pp 31.
- [2] Moctezuma Barragán, P. Espinosa Valdemar, R. de la Torre Vega, A. *¿A dónde irá nuestra basura?*. 1ª Edición. 2006. Universidad Autónoma Metropolitana – Programa de Investigación para la Sustentabilidad Sierra Nevada. México. pp 6.
- [3] Llanas Fernández, R. Mandujano Gordillo, C. Platas López, F. *Residuos Sólidos y Ecología en México, Una Visión Histórica*. 1ª Edición. 1996. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca – Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos y Peligrosos AC. México. pp 11.

Viabilidad del proceso de compostaje con biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de San Miguel de Allende, México

Víctor Ángel Ramírez Coutiño, Francisco Javier Rodríguez Valadez

vcoutino@cideteq.mx

Resumen

El propósito de este trabajo fue examinar la viabilidad de reducir el índice de bacterias coliformes fecales del biosólido generado en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de San Miguel de Allende, México, mediante la técnica de compostaje. Las pilas experimentales contenían biosólido mezclado con pasto de recorte como fuente de carbono adicional y una piedra porosa volcánica llamada tezontle (LPT) o residuos de maleza (LPM) de las áreas aledañas a la Planta de Tratamiento respectivamente. La reducción eficaz de bacterias coliformes fecales se logró en ambas pilas, obteniendo al final del proceso biosólidos excelentes de clase A de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, la cuál especifica los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. En la pila SGW la fase termofílica se mantuvo por 7 días alcanzándose las más altas temperaturas, lográndose la reducción de bacterias coliformes fecales deseadas en 2 semanas, contra 3 semanas que requirió la pila SGT.

665

Palabras claves: *fase termofílica, bacterias coliformes fecales, sustancias húmicas*

1. Introducción

En nuestro país, se ha incrementado considerablemente el número de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, y por ende la cantidad de lodos residuales generados en ellas [1]. Uno de los problemas más importantes en relación a estos lodos sin duda es su disposición final, puesto que estos reciban o no tratamiento tienen que ser dispuestos en algún lado, ya sea en rellenos sanitarios o simplemente sobre la superficie de la tierra. El colocar un lodo residual sobre suelo sin someterlo antes a un tratamiento origina la contaminación del medio ambiente y a su vez un riesgo muy grande para la salud de los seres humanos debido a la gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran en ellos. El compostaje es una alternativa viable, se considera que se destruyen los patógenos casi al 100% y se mineralizan los nutrientes de manera que quedan disponibles para el crecimiento y desarrollo vegetal [2],[3]. Por tal motivo se propone montar un proceso de compostaje con lodos residuales, aprovechando la materia orgánica contenida en ellos con el fin de estabilizar el lodo residual y reducir la población de microorganismos patógenos.

2. Metodología

El lodo residual obtenido de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales ubicada en la Ciudad de San Miguel de Allende, es caracterizado mediante estudios CRETIB según la NOM-052-SEMARNAT-1993 también se realizaron análisis de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002. El análisis CRETIB arroja resultados positivos, pues el lodo cumple satisfactoriamente con esta normatividad siendo no corrosivo, no reactivo, no explosivo, no toxico, no inflamable, pero en lo que respecta a biológico infeccioso no se concluye, sin embargo en el análisis realizado a este mismo lodo según la NOM-004-SEMARNAT-2002, se observa que el único punto que no cumple

es el microbiológico donde sobre pasa el límite Coliformes Fecales, por lo que se puede proceder a la implementación de la composta para la reducción de los mismos. Se comienza acondicionando el área a utilizar para la implementación de composta aeróbica la cual consta aproximadamente de 40 m². El lodo residual se mezcla con agentes volumétricos degradables y no degradables, los degradables aparte de dar volumen a la pila de composteo y romper la morfología del lodo, se van degradando junto con la materia orgánica existente en el biosólido durante el proceso de compostaje, el agente volumétrico degradable utilizado para este proyecto fue pasto, su característica mas importante es que contiene una gran cantidad de carbono y nitrógeno. Los no degradables al igual que los degradables, dan volumen y cambian la consistencia del lodo residual para permitir una mejor oxigenación a través de la pila de composteo. Las relaciones de lodo residual, pasto y tezontle fueron 1:2:0.5 respectivamente, además se utilizo un blanco como referencia que fue precisamente el lodo residual sin agentes volumétricos. La pila de la composta y el blanco son monitoreadas mediante los análisis de temperatura, humedad, pH, DQO y número más probable de bacterias coliformes fecales [4].

3. Resultados

En la figura 1, se muestra que la temperatura máxima fue generada el día 18 por la pila de composta formada de LPM obteniéndose una temperatura máxima de 67° C además generando temperaturas durante 14 días consecutivos arriba de los 45° C y 7 días consecutivos con temperaturas por encima de los 55 ° C lo cuál cumple con las temperaturas establecidas por la EPA para la estabilización de lodos y compostas; estas temperaturas a su vez son parecidas a las originadas de compostas hechas con desperdicios sólidos urbanos [5] y lodos residuales con cáscara de coco y viruta de madera [6] donde se generaron temperaturas entre 45 y 65 ° C.

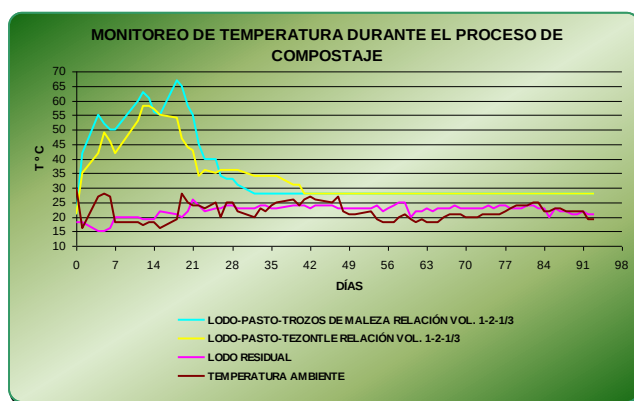


Figura 1. Mediciones de temperaturas en las pilas de compostas y lodo residual durante 3 meses

En la figura 2 se muestran los cambios de % de humedad de las pilas durante el proceso de compostaje, en donde se ve una disminución gradual en las pilas LPM y LPT. La incorporación de los materiales de soporte y fuente de carbono a las pilas, provoca que el porcentaje de humedad disminuya ya que estos contienen un % de humedad menor a la del lodo. Los valores obtenidos del % humedad en LPM y LPT se encuentran dentro de los % recomendados por la NOM-004-SEMARNAT-2002. En la pila del lodo no ocurren cambios significativos, las pequeñas disminuciones de humedad son debidas a la temperatura ambiente y a la aireación que se le proporciona semanalmente en donde el % humedad disminuye tan solo del 85 al 80 % durante todo el proceso.

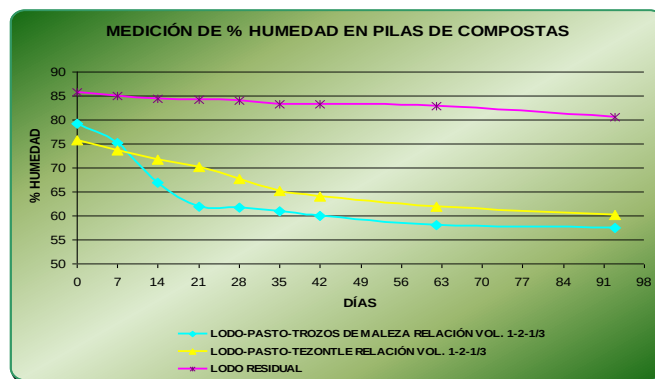


Figura 2. Resultados de % de humedad en las pilas de compostas y lodo residual.

Los valores obtenidos de pH al principio del proceso se encuentran entre 7.44 y 8.10 (ver figura 3). El pH en las compostas LPM y LPT van incrementándose de forma similar conforme transcurren los días, obteniéndose las máximas lecturas entre los días 14 para la pila LPT con un pH 8.40 y 21 en el caso de LPM con pH 8.90. El alto incremento de los valores de pH generado durante el compostaje de lodos residuales ha sido observado por varios autores. Al parecer el aumento del pH, es debido a la degradación de ácidos grasos corto-encadenado y a la amonificación del nitrógeno orgánico. El posterior descenso de pH tendiendo a la neutralidad, se atribuye a la oxidación de amonio por la nitrificación de las bacterias [7],[8],[9].

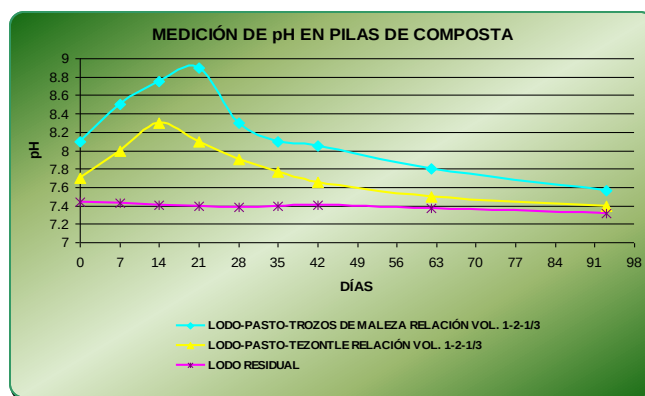


Figura 3. Mediciones de pH en las pilas de compostas y lodo residual a través del tiempo.

Las concentraciones de DQO_s al inicio del proceso de compostaje son semejantes para todas las pilas (figura 4). Al transcurrir el tiempo de tratamiento se observa una clara disminución en los valores de DQO_s , quedando al final del proceso concentraciones de 1,000 mg/l para LPM y de 1,158 mg/l para LPT. Como podemos observar el mayor % de remoción de DQO_s ocurre principalmente en los primeros 21 días precisamente en la etapa termofílica, que es caracterizada por intensa actividad microbiana y las proporciones rápidas de descomposición de materia orgánica. [10],[11]. Al finalizar el proceso mas del 95% de la DQO_s fue removido, por lo que se concluye que el alza de temperatura en las pilas se relaciona directamente con la biodegradación de la materia orgánica contenida en el lodo. La degradación de materia orgánica se realiza de manera más rápida en la pila LPM, lo que es coincidente con la generación de temperaturas mas altas que la otra pila, lo que permite inferir que en estas pilas se tuvieron mejores condiciones para los microorganismos degradadores que en las pilas hechas por tezontle.

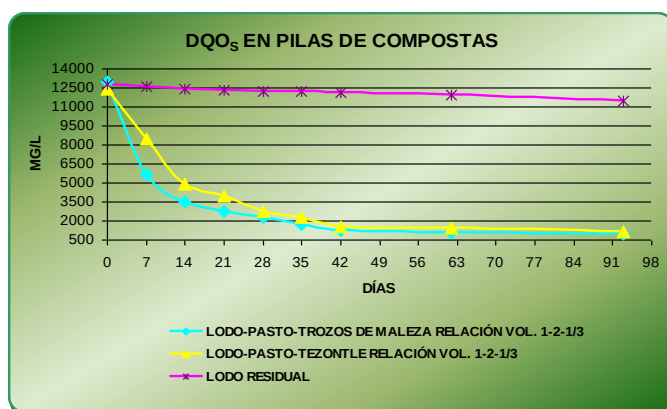


Figura 4. Resultados de DQO₅ en las pilas de compostas y lodo residual.

Los resultados de coliformes fecales en las pilas montadas, indican que el proceso de compostaje es bastante eficiente para su inactivación. En la figura 4, se observa que la pila LPM reduce rápidamente el índice de bacterias coliformes fecales, teniéndose que para el día 14 ya se cumplía con los límites máximos permisibles de la NOM-004-SEMARNAT-2002 para lodos de clase A, B y C; a los 21 días se presentó la máxima remoción de estos.

Para la pila LPT la remoción de bacterias coliformes fecales fue más lenta pero se logró cumplir con la norma para lodos clase C a los 14 días y para los lodos de clase A y B a los 21 días.

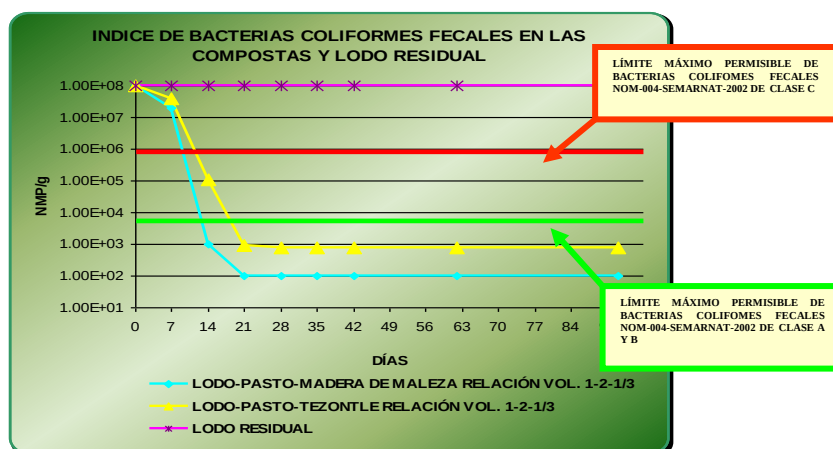


Figura 5. Resultados de remoción de coliformes fecales en las pilas de compostas y lodo residual.

Conclusiones

Debido a las condiciones en las cuales se realizó el proceso de compostaje (pH, humedad, agentes de soporte y fuente de carbono) se pudo llevar a cabo la degradación de la materia orgánica por la actividad microbiana, originando temperaturas elevadas durante el proceso (45-67 ° C). Gracias a las altas temperaturas generadas en las compostas, se pudo llevar a cabo la estabilización del lodo residual, obteniéndose la remoción de las bacterias coliformes fecales, de tal forma que se cumple con los límites máximos permisibles de la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, dando como resultado biosólidos excelentes de clase A para las compostas LPT y LPM.

Referencias Bibliográficas

- [1] IMTA 2002
- [2] Chen, Y., Imbar, Y. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting in relation to compost maturity. In: *Hoitink, H.A.J., Keener, H.M. (Eds.), Science and Engineering of Composting*. The Ohio State University, 1993. pp. 551–600.
- [3] Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R., Melis, P. Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Manage*, 25. 2005. 209–213.
- [4] International Humic Substance Society Method 08, 12, 2001. 05, 17-12. “Test Methods For The Examination Of Composting And Compost”
- [5] Tognetti, C., & Mazzarino, M. J., & Laos, F. Cocomposting biosolids and municipal organic waste: effects of process management on stabilization and quality. Edit. 23 December 2006
- [6] López Armenta, Espinosa Ramírez. Tratamiento de lodos residuales municipales con un proceso aerobio termofílico. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua* 2007
- [7] Michel, F.C., Reddy, C.A. Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production and compost quality in bench scale reactors. *Compost Science and Utilization* 6(4). 1998. Pp. 6-14
- [8] Sánchez, Monedero M. A., Cegarra, J. Chemical and structural evolution of humic acids during organic waste composting. *Biodegradation* 13. 2003. Pp 361-371, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands
- [9] Beck, Friis, B., Smars, S. Composting of source separated household organics at different oxygen levels: gaining and understanding of the emission dynamics. *Compost Science and Utilization*. 1. 2003. Pp 41-50
- [10] Adani, F., Genevini, P.L., Gasperi, F., Zorzi, G. Organic matter evolution index (OMEI) as a measure of composting efficiency. *Compost Science and Utilization* .2. 1997. pp53–62
- [11] Tremier, A., de Guardia, A., Massiani, C., Paul, E., Martel, J.L. A respirometric method for characterising the organic composition and biodegradation kinetics and the temperature influence on the biodegradation kinetics, for a mixture of sludge and bulking agent to be co-composted. *Bioresour Technol*. 96. 2005. Pp 169–180

ÍNDICE DE AUTORES

A

Aguilar	500
Aguilar-Virgen	349
Alatraste	649
Álvarez	606
Arias	275
Armijo	467
Atencio	287
Aviña	236
Ayala	544

B

Baltierra-Trejo	86, 310
Barquín	409
Barranco	117
Beret	151
Beristain	473
Bernache	133, 375
Bernad-Beltrán	112
Blanco	331
Bonive	617

C

Caballero	54
Calderón	121
Cámara	640
Câmara	248
Camargo	64
Cano	507
Carlos	145
Coronado	270
Cortés	488
Coutinho	8
Cruz	139, 421
Cuellar	397

E

Eljaiek	554
Escudero	634
Espinosa	660

F

Favela	482
Fernandes	258
Friesen-Pankratz	451

G

Gallardo	1, 70
García	321, 337
Garduño	42
Gerardo	566
Gómez	299, 304
González	90, 524
Gonzalorenna	403
Guevara	31, 60, 477

H

Herrera	654

I

Ibáñez-Forés	36

J

Jaime	81

L

Laines	612
Leal	204
Llamas	293, 380
Logreira	181, 263

M

Macedo-Miranda	316
Madariaga	456
Magistocchi	157, 220
Mañón-Salas	529
Martínez-Cámara	576, 602
Medina	514
Melero	25
Mendoza	581
Mercante	100
Mérida	560
Miranda	193
Molleda	369
Montiel	241
Morales	226
Munizaga	106

N

Nakasima	535
Narave	462

Nila	645
Núñez	426

O

Oakley	392

P

Palacio	214
Pardo	326, 439
Pérez	621
Pérez-Belis	127
Puma-Chávez	198

Q

Quiñones	187

R

Rabell	519
Ramírez	571, 665
Rangel	433
Rauek	48
Rey	15
Rodríguez	95
Rojas	209, 343
Romero	76, 355

Romero-Hernández	415
Ron	445
Rosales	169

S

Salazar	630
Saldaña	361
Santillán	281
Serrano	549, 587
Sisa	386
Szantó	598

T

Taboada-González	175
Tello	626
Torres	253

V

Valera	163
Velásquez	231
Vidal	494

Z

Zendejas	592

