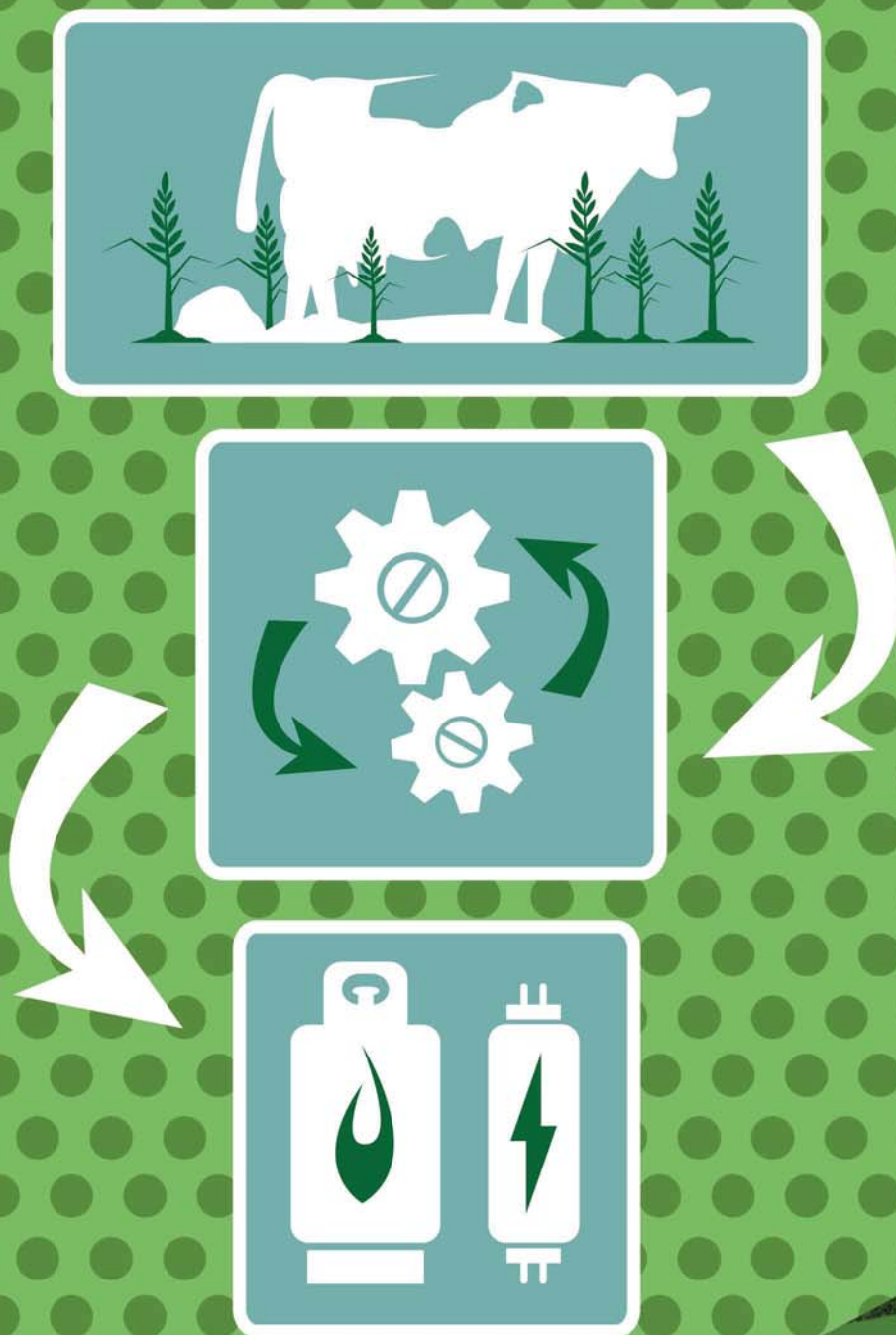


Los residuos como recurso

ISSN: 2395-8170



ISSN: 2395-8170 2018 Vol 11, Num. 1



Título de la obra: Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos

Subtítulo: Los residuos como recurso

Compiladores: Sara Ojeda Benítez, Samantha Eugenia Cruz Sotelo, Beatriz Adriana Venegas Sahagun, Gerardo Bernache Perez, Maria del Consuelo Mañon Salas y Alethia Vazquez Morillas.

Diseño de portada. Gabriel Alfonso Guardado Méndez estudiante de Diseño Gráfico, UABC

Editorial: Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C.
<http://www.somers-ac.org>

Los trabajos incluidos fueron arbitrados por pares académicos. Se privilegia con el aval de la Editorial.

Información Legal

ENCUENTRO DE EXPERTOS EN RESIDUOS SOLIDOS, año 11, No. 1, Octubre 2017-Octubre 2018, es una publicación anual editada por la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C., Priv. Molcajete No. 44. Hacienda de las Fuentes, Calimaya, Estado de México, Mexico, C.P. 52227, Tel. (722) 5097824, www.somers-ac.org. Editor responsable: Dra. María del Consuelo Mañón Salas. Reserva de Derechos al uso Exclusivo No. 04-2014-112714070200-203 **ISSN: 2395-8170**, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C., Dra. Sara Ojeda Benitez, Benito Juarez y calle de la normal s/n Insurgentes Este Mexicali C.P. 21290. Fecha de última modificación, 20 de junio de 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C.

COMITÉ TÉCNICO CIENTÍFICO

COMITÉ NACIONAL

Dr. Gerardo Bernache Pérez	Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
Dr. Ricardo Herbé Cruz Estrada	Centro de Investigación Científica de Yucatán
Dr. José Gonzalo Carrillo Baeza	Centro de Investigación Científica de Yucatán
Dra. Irma Robles Gutiérrez	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica
Dr. Fabian Robles Martínez	Instituto Politécnico Nacional
Dra. Ana Belem Piña Guzmán	Instituto Politécnico Nacional
Dra. María del Consuelo Hernández Berriel	Instituto Tecnológico de Toluca
Dra. María del Consuelo Mañón Salas	Instituto Tecnológico de Toluca
Dr. Isaías de la Rosa Gómez	Instituto Tecnológico de Toluca
Dra. Maria del Carmen Carreño de León	Instituto Tecnológico de Toluca
Dr. Francisco Javier Illescas Martínez	Instituto Tecnológico de Toluca
Dr. José G. Melero Olaguez	Instituto Tecnológico de Mexicali
Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Sara Ojeda Benítez	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Paul Adolfo Taboada González	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Quetzalli Aguilar Virgen	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Néstor Santillán Soto	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Maria Elizabeth Ramirez Barreto	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Conrado García González	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Karla Isabel Velazquez Victorica	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Mydory Oyuky Nakasima López	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Wendolyn Elizabeth Aguilar Salinas	Universidad Autónoma de Baja California
M.C. Mildrend Ivett Montoya Reyes	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Aseneth Herrera Martinez	Universidad Autónoma de Baja California
Dr. Fernando Amilcar Solis Dominguez	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Rosa María Espinosa Valdemar	Universidad Autónoma Metropolitana
Dra. Alethia Vázquez Morillas	Universidad Autónoma Metropolitana
Dra. Maribel Velasco Pérez	Universidad Autónoma Metropolitana
M.C. Margarita Beltran Villavicencio	Universidad Autónoma Metropolitana
Dra. Claudia Estela Saldaña Durán	Universidad Autónoma de Nayarit
Dr. Raúl Adalberto Morelos	Universidad Estatal de Sonora
M.C. Beatriz Adriana Venegas Sahagún	Universidad de Guadalajara
Dr. Otoniel Buenrostro Delgado	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
M.C. Evelia Santillán Ferreyra	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dr. Constantino Gutierrez Palacios	Universidad Nacional Autónoma de México
Dra. Gloria Ines González López	Universidad Veracruzana

COMITÉ INTERNACIONAL

Dr. Antonio Gallardo Izquierdo	Universidad Jaume I,
Dr. Francisco José Colomer Mendoza	Universidad Jaume I
Dra. Maria del Mar Carlos Alberola	Universidad Jaume I
Dra Amaya Lobo García de Cortázar	Universidad de Cantabria
Dr. Miguel Cuartas Hernández	Universidad de Cantabria
Dra. Ana López Martínez	Universidad de Cantabria
M.C. Dolores Elizabeth Turcott Cervantes	Universidad de Cantabria
Dra. Estefani Cristina Rondon Toro	Universidad de Cantabria
Dr. Marcel Szanto Narea	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Dra. Irma Mercante	Universidad Nacional de Cuyo
M.I. Susana Llamas	Universidad Nacional de Cuyo
Dra. Claudia Coutino Nobrega	Universidade Federal da Paraíba
Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira	Universidade Federal da Paraíba

Dra. Silvia Soto Cordoba
M. C. Laura Patricia Brenes-Peralta
M.C. Roberto Andrés. Lima Morra
M.C. Luz Graciela Cruz
M.C. Jose Runfol Medrano
M.I. Erick Vallester Espino

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción
Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT
Universidad de los Andes
Universidad Tecnológica de Panamá

EDITORIAL

La Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos (SOMERS), se ha dado a la tarea involucrar a los expertos en el tema de residuos sólidos, tanto académicos como del sector gubernamental, así como a estudiantes que se están formando en esta línea de generación y aplicación del conocimiento. El objetivo principal de este documento ha sido reunir a los especialistas en residuos sólidos de México e iberoamérica para analizar los problemas sociales, económicos, ambientales y técnicos asociados a la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos, así como discutir los avances en el conocimiento de esta temática, para promover el desarrollo de la ciencia y tecnología aplicada a la gestión integral de los residuos sólidos lo cual implica compartir espacios académicos para presentar resultados y avances de investigación en esta área.

La publicación de estos trabajos, se ha convertido en un foro de formación para los estudiantes tanto de licenciatura como de posgrado en el que los participantes comparten experiencias y resultados de investigación, también es un espacio de consulta para las autoridades encargadas de la gestión de residuos y una oportunidad para que presenten los avances y retos que han enfrentado como responsables de esta área en los municipios.

En este número se presentan trabajos en nueve áreas bajo el título de Los residuos sólidos como recurso, con ello buscamos promover la valorización de los recursos que encontramos en la basura, además de contribuir a la conservación de nuestro entorno, recuperar materia prima, promover la cultura de la conservación en los distintos ámbitos de la sociedad, ver a los residuos como un recurso es una oportunidad para generar empleos, ingresos económicos e incluso energía eléctrica.

En este compendio de trabajos se presentan los resultados de los proyectos, experiencias y alternativas para la gestión de los residuos, generación de residuos, caracterización de diversas corrientes de residuos, herramientas para la gestión, el uso de tecnologías de tratamiento y valorización, así como el diseño de sitios de disposición y diseño de programas de integración social de los recicladores informales y de programas de concientización, entre otros.

Dra. Sara Ojeda Benítez
PRESIDENTA DE SOMERS

CONTENIDO

EDITORIAL	5
SECCION 1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS	9
Diagnóstico y propuesta de manejo de residuos sólidos urbanos en el municipio de Santa Lucía del Camino, Oaxaca	1
Presencia de colillas de cigarros en una playa de Tuxpan, Veracruz	13
Composición de residuos plásticos en tres ciudades del país.....	22
Caracterización y evaluación de los residuos alimenticios generados en un comedor universitario	31
Generación y caracterización de residuos sólidos en la Universidad de Quintana Roo, campus Chetumal	43
Caracterización de Residuos Sólidos en el Centro de Estudios Tecnológicos del Mar (CETMAR), de Chetumal Quintana Roo	49
Caracterización de los residuos alimenticios en la central de abastos CDMX.....	55
Caracterización de microplásticos y muestreo de residuos sólidos urbanos de la playa de Tuxpan, Veracruz	64
Valoración del digestato generado por la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de México.....	73
Programa de manejo integral de residuos “Basura Cero” en el campus Morelos UNAM	83
SECCION 2 GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL	92
De basura a residuos sólidos urbanos, su representación social desde el espacio residencial.....	93
Programa piloto de separación y valorización de residuos sólidos urbanos en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco.....	102
Residuos domésticos peligrosos en la Ciudad de México.....	112
Estudio comparativo de las políticas públicas en residuos sólidos de Brasil y México en relación a los pepenadores	121
Modelo de gestión de residuos municipales en Cantabria, España	128
Diagnóstico de la operación del sistema de limpia pública del municipio de Acuña, Veracruz.....	139
Aplicación del análisis FODA para determinar la eficiencia del servicio de recolección en municipios del Oriente de Michoacán.....	149
Un aprovechamiento de los residuos como materia prima para las empresas.....	159
La problemática sobre la disposición de los residuos sólidos en zonas consideradas como vulnerables	170
Basura por predial (BYP).....	174
Modelo de gestión empresarial en el marco de la responsabilidad socio-ambiental de la industria del reciclaje: caso de estudio Empresa Recolectora de Residuos.....	180
Selección de Municipios del Noreste del Estado de México y Estados Aledaños Mediante el Método AHP.....	189
Relación de la disposición final de RSU con la población en municipios del centro de México.....	199

SECCION 3 TRATAMIENTO / VALORIZACIÓN DE RESIDUOS	206
Valorización de residuos plásticos post-consumo en Nanchital, Veracruz	207
Influencia de la adición de lodos aerobios en el tiempo de maduración de composta	216
Diseño y construcción de un sistema respirométrico a escala para evaluar la degradación de plásticos	254
Aprovechamiento de los residuos de cáscara de naranja como coagulante en el tratamiento de aguas residuales	262
Aislamiento de nanofibrillas de celulosa a partir de residuos sólidos orgánicos agrícolas para la producción de hilo que puedan sustituir a los hilos sintéticos.....	273
Evaluación del efecto del intemperismo acelerado y la exposición a termitas (<i>Nasutitermes corniger</i>), en el desempeño mecánico de compositos a base de HDPE reciclado y de residuos de madera de pino y de teca.....	285
Elaboración de carbón activado a partir de residuos de la madera de <i>Piscidia piscipula</i>	297
Evaluación de la capacidad de degradación de hongos en residuos de jardinería de la UAM-A.....	307
Plan de manejo de residuos peligrosos generados en la Industria Manufacturera de Cigüeñales	317
La Planta de Composta de Bordo Poniente y el Programa de Separación en Fuente en la Ciudad de México.....	324
Tratamiento de pañales desechables de rechazo mediante composteo.....	333
Compostero inteligente: obtención de composta de calidad a partir de residuos sólidos orgánicos generados en Tepic.....	344
Gestión de residuos en la Ciudad de México	349
Valorización de materiales susceptibles de recuperación de los residuos sólidos urbanos en municipios del Oriente de Michoacán y el Estado de México	359
Generación de biogás y biosólido, usando un biodigestor domestico modular, como una alternativa de tratamiento de los residuos orgánicos domésticos.....	366
Gestión y manejo integral de residuos sólidos urbanos en un salón de eventos sociales de la ciudad de México, D.F.....	378
SECCION 4 RECUPERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS.....	385
Potencial biometanogénico de residuos de poda	386
Caracterización microbiológica del lixiviado producido por la Planta de Composta de Bordo Poniente.....	397
Diseño de un biodigestor de charola inoculado con bacterias metanogénicas bajo condiciones controladas de laboratorio	409
Purificación de biogás mediante la adsorción de metano en una malla molecular	427
Herramienta para la definición de líneas de gestión de biorresiduos	436
Producción de hidrógeno a partir de pulpa de café a través de la fermentación oscura	442
SECCION 5.....	449
RELLENOS SANITARIOS (RESA).....	449
Uso de áridos reciclados en un depósito controlado de residuos sólidos urbanos.....	450

Evaluación de los sitios de disposición final de los municipios de Tlalpujahua, Tuzantla y Zitácuaro, pertenecientes al Estado de Michoacán.....	460
Evaluación técnica y ambiental del sitio de disposición final del Municipio de Tlalpujahua, Michoacán	468
Límites de control aplicados en el monitoreo de la degradación de residuos sólidos urbanos	479
Greenhouse Gas Emission Factors of Solid Waste for Different Management Options in the Metropolitan Area of Guadalajara.....	490
SECCION 6 IMPACTO AMBIENTAL	502
Adsorción de combustóleo en microplásticos	503
Evaluación de la toxicidad de dos nanomateriales en especies vegetales comestibles y ornamentales	509
Diagnóstico sobre el manejo de los residuos sólidos y líquidos en un laboratorio de una IES.....	521
Determinación de herbicidas en la localidad La Victoria Tecolutla, Veracruz.....	530
Caracterización de riesgos asociados a las labores de trabajadores de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos. Caso de estudio: Estado de México.....	536
SECCION 7 SOCIEDAD Y GOBIERNO	546
Predictores psicológicos de la conducta de separación de residuos sólidos de residentes de la ciudad de México.....	547
Proyecto de residencias profesionales; el caso del manejo de residuos sólidos en una empresa	555
Producción de residuos sólidos en el espacio público: El caso de la Romería de la Virgen de Zapopan	562
Percepción de las pérdidas económicas en las actividades productivas de los pueblos de la Barranca Jalisco, a causa de la contaminación generada por los sitios de disposición final	572
Información oficial vs. información de campo sobre residuos sólidos urbanos en el centro de México	582
Separación de residuos y participación ciudadana. El caso del Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos Ayuquila Llanos.....	594
SECCION 8 TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y EDUCACIÓN AMBIENTAL	601
Degradación de biosólidos mediante compostaje acelerado, considerando diferentes tasas de aireación y agentes de carga.....	602
Actualización y manufactura de una trituradora prediseñada para residuos de neumáticos	612
Plan de manejo de residuos sólidos urbanos en la escuela secundaria general No. 20 “Rafael Ramírez”, Tepotzotlán, Estado de México.....	632
Educación Ambiental y Manejo Integral de Residuos Sólidos en Educación Básica	643
Proyectos de sustentabilidad y economía circular como herramienta en la formación de Ingenieros Industriales: caso de estudio.....	654
Propuesta de indicador para evaluar la eficiencia del programa de separación de residuos sólidos de la UAM Azcapotzalco	661
Cultura Ambiental en Alumnos de Nuevo Ingreso del Área de la Salud	671

SECCION 1

CARACTERIZACIÓN

DE RESIDUOS

Diagnóstico y propuesta de manejo de residuos sólidos urbanos en el municipio de Santa Lucía del Camino, Oaxaca

¹Rementería Méndez Fernando, ¹Gutiérrez Gutiérrez Jordán, ¹Sánchez Velasco Elba Lucero, ¹Álvarez Zeferino Juan Carlos, ¹Espinosa Valdemar Rosa María y ¹Vázquez Morillas Alethia

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco Departamento de Energía, UAM Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México, CP 02200. México. Email: mey@correo.azc.uam.mx

Resumen

El municipio de Santa Lucía del Camino, Oaxaca, como muchos municipios del país, requiere de una gestión adecuada de residuos sólidos urbanos. El objetivo de este proyecto fue elaborar un diagnóstico y propuesta acerca del manejo de residuos sólidos urbanos. Por medio de entrevistas con trabajadores del municipio para conocer el manejo actual de los mismos, y calcular la generación per cápita y composición de subproductos. Sustentado en los análisis y resultados anteriores se realizó el diagnóstico y propuesta para el manejo de los residuos que se generan en el municipio. El municipio genera en promedio 0.89 kilogramos de residuos sólidos por habitante al día, un valor característico de una zona urbana. Los residuos orgánicos, plásticos y sanitarios son los componentes mayoritarios (31.73%, 22.57% y 16.80% respectivamente). La zona en la que se encuentra ubicada Santa Lucía del Camino presenta un grave problema en cuanto a la disposición de residuos, por motivos tanto técnicos como sociales, el sitio de disposición, que aparentemente se encuentra está en un lugar geológicamente vulnerable, esta concesionado a un particular, pero existen pepenadores dentro de él que son independientes y continuamente tienen enfrentamientos con los habitantes de sitios aledaños y se cierran el paso por días o semanas provocando una acumulación de residuos en los camiones recolectores. La propuesta de manejo de residuos incluye la educación y concientización ambiental para lograr una separación primaria, la creación de una zona de transferencia y la participación de empresas y organización para permitir un mercado de reciclaje de los subproductos que se generan.

Palabras Clave: *Composición, generación, tiradero a cielo abierto.*

1. Introducción

El estado de Oaxaca aporta aproximadamente el 10% del total de residuos generados en el país, equivalente a 4,250.42 toneladas al año [1]. De acuerdo con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Los Residuos [2], se estima que la generación por municipio en Oaxaca es de 1,881.33 ton/día. La entidad se encuentra entre los estados con mayor número de tiraderos a cielo abierto y 55% de residuos sólidos urbanos (RSU) son dispuestos en los mismos. La infraestructura existente en el estado para el manejo de RSU es insuficiente, obsoleta y precaria, debido a diferentes cuestiones, entre ellas: aproximadamente el 60% de las unidades recolectoras se encuentran en mal estado, el parque vehicular es insuficiente, presenta características indebidas e intolerables para realizar un servicio especializado, además existe un número insuficiente de estaciones de transferencia y sitios controlados de disposición.

La ciudad de Oaxaca cuenta con cuatro estaciones de transferencia y de acuerdo con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales México 2011, su promedio diario de generación de RSU recolectados es de 2,110 toneladas [3]. En la zona urbana de la capital el tiradero de Zaachila, con más de 30 años de operación, se rehabilitó debido a la intervención del gobierno del Estado y fue transformado en un sitio de disposición controlada, operado como tal desde marzo de 2013. Diversos problemas políticos y

sociales han estado presentes en dicho sitio en los últimos años, lo cual ha ocasionado cierres temporales del mismo y problemas en la disposición de residuos [4].

1.1 Municipio de Santa Lucía del Camino

El municipio de Santa Lucía del Camino se encuentra en la zona conurbada de la ciudad de Oaxaca, a tan sólo 4.3 km de la capital, en la región de los valles centrales, limitando al Norte con los municipios de Oaxaca de Juárez y San Agustín Yatareni, al sur con los municipios de Santa Cruz Amilpas y Tlalixtac de Cabrera, al este con San Sebastián Tutla y al Oeste con el municipio de Oaxaca de Juárez. Es un municipio de suma importancia debido a que sus ejes viales son accesos principales a la capital del Estado.

Santa Lucía del Camino cuenta con 44,023 habitantes que generan 13,136.55 t anuales de RSU, con un manejo inadecuado y con una marcada deficiencia en su disposición [5]. Esta seccionado en 32 colonias, 9 fraccionamientos y 2 agencias [6]. Debido a que se localiza en la zona central de la entidad tiene un constante crecimiento, lo que requiere que se incremente la atención en los servicios implementados, donde se incluye la recolección, tratamiento y disposición de los RSU.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [7] dictamina que compete a los municipios el manejo integral de los RSU, entendiendo este manejo como un conjunto de acciones para recolectar, trasladar, tratar y disponer adecuadamente los RSU. Al tratarse de un servicio que proporciona el gobierno municipal se debe contar con la infraestructura necesaria para llevar a cabo la tarea. La realización de diagnósticos de composición y elaborar planes de trabajo para la gestión integral de residuos compete también a los gobiernos municipales. Dada la problemática del municipio de Santa Lucía en este trabajo se realizó un diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos urbanos y una propuesta para su manejo adecuado

2. Metodología

El proyecto se desarrolló a través de trabajo de campo, realizado en el municipio de Santa Lucía, Oaxaca, y de gabinete, que se llevó a cabo en las instalaciones de la UAM-Azcapotzalco.

2.1 Recolección de información

Se realizó una revisión de datos estadísticos referentes a la generación, composición y peso volumétrico de los RSU a nivel nacional para tener un contexto general de la problemática y comparar con los resultados obtenidos en campo.

Para obtener la información sobre la gestión de RSU en el municipio, primero se identificó la organización municipal, y en una reunión en las instalaciones del H. Ayuntamiento de Santa Lucía del Camino se entrevistó al encargado de Obras y servicios públicos y a un colaborador de la Secretaría de Ecología a nivel Estatal. Se abordaron los siguientes puntos: estudios realizados anteriormente, rutas de recolección, división territorial del municipio, sistema de manejo de los RSU en el municipio, infraestructura disponible y disposición final de los RSU.

2.2 Diagnóstico de generación y composición

Este trabajo se realizó del 21 al 30 de agosto de 2017

2.2.1 Generación de residuos sólidos urbanos

A partir de la información proporcionada por los responsables del manejo de los residuos en el municipio se estimó la generación *per cápita* de residuos [6]. Para ello se utilizó la capacidad en términos de masa de los vehículos recolectores y el número de viajes al mes que realizaban al tiradero de Zaachila, obteniendo la generación de residuos mensual (GRM), generación por persona al mes (kg/persona/mes) y la generación

por persona al día, (ver ecuaciones 1, 2 y 3). La Ecuación 1, se usó para determinar la Generación de Residuos Mensual (GRM) en toneladas

$$GRM = \sum_1^4 \frac{(\sum \text{Número\_viajes\_semestre})(\text{capacidad\_toneladas})}{\text{Número\_meses\_laborales}} \quad (1)$$

Posteriormente se obtuvo la generación de kg-persona al mes a partir del número de habitantes (dato proporcionado por el municipio), utilizando la Ecuación 2:

$$kg / persona - mes = \frac{GRM(ton) * 1000(kg / ton)}{Población} \quad (2)$$

Finalmente se obtuvo la generación de kg-persona al día mediante la Ecuación 3:

$$kg / persona - día = \frac{kg / persona - mes}{30días} \quad (3)$$

2.2.2 Cuantificación y composición de RSU

El estudio se basó en la metodología establecida en las Normas Mexicanas (NMX) [8], [9] y [10] (Tabla 1) en materia de protección al ambiente, contaminación de suelo y residuos sólidos municipales. Debido a la situación social en la que se encontraba la zona de estudio, se realizaron modificaciones en las metodologías de las normas para que el estudio pudiera llevarse a cabo.

Tabla 1. Normas mexicanas utilizadas para el estudio de RSU

Norma Oficial Mexicana	Método
NMX-AA-15-1985	Método de cuarteo
NMX-AA-19-1985	Peso volumétrico <i>in situ</i>
NMX-AA-22-1985	Selección y Cuantificación de Subproductos

Las autoridades municipales proporcionaron un sitio adecuado para realizar el estudio de composición y clasificación de residuos, situado en Camino de La Raya, en la cancha de basquetbol de la Unidad Básica de Rehabilitación.

En los meses de julio y agosto del 2017 el tiradero de Zaachila, en el que se depositan los residuos que se generan en el municipio de Santa Lucía del Camino, se clausuró temporalmente debido a diversos problemas sociales que se presentaron en el municipio del mismo nombre (Zaachila). Esto detuvo la recolección y disposición final de los residuos de los municipios que hacían uso de este tiradero. Debido a esta crítica situación, todas las unidades de recolección de Santa Lucía se encontraban con residuos a su máxima capacidad de carga desde el día 21 agosto [11].

Como consecuencia del cierre del tiradero se tuvo que adaptar la toma de muestra. Se realizaron dos muestreos, el primero el 25 de agosto de 2017, con los residuos que se encontraban en el vehículo de la ruta 2, que es la de mayor cobertura. El segundo se realizó el 28 de agosto con los residuos recolectados con camionetas, debido a que los vehículos de recolección se encontraban aún cargados con los residuos recolectados la semana anterior. A continuación, se describen los pasos realizados para obtener una muestra representativa basada en la NMX-AA-15-1985 [8]:

1. Los dos muestreos se realizaron en semanas consecutivas, ver Figura 1.
2. Se utilizaron 5 botes con capacidad de 200 litros que fueron llenados con residuos sólidos urbanos



Figura 1. Obtención de residuos para primer cuarteo (izquierda) y segundo cuarteo (derecha)

3. En cada muestreo se vertió el contenido de los cinco tambos sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m con piso de cemento bajo una carpa, formando un montón, como se observa en la Figura 2



Figura 2. Residuos en el cuadro de 4m x 4m

4. Se traspalearon hasta homogeneizarlos
5. Se obtuvo una muestra mediante el método del cuarteo hasta obtener 50 kg de residuos sólidos urbanos

2.2.3 Determinación del peso volumétrico In situ

Se realizó la determinación del peso volumétrico según Norma Mexicana NMX-AA-19-1985 [9]. Se calculó mediante la Ecuación 4:

$$P_v = \frac{P}{V} \quad (4)$$

donde:

P_v = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m^3

P = Peso de los residuos sólidos, en kg

V = Volumen del recipiente, en m^3

2.3.4 Clasificación y cuantificación de subproductos

La clasificación y cuantificación se realizó con una muestra de 50 kg (Figura 3), de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-22-1985 [10], con modificaciones en la clasificación de los residuos.



Figura 3. Pesaje de subproductos clasificados

El porcentaje para cada residuo se obtuvo aplicando la Ecuación 5:

$$\%residuo = \frac{masa\_residuo}{masa\_total} * 100 \quad (5)$$

Los resultados obtenidos en los dos muestreos se promediaron, se calculó la desviación estándar y se compararon con los valores nacionales de generación y composición de RSU [2].

2.4 Entrevistas a diversos actores locales

Se realizaron entrevistas a expertos en el área de residuos en la zona centro de Oaxaca y a otros actores sociales importantes que pudieran aportar en el avance del estudio y el desarrollo de propuestas. Los entrevistados se enlistan a continuación:

- a) Director de Solidaridad Internacional Kanda A.C, Reciclaje Inclusivo.
- b) Ambioental, mayor empresa recolectora de RSU para su reciclaje en Oaxaca.
- c) Director de Reciclados y Derivados Oaxaca Verde, empresa dedicada al reciclaje de residuos de manejo especial.

Con base en los resultados del diagnóstico y en el análisis de la información obtenida, se desarrolló una propuesta para un plan de manejo de los RSU en el municipio

3. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos. Es importante señalar que durante este estudio, por causas sociales, no se encontraba activo el sistema de recolección del municipio y el sitio de disposición estaba cerrado.

3.1 Recopilación de información mediante encuestas y entrevistas.

En las entrevistas realizadas con autoridades municipales se proporcionó información que ayudó a entender la situación del manejo actual de residuos. A partir de enero del 2017 el gobierno municipal de Santa Lucía del Camino cuenta con 4 vehículos recolectores de diferentes capacidades y características. A cada vehículo le compete la recolección en diferentes colonias, divididas en 4 rutas. El servicio inicia todos los días a partir de las 6:00 am sin hora fija de finalización La frecuencia de recolección es de dos veces a la semana por colonia, realizando de dos a tres viajes al sitio de disposición en Villa de Zaachila por cada vehículo. En la

Tabla 2, se describen las características de cada vehículo, las rutas de recolección definidas y el número de colonias correspondiente a cada una.

Tabla 2. Parque vehicular y rutas de recolección de residuos en Santa Lucía del Camino

Vehículo	Capacidad de carga (m ³)	Ruta	Num. De colonias
Vehículo compactador International	7.5	1	10
Vehículo International	15.3	2	12
Vehículo Kenworth	15.3	3	11
Vehículo Frightliner	15.3	4	11

Fuente: Reporte del H. Ayuntamiento de Santa Lucía del Camino, 2017

El municipio cuenta con ocho trabajadores del servicio de limpia para la recolección, cuatro operadores encargados de los vehículos y cuatro ayudantes. El 31 de julio del 2017 se publicó un oficio emitido por el gobierno municipal donde se prohíbe la separación y clasificación de los residuos en los recorridos establecidos, a petición del concesionario del sitio de disposición, con el fin de favorecer a los pepenadores que operan en el mismo. Para generar una idea en cuanto a superficie cubierta por ruta, el Ayuntamiento de Santa Lucía del Camino que inició gestión en 2017 realizó el mapa que se muestra en la Figura 4. Debe señalarse que algunos colonos pagan para que vehículos particulares se lleven los residuos sin saber dónde la disponen.

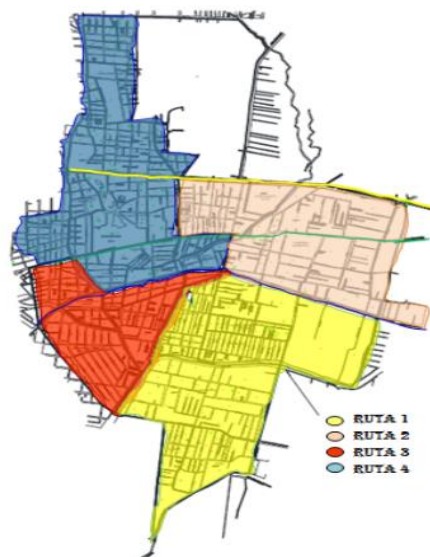


Figura 4. Mapa de colonias por Ruta. Fuente: Gobierno de Santa Lucia, 2017

En la Figura 5 se presenta el número de viajes mensuales que realizaron los vehículos recolectores durante el primer semestre del 2017.

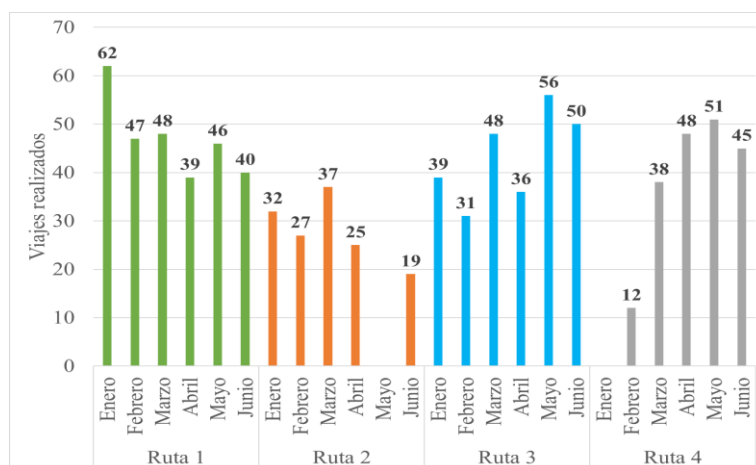


Figura 5. Viajes mensuales los vehículos recolectores en el municipio, primer semestre, 2017

3.2 Diagnóstico. Descripción del sitio de disposición y problemática social

El sitio en el que se depositan los residuos de Santa Lucía del Camino está localizado al sureste de la ciudad capital, en el municipio de Villa de Zaachila, a 18.6 km. En 1981 inició labores de operación con un área de 17.08 hectáreas, desde entonces atiende la generación de 18 municipios de la Zona Conurbada de la Ciudad de Oaxaca, provocando extensas filas de vehículos e incluso varias horas de espera para depositar los residuos, [12]. El servicio y mantenimiento se encuentra concesionado a un particular y los pepenadores que se encuentran laborando en el lugar son independientes.

Los asentamientos humanos que se han desarrollado en los límites del sitio de disposición no existían hace 30 años, cuando comenzó su utilización. La instalación de dichos asentamientos ha generado una zona conflictiva, donde la calidad de vida es mala y la presión que ejercen hacia las autoridades tanto municipales como estatales pueden incluir el cierre del sitio con los consecuentes problemas de los municipios que hacen uso de él [12].

En el municipio Villa de Zaachila y en diversos municipios como Santa Lucía del Camino se habla de la participación del grupo “Frente Popular Revolucionario 14 de junio” (FPR), el cual hasta inicios del presente año controlaba la mayor parte de los movimientos organizados de la población en el sitio de disposición. Durante el primer semestre del 2017 los habitantes y pepenadores del sitio de disposición se opusieron al trato y manejo realizado por el FPR teniendo como consecuencia un incremento de violencia dentro del lugar [6].

En el 2017 se dio un fuerte enfrentamiento, entre habitantes de las colonias aledañas al sitio de disposición y del mismo sitio, ya que hay construcciones adentro, lo que ha provocado que permanezca cerrado durante un par de días o semanas hasta que los mismos colonos permiten el ingreso de residuos generados en el Valle de Oaxaca.

De forma adicional al problema social que se vive en el sitio de disposición, existe información sobre el hecho de que aparentemente está localizado en una zona geológicamente vulnerable [12].

Generación de residuos sólidos

Con los datos proporcionados por el municipio se calculó la generación mensual de residuos en la localidad, la generación mensual y diaria por habitante [6], para una población de 60,000 habitantes, (Tabla 3). Se observa que el promedio de generación diaria por habitante es de 0.86 kg, dato igual al promedio nacional

de 0.86 kg y muy cercano al valor estatal de 0.84 kg para Oaxaca de Juárez. La generación *per cápita* es propia de una zona urbana.

Tabla 3. Generación de residuos diaria per-cápita

Generación de residuos mensual en el municipio (ton /mes)	Generación mensual por habitante (kg/hab/mes)	Generación diaria por habitante (kg/hab/día)
1540 ± 243.37	25.67 ± 4.05	0.86 ± 0.14

Determinación del peso volumétrico *in situ*

El peso volumétrico (PV) fue de 247.4 kg/m³ para el primer muestreo y 123.7 kg/m³ para el segundo, con un promedio de 185.5 kg/m³, mayor que el promedio nacional de 153.12 kg/m³. Debido al tiempo que los RSU del primer muestreo estuvieron en el vehículo recolector, se compactaron lo que aumenta su densidad, por lo que si se considera únicamente el valor del PV del segundo cuarteo se aproxima al valor promedio nacional.

Cuantificación y composición de los RSU

Para la clasificación de subproductos se modificó la NMX-AA-022-1985. La categorización en 9 tipos de se muestra en la Tabla 4

Tabla 4. Categorización y cuantificación se subproductos

Número de Subproducto	Categoría	Subproducto	% muestreo 28/08/2017	% muestreo 25/08/2017
1	Orgánicos	Alimentos	20.56	25.83
2		Poda	13.62	3.35
3	Papel y Cartón	Papel	6.40	3.83
4		Cartón	6.25	4.31
5		Multicapa	0.19	0.34
6	Plásticos	Bolsa de plástico	2.87	10.05
7		PET	0.86	5.26
8		Unicel	0.43	0.24
9		Polietileno de alta densidad	0.83	14.35
10		Bolsas metalizadas	0.07	0.28
11		Otros plásticos	6.46	3.35
12	Vidrio	Vidrio	12.89	2.39
13	Metales	Latas de aluminio y papel aluminio	0.10	0.57
14		Otros metales	0.54	0.53
15	Sanitarios	Papel higiénico	8.23	7.18
16		Pañales	10.49	7.18
17		Toallas sanitarias	0.20	0.26
18	Varios	Madera	1.29	0.47
19		Textiles	0.21	2.39
20		Electrónicos	0.04	0.51
21		Colillas	0.00	0.00
22		Cerámicos	3.97	0.91
23		Otros	0.00	3.16

24	Peligrosos	Medicamentos, pilas, residuos contaminados, con pinturas o aceites, acetona, barniz de uñas, jeringas	0.54	0.40
25	Finos	Finos	2.97	2.87

La figura 6 presenta los subproductos que se generaron en mayor cantidad. La alta proporción de plásticos (33.52%) del segundo muestreo se debe a que la muestra contenía tres bolsas con PET ya separado, mientras que para el primer estudio se encontró un valor muy cercano al reportado a nivel nacional, [13] de 10.9%. Los residuos orgánicos en el primer muestreo tuvieron 34.18% y en el segundo 29.18%, ambos valores se encuentran por debajo del promedio nacional de 37.97% [14].

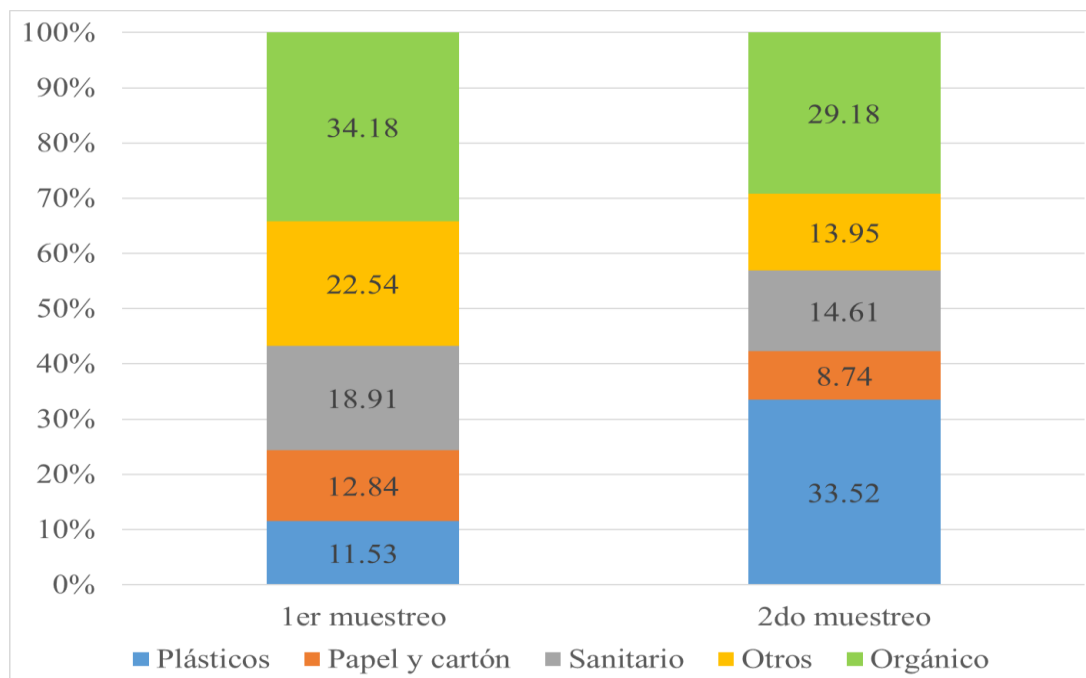


Figura 6. Subproducto de mayor generación en los estudios de composición

El estudio fue realizado condiciones adversas debido al cierre del sitio de disposición, lo que propició la confinación y por ende la compactación de los RSU en el vehículo de recolección durante aproximadamente 5 días. Además de la compactación, los residuos ya eran difíciles de distinguir, presentaban mal olor, alta humedad y se encontraban en un proceso avanzado de degradación.

3.3 Entrevistas con actores locales relevantes

A continuación, se presentan un resumen de los resultados de las entrevistas realizadas a diversos actores locales que se encuentran directamente relacionados con el sector de residuos en Oaxaca (Figura 7) en la que se especifican las actividades a las que se dedican, se incluyen organizaciones no gubernamentales y empresas de giro comercial enfocado en los residuos: Oaxaca Verde, Ambiental y Solidaridad Internacional Kanda A.C.

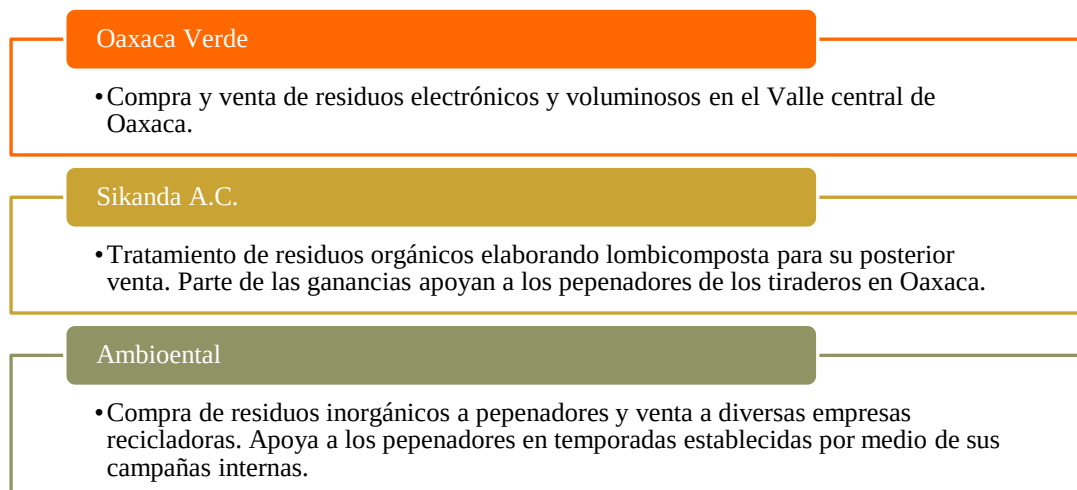


Figura 7. Resumen de actividades que realizan los actores relevantes

3.4 Propuesta de manejo de RSU

Debido a la situación crítica en la que se encuentra la gestión de los RSU en Santa Lucía del Camino, tomando en cuenta la información recopilada en las entrevistas, el estudio diagnóstico y destacando que es importante la participación de todos los sectores involucrados se propone como base para un plan de manejo:

- Una separación primaria directamente en el domicilio, mediante la categorización de residuos, en orgánicos e inorgánicos.
- El mantenimiento del esquema actual (rutas y frecuencia) de recolección de residuos el, con la diferencia de que un día se destine para recolectar residuos orgánicos y otro día para residuos inorgánicos.
- La creación de una zona de transferencia que permita incrementar la separación de residuos y optimice su traslado a los sitios de disposición
- Participación de las ONG'S y empresas interesadas en la comercialización para el aprovechamiento de los residuos separados (figura 8).



Figura 8. Propuesta de manejo de RSU en Santa Lucía del Camino.

Ya que Santa Lucía del Camino no cuenta con el espacio suficiente para contar con su propio relleno sanitario, se recomienda la implementación de un relleno sanitario intermunicipal que se encuentre regulado de forma estricta bajo un marco planeado de desarrollo municipal y un ordenamiento territorial adecuado, para que no se presenten los problemas sociales y de territorio que han surgido en los últimos años en el

tiradero de Zaachila y sus alrededores. Este relleno sería el destino final de los residuos inorgánicos no recuperables, así como una fracción menor de inorgánicos aprovechables y residuos orgánicos que no hayan sido recolectados para su aprovechamiento en la zona de transferencia.

En caso de que no sea posible desarrollar dicho proyecto, se propone que los residuos se sigan depositando en el tiradero de Zaachila. A pesar de que los residuos ya vendrán con un porcentaje menor de residuos susceptibles a ser aprovechadas, todavía existirá una cantidad significativa de dichos residuos por recuperar debido a que la separación en la zona de transferencia no tendrá el 100% de eficiencia en separación. Es imprescindible llegar a un acuerdo para que los concesionarios del tiradero aseguren que los residuos podrán ser depositados en el tiradero y es importante trabajar en conjunto con los pepenadores para que acepten recibir la flota vehicular de Santa Lucía.

Las políticas públicas ambientales son una herramienta para una gestión adecuada de los RSU, una de estas políticas es la de crear campañas de educación ambiental enfocadas en:

1. La Clasificación de los RSU en la separación primaria o domiciliar.
2. La Disminución de los RSU en las calles y en la vía pública
3. La Enseñanza a los estudiantes de todos niveles, (primaria, secundaria y preparatoria) sobre el manejo de los RSU.
4. La promoción de la educación ambiental en la población en general.
5. Producción de composta doméstica en los domicilios del municipio, para reducir la fracción orgánica que llegue al centro de transferencia

Las campañas realizadas también consideran la capacitación al servicio de Limpia de Santa Lucía y apoyo a los recolectores de residuos, capacitándolos en temas importantes como seguridad e higiene en el trabajo; para que identifiquen de forma adecuada los residuos y exista una separación adecuada en los centros de transferencia.

4 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos fue posible determinar la gestión de los RSU y su problemática actual, teniendo como principal dificultad el ambiente social en el que se desenvuelve actualmente el municipio y la política que se ha manejado. Realizar un estudio bajo estas condiciones tiene limitantes debido a que los elementos relacionados (los pepenadores, el sistema de recolección municipal y la disposición en un tiradero intermunicipal), no cuentan con una articulación que permita obtener beneficios a partir de los residuos sólidos generados, o al menos garantizar su recolección y disposición oportuna.

El municipio genera 0.86 kg hab/día, que rebasa por poco el promedio nacional. El peso volumétrico obtenido fue de 185.5 kg/m³. En cuanto a la composición de los residuos, se aprecia la relación entre dicho parámetro y las actividades económicas, usos y costumbres del lugar. La mayor parte generada, como en todo México, es de residuos orgánicos, atribuible a la forma de vivir en el país y que en el municipio aún se acostumbra a adquirir la gran mayoría de sus alimentos en fresco, en los mercados de la zona.

Las propuestas que se presentan implementa una separación primaria de los residuos, la creación de una estación de transferencia y la inclusión de empresas y ONG'S que garanticen la comercialización de los materiales reciclables, todo ello acompañado de campañas de educación y concientización ambiental.

El gran reto en el municipio es resolver la problemática social que es muy compleja ya que existe una lucha entre diversos frentes que intentan controlar los residuos que se generan, además de que el sitio de disposición final tiene grandes problemas al no cumplir con los requisitos ambientales.

5 Referencias

[1] SEDESOL (2012) Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México.

- [2] SEMARNAT-INECC. Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2012. [en línea] Fecha de consulta: 20 de octubre 2017. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf.
- [3] INEGI 2011, Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales México 2011 <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/censosgobierno/municipal/cngmd/2011/>
- [4] SEMARNAT 2013. Resumen ejecutivo del programa estatal para la prevención y gestión de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el Estado de Oaxaca. SEMADESO 2013. [en línea]. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2017. Disponible en: www.medioambiente.oaxaca.gob.mx/.../Resumen%20ejecutivo%20PEPGIRSUME.pdf
- [5] SEDESOL (2013), Catálogo de microrregiones, Consultado; 7 de junio del 2017, [en línea] Fecha de consulta: 21 de septiembre de 2017. Disponible en: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=203900001SEDESOL> 2010.
- [6] (Gobierno de Santa Lucía del Camino, 2017). Comunicación oral
- [7] Diario Oficial de la Federación 2003. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) 8 de octubre de 2003
- [8] SCFI. (1985). NMX-AA-015-1985. Protección del Ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos- Método de cuarteo. Publicada en el DOF del 8 de agosto 1985
- [9] SCFI. (1985). NMX-AA-019-1985. Protección del Ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos- Peso volumétrico in situ Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Publicada en el DOF del 8 de agosto 1985
- [10] SCFI. (1985). NMX-AA-022-1985. Protección del Ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos- Selección Y Cuantificación de Subproductos. México in situ Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Publicada en el DOF del 8 de agosto 1985
- [11] Hernández, E. (2017) Crece tensión entre pobladores de Zaachila y Frente Popular "14 de junio". El Universal, Oaxaca, México. Fecha de consulta: 13 de noviembre 2017. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2017/05/29/crece-tension-entre-pobladores-de-zaachila-y-frente-popular-14-de-junio>
- [12] López P. et al. Saneamiento del tiradero de la ciudad de Oaxaca de Juárez. Revista AIDIS. Volumen 1. Número 1 2006. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2017. [en línea] Disponible en: www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/download/14440/13775.
- [13] SEMARNAT 2013. El medio ambiente en México, residuos sólidos urbanos 2013. [en línea]. Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2017. Disponible en: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_2.html
- [14] SEMARNAT (2012) Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2012. pág 327-328 [en línea], Consultado: 28 de Mayo de 2017, http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf

Presencia de colillas de cigarros en una playa de Tuxpan, Veracruz

¹Juan Carlos Alvarez Zeferino, ¹Sara Ojeda Benítez, ²Alethia Vázquez Morillas, ¹Ma. Elizabeth Ramírez Barreto, ²Margarita Beltrán Villavicencio, ²Vania Laura Rosado Piña

¹ Universidad Autónoma de Baja California – Instituto de Ingeniería, UABC, Boulevard Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, C.P. 21280 Mexicali, Baja California, México. +521 5536630359
juan.carlos.alvarez.zeferino@uabc.edu.mx ² Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco

Resumen

La contaminación marina es una problemática mundial, siendo los residuos sólidos urbanos de los contaminantes más recurrentes. Dentro de los residuos se encuentran las colillas de cigarros, las cuales representan un riesgo ambiental debido a los compuestos que se encuentran sorbidos en su matriz y que pueden ser tóxicos para las especies marinas. En el presente estudio se analizó la ocurrencia de colillas en una playa del estado de Veracruz durante tres años, en un transecto de 100 m paralelo a la línea de agua. Las colillas de cigarros se presentaron en todos los muestreos, ocupando el segundo lugar por detrás de los plásticos. Los resultados en términos de porcentaje de piezas se encontraron en el intervalo de 22.5-31.3%, mientras que las concentraciones estuvieron en entre los 71.5-105 colillas/100m. Estos resultados son comparables con los obtenidos por estudios nacionales en términos de ser los residuos más comunes en playas. El riesgo ambiental de las colillas de cigarros en ambientes marinos necesita mayor investigación, sin embargo, los pocos estudios realizados sobre la toxicidad en organismos sugieren que la problemática es grave.

Palabras Clave: Playa, arena, contaminación, toxicidad

1. Introducción

El consumo de cigarros y por ende la generación de colillas ha aumentado en las últimas décadas, pese al conocimiento sobre el daño a la salud que provocan y a la contaminación ambiental de los residuos que se generan. En el 2015, se estimó que existían alrededor de 300 millones de personas fumadoras en el mundo [1].

Los residuos generados, comúnmente conocidos en el país como colillas, son mal dispuestos en aceras, calles, parques y playas, y pueden representar un riesgo a la salud de animales y humanos. Se estima que entre 25 y 30 % (piezas) de los residuos en caminos y calles corresponde a colillas [2], [3]. En 2011 se estimó que se desechaban 5.6 trillones de colillas en el mundo cada año [2]. El filtro de un cigarro puede contener Cd, Ni y Pb en concentraciones entre 1.73–2.02, 0.715–1.52 y 0.378–1.16 µg/cigarro, respectivamente [4].

Uno de los compuestos que se encuentran sorbidos en las colillas de cigarros es la nicotina. La proporción de la nicotina en % masa (base seca) en un cigarro típico oscila entre 9-30 mg/cigarro y el humo contiene entre 0.5-2 mg/cigarro. La nicotina se absorbe en humanos rápidamente vía oral por la mucosa intestinal y desarrolla síntomas en menos de 4 h. La ingesta de nicotina incluye síntomas como náusea, vómito, mareos, salivación, convulsiones, bradicardia, arritmia cardíaca y depresión respiratoria, entre otras. Se estiman dosis tóxicas de entre 4 a 8 mg de nicotina en adultos no adictos, mientras que la dosis letal en caso de ingestión en niños se encuentra entre 40-60 mg de nicotina; para animales es de 9.2 mg/kg, lo que implica que en especies pequeñas, bajas dosis pueden ser letales [5].

Las sustancias presentes en las colillas pueden llegar a sistemas acuáticos donde representan un riesgo para los animales y humanos. Cuando las colillas se encuentran presentes en las playas, al contacto con el agua lixivian nicotina, plaguicidas, metales pesados, y sustancias consideradas como carcinogénicas [1]. En el 2000, se reportó que en las colillas existe remanente de tabaco, el cual es tóxico para la pulga de agua

(*Daphnia magna*); se realizaron bioensayos con los lixiviados de los filtros y se encontró que la dosis letal en 48 h fue de 0.125 colillas/L de agua (equivalente a 2 colillas/galón de agua [6]. En [7], estudiaron la dosis letal media DL 50 en el crustáceo *Ceriodaphnia dubia* y la bacteria *Vibrio fischeri* con los lixiviados de colillas cuyo valor osciló con dosis de entre 0.125 y 0.25 colillas/L de agua.

Ocean Conservancy es una organización civil sin fines de lucro, que fue fundada en 1972 y se centra en la protección y cuidado de los océanos. En 1986, inició el programa de limpieza costera en Estados Unidos y para 1989 el programa se extendió mundialmente con el nombre de “The International Coastal Cleanup”, iniciando ese mismo año en México en el estado de Quintana Roo. Posteriormente algunos estados se han unido a la campaña, y hoy en día se cuenta con la presencia de Baja California, Colima, Sonora y Tamaulipas.

Desde 2013, Ocean Conservancy publica los resultados en un reporte anual, en el cual se incluyen datos por país, sobre el número de voluntarios, masa total de los residuos recolectados, distancia recorrida, y la lista de los diez residuos con mayor ocurrencia.

Las colillas de cigarro representan el residuo más comúnmente recolectados cada año en las limpiezas de playas, según Ocean Conservancy (2014), quien se encarga de realizar campañas anuales de limpieza en las costas de Estados Unidos, al igual que algunas organizaciones ambientales en Australia, Italia y el resto del mundo [8].

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una recolección de residuos sólidos en playa Azul, Tuxpan-Veracruz y posteriormente determinar el porcentaje que correspondieron a las colillas de cigarros durante el período 2015-2017.

2. Metodología

En esta sección se describe la metodología de la presente investigación, la cual fue dividida en tres secciones. En la primera se describe la zona de muestreo en términos geográficos y de actividades realizadas, con la finalidad de establecer un marco referencia para el estudio. En la segunda sección se presentan los criterios que se siguieron para la elección de la zona de muestreo, y por último se presenta la clasificación de los residuos sólidos urbanos y colillas recolectados.

2.1 Descripción de la zona muestreo y de las condiciones climáticas

El estudio se realizó al noreste del estado de Veracruz, en el municipio de Tuxpan (Figura 1), en donde se encuentra uno de los puertos más importantes del Golfo de México. Las playas de Tuxpan presentan pendientes suaves en la costa y en el fondo marino, los sustratos dominantes son arena y grava, entre los hábitats que albergan se encuentran pastos marinos y arrecifes de coral. Las actividades que se desarrollan en la zona son: pesca a pequeña escala e industrial, actividades industriales, agricultura, ganadería, procesamiento de pescado, corte de mangle, transporte marítimo, turismo costero y marino [9].

La playa elegida para el estudio fue playa Azul (20°58'00" N y 97°18'46.6" O), la cual se caracteriza por la presencia de casas habitación, restaurantes y hoteles, algunos de ellos en construcción. Es de fácil acceso para los automóviles, y aunque existe un área de estacionamiento la gente suele transitar en sus vehículos sobre la zona intermareal. La afluencia de turismo es durante todo el año, y en ella se realiza una gran diversidad de actividades: comercio formal e informal, industria, pesca y recreación [10].

En este estudio se recuperaron los datos climatológicos: temperatura (°C), precipitación (mm) humedad relativa (%) y condición climática, utilizando la base de datos TuTiempo.net, de la estación meteorológica #766400 ubicada en Tuxpan, Veracruz [11].



Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

2.2 Elección de la zona de muestreo

Los muestreos se llevaron a cabo durante los meses de septiembre y octubre del 2015 al 2017, uno por año, bajo las siguientes condiciones:

- Todos los muestreos se realizaron en la misma zona
- Se eligió una zona en donde no existiera infraestructura que interfiriera en la acumulación de residuos
- Los muestreos se realizaron antes de la salida del sol, con la finalidad de evitar el tránsito por la zona y la posible afectación de las muestras

Los muestreos se realizaron en fines de semana, debido a que en la zona no se realizan labores de limpieza entre semana. Se asumió que los residuos recolectados el día sábado corresponden a los acumulados (actividades antropogénicas y los depositados por las corrientes marinas) durante la semana, mientras que los recolectados el domingo corresponden a los generados en el transcurso del sábado y madrugada del domingo.

El área se delimitó con una cuerda y los límites fueron de la primera línea pleamar a la línea de agua. Se recolectaron todos los residuos dentro del área delimitada, así como aquellos fragmentos plásticos mayores a 5 mm (Figura 2).



Figura 2 Delimitación del área de estudio (izquierda). Recolección de residuos en el área muestreada (derecha).
Fotos: Vania L. Rosado Piña

2.3 Clasificación

Los residuos recolectados se clasificaron de acuerdo a la UNEP [12], en los siguientes grupos (Figura 3):

- Plásticos
- Plástico espumado
- Tela
- Vidrio y cerámica
- Metal
- Papel y cartón
- Caucho y látex
- Madera
- Otros

Sin embargo, en dicha clasificación a las colillas de cigarros se les contempla dentro del grupo de plásticos y debido a que éstas representan el objeto de estudio del presente trabajo se optó por considerarlas como un grupo aparte.



Figura 3 Clasificación de los Residuos sólidos urbanos, muestreo de octubre del 2015

3. Análisis y discusión de resultados

En esta sección se reportan los resultados divididos en tres apartados, el primero se presentan las condiciones climáticas en las cuales fueron llevado a cabo los muestreos, posteriormente la composición de los residuos sólidos urbanos en términos de materiales y por último se reportan los resultados sobre la incidencia de colillas de cigarros.

3.1 Condiciones climáticas de los muestreos

En la Tabla 1 se muestran las condiciones climáticas que se presentaron en los días anteriores a los muestreos, es decir los datos de los días sábado corresponden a los del viernes, mientras que los del domingo a los del sábado. Lo anterior fue debido a que en el presente estudio se observó que las condiciones climáticas tienen significancia sobre la incidencia de colillas de cigarros.

En los muestreos realizados se observó que la temperatura osciló entre los 25.8 y 27.5 °C, mientras que el porcentaje de humedad relativa se mantuvo en promedio $90.3 \pm 2.1\%$. Sin embargo, en el muestreo llevado a cabo en el 2017 las condiciones climáticas fueron variables nublado-soleado con lluvia para el día sábado (35.05 mm), mientras que en los muestreos 2015 y 2016 todos los días fueron soleados sin precipitación, propicios para las actividades recreativas en playa.

Tabla 1 Condiciones climáticas presentes en los muestreos

Muestreos		Temperatura media (° C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Condiciones climáticas
Septiembre 2017	Sábado	26.7	94	0.00	Nublado y soleado con lluvia
	Domingo	27.0	90	35.05	
Octubre 2016	Sábado	26.6	91	0.00	Soleado y despejado
	Domingo	27.5	88	0.00	
Octubre 2015	Sábado	25.8	90	0.00	Soleado y despejado
	Domingo	26.3	89	0.00	

3.2 Composición de los residuos sólidos urbanos

En la Figura 4 se presentan los porcentajes en términos de pieza de los valores promedios de los dos muestreos (sábado y domingo) obtenidos para los tres años del estudio (dos eventos por año). Se observa que el porcentaje más alto fue para los residuos plásticos, los cuales en todos los casos presentaron valores por arriba del 50 %. Posteriormente las colillas se presentaron en el intervalo de 22.5-31.3%, con la mayor proporción en el año 2015 (31.3%).

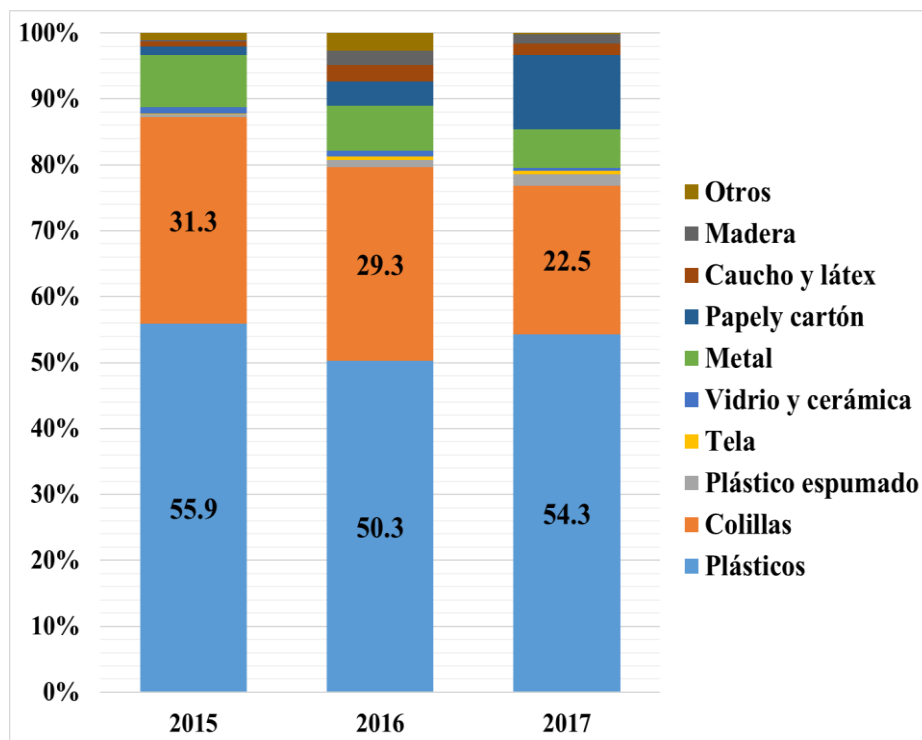


Figura. 4. Promedio del porcentaje de colillas de cigarros con base en los residuos sólidos urbanos

3.3 Incidencia de colillas de cigarros

En la Figura 5 se presentan los resultados de proporción de colillas en los RSU encontrados en esta investigación. Se observa que los valores obtenidos para 2015 y 2016 están por encima del 26% en ambos días. En el muestreo llevado a cabo en octubre del 2017, se observó una diferencia mayor entre los días sábado y domingo, en comparación con los dos muestreos anteriores (22.4%). Esto fue atribuido a que el

sábado se presentaron lluvias intermitentes, las cuales no fueron propicias para que se llevaran a cabo actividades recreativas y además pudieron arrastrar residuos hacia el agua. Lo anterior resulta relevante, debido a que se estableció una relación sobre las actividades antropogénicas (turismo) son la principal causa de la presencia de colillas.

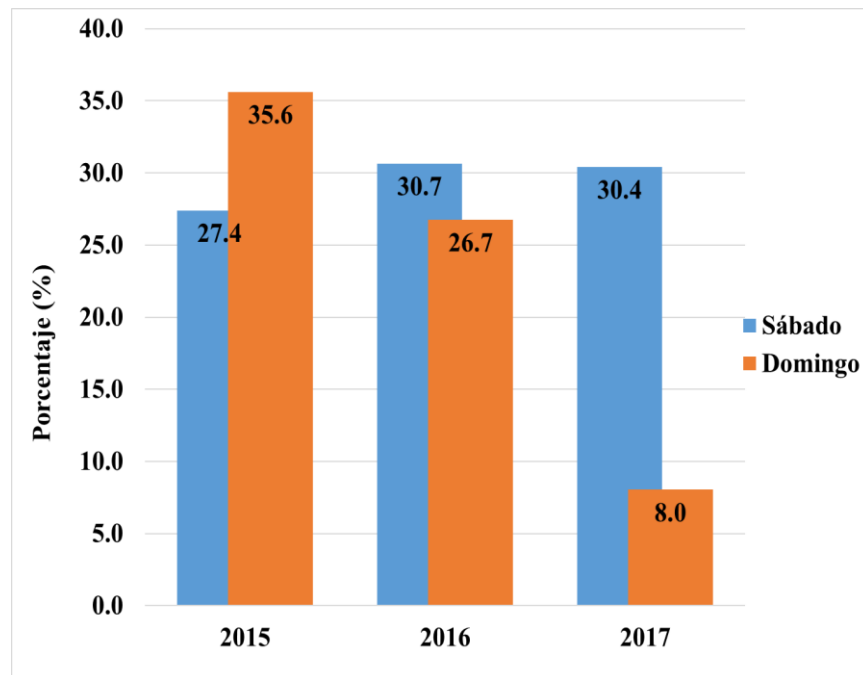


Figura. 5. Porcentaje de colillas de cigarros en los tres muestreos

En la Tabla 2 se reportan los datos obtenidos por Ocean Conservancy para México [8], la presencia de voluntarios es crucial para este tipo de programas, y como se aprecia, en los últimos años ha aumentado el número de éstos.

En cuanto a la masa recolectada se tienen valores en el intervalo de 51.8-72.2 toneladas, los kilómetros recorridos van desde los 125.0 a 272.8, las piezas de residuos recolectadas han ido en aumento, mientras que las colillas han tenido una tendencia similar, salvo para el último muestreo reportado donde hubo una disminución.

Tabla 2. Ocurrencia de colillas de cigarros en los muestreos realizados por Ocean Conservancy

Año de colecta	Número de voluntarios	Masa recolectada (ton)	Longitud recorrida (km)	Piezas totales de residuos	Piezas de colillas
2016	20588	59.6	205.0	898234	77073
2015	17989	61.8	217.8	403709	81373
2014	15742	59.8	216.3	341114	64192
2013	11781	51.8	125.0	336046	59679
2012	16801	72.2	272.8	N.D.	N.D.

N.D. No disponible

Los datos presentados en la Tabla 2 se normalizaron con la finalidad de que pudieran ser comparados con

los obtenidos en el presente estudio. En primera instancia se determinó el porcentaje de colillas con respecto a las piezas totales de residuos recolectados (Ecuación 1).

$$\%Colillas = \left(\frac{Piezas\_colillas * 100}{Piezas\_totales} \right) \quad (1)$$

Posteriormente se estableció el número de colillas por cada 100 m recorridos, para que fuera equivalente al transecto muestreado en el presente estudio (Ecuación 2).

$$Colillas / 100m = \left(\frac{Piezas\_colillas}{Longitud\_recorrida * 10} \right) \quad (2)$$

En la Tabla 3 se presentan una comparación entre los muestreos realizados por Ocean Conservancy y los realizados en Tuxpan, Veracruz, en términos de la incidencia de colillas. Aunque los datos reportados por Ocean Conservancy, son un promedio de los obtenidos de diferentes playas del país, aunado a que las fechas de los muestreos no coinciden con las del presente estudio, permiten establecer una tendencia en cuanto a la ocurrencia de colillas en playas mexicanas.

Tabla 3. Ocurrencia de colillas de cigarros en muestreos de Ocean Conservancy y Tuxpan

Año del muestreo	Ocean Conservancy			Estudio		
	Posición en los muestreos	% colillas (piezas)	Colillas/100m	Posición en los muestreos	% colillas (piezas)	Colillas/100m
2017	N.P.	N.P.	N.P.	2	22.5	71.5
2016	2	8.6	37.6	2	29.3	105
2015	2	20.2	37.4	2	31.3	101.5
2014	2	18.8	29.7	N.R.	N.R.	N.R.
2013	2	17.8	47.7	N.R.	N.R.	N.R.

En ambos muestreos los plásticos fueron los materiales posicionados en primer lugar, mientras que las colillas de cigarros ocupan en todos los casos el segundo lugar. En los eventos llevados a cabo por Ocean Conservancy, se reportan los diez residuos con mayor ocurrencia (ejemplo, bolsas, tapas, botellas, latas, entre otros), por lo que para el presente análisis se sumaron aquellos que son de un mismo material (plástico, metales, vidrio), en el caso de las colillas se consideraron por si solas.

Los plásticos y las colillas de cigarros son de los residuos más comunes en playa Azul de Tuxpan Veracruz, así como en las reportadas por Ocean Conservancy para México. Los porcentajes de colillas en términos de piezas para Ocean Conservancy van desde 8.6 hasta el 20.2%, y se observa que en el último muestreo el porcentaje disminuyó considerablemente.

Para explicar la causa de esta disminución se necesitarían datos adicionales, por ejemplo, los residuos recolectados por estado, las condiciones climáticas y eventos atípicos (conciertos en playa o eventos deportivos) que tuvieron lugar antes o durante los muestreos.

En el caso de los muestreos realizados en Tuxpan, el porcentaje de colillas se encuentra entre el 22 y 31% siendo más alto que los de Ocean Conservancy. En cuanto al número de colillas por cada 100 m, el promedio para Ocean Conservancy es de 38.1 ± 7.4 mientras que para el de Tuxpan fue de 92.7 ± 18.4 . La discrepancia entre ambos casos podría deberse a:

- La gestión de residuos que se lleva a cabo en cada playa, la cual depende directamente de los municipios
- Los muestreos de Ocean Conservancy se realizan por lo regular en las mismas playas, por lo que podría existir ya un grado mayor de conciencia ambiental que en otras playas del país
- La recolección la realizan voluntarios, por lo que la minuciosidad de los muestreos podría ser menor que la del presente estudio

4. Conclusiones

La presencia de colillas de cigarros es una problemática mundial, y en México no es la excepción. En el presente estudio se monitoreó la presencia de residuos sólidos urbanos en una playa del estado de Veracruz durante tres años en la misma zona y temporada; las colillas de cigarros ocuparon la segunda posición en términos de presencia, posición comparable con la obtenida por Ocean Conservancy.

Los resultados revelaron que después de los residuos plásticos, las colillas de cigarros representan los residuos con mayor ocurrencia en playa Azul del municipio de Tuxpan, Veracruz, la presencia de colillas en términos de piezas se encontraron en el intervalo 22.5-31.3%.

Las actividades turísticas que se realizan en playa Azul, inciden directamente en la presencia de colillas de cigarros, por lo que se recomienda realizar campañas de concientización sobre las afectaciones que pueden tener éstas en el ambiente.

Los muestreos anuales en playas, permiten conocer el tipo de residuos que se genera o que llega de otros lugares vía corrientes marinas, sin embargo, sería recomendable que se llevaran a cabo más de una vez al año, y que se cubriera una mayor distancia. Una de las finalidades de este tipo de estudios, sería la de proponer un manejo adecuado de los residuos en las playas.

Existe poca literatura sobre los riesgos asociados a la presencia de colillas en playas, por lo que es necesario realizar estudios enfocados a la posible toxicidad que presenten en los organismos marinos, en el caso de la playa estudiada se tiene cerca de la zona de arrecifes de coral, los cuales son ecosistemas de gran plusvalía y que pueden ser frágiles a dichos contaminantes.

Referencias Bibliográficas

- [1] Novotny T. E., Bialous S. A., Burt L., Clifton C., da Costa V. L., Iqtidar S. U., Liu Y., Pujari S., d'Spaignet E.T., (2015). *The environmental and health impacts of tobacco agriculture, cigarette manufacture and consumption*. *Bulletin of the World Health Organization*, 93(12), 877–80. <https://doi.org/10.2471/BLT.15.152744>
- [2] Heaton C. G., Cummings K. M., O'Connor R. J., Novotny T. E. (2011). Butt really? The environmental impact of cigarettes. *Tobacco Control*, May, Vol. 20 Suppl 1. <https://doi.org/10.1136/tc.2011.043729>
- [3] Moriwaki H., Kitajima S., Katahira K., (2009). Waste on the roadside, 'poi-sute' waste: Its distribution and elution potential of pollutants into environment. *Waste Management*, 29(3), 1192–1197.
- [4] Afridi, H. I., Kazi, T. G., Talpur, F. N., Brabazon, D., & Naher, S. (2013). Estimation of toxic elements in the samples of different cigarettes and their impact on human health of Irish hypertensive consumers. *Clinica Chimica Acta*, 426, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2013.08.023>
- [5] Novotny, T. E., Hardin, S. N., Hovda, L. R., Novotny, D. J., McLean, M. K., & Khan, S. (2011). Tobacco and cigarette butt consumption in humans and animals. *Tobacco Control*, 20 Suppl 1(Suppl 1), i17-20. <https://doi.org/10.1136/tc.2011.043489>

- [6] Register, K.M., (2000). Cigarette Butts as Litter- Toxic as Well as Ugly? *Underwater Naturalist*, 25(2), 23–29.
- [7] Micevska, T., Warne, M. S. J., Pablo, F., & Patra, R. (2006). Variation in, and causes of, toxicity of cigarette butts to a cladoceran and microtox. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50(2), 205–212. <https://doi.org/10.1007/s00244-004-0132-y>
- [8] Ocean Conservancy, 2014. *International Coastal Cleanup: Turning the Tide on Trash, 2014 Report*. Washington, DC, 2014. (<http://www.oceanconservancy.org/ourwork/marine-debris/icc-data-2014.pdf>). (acceso: 10.08.15).
- [9] Ortiz, L., Arceo, P., Granados, A., Salas, D., & Jiménez, M. (2010). *Zona costera*. Gobierno del Estado de Veracruz, 124–146.
- [10] Santiago Bravo, R. (2010). *Caracterización de las playas de Tuxpan, Veracruz mediante criterios de certificación*. Universidad Veracruzana.
- [11] TuTiempo.net. (2018). Clima Tuxpan Veracruz. Recuperado a partir de <https://www.tutiempo.net/clima/ws-766400.html>
- [12] Cheshire, A., Adler, E., Barbière, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., & G., W. (2009). *UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter*. UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter.

Composición de residuos plásticos en tres ciudades del país

¹Arely Areanely Cruz Salas, ²Juan Carlos Alvarez Zeferino, ^{1*}Alethia Vázquez Morillas, ²Sara Ojeda Benitez, ²Samantha Cruz Sotelo, ³Nina Tsydenova

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Ciudad de México. Tel: 5578373857. E-mail: * alethia@correo.azc.uam.mx

² Universidad Autónoma de Baja California, Calle de la Normal S/N y Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este Mexicali B. C.

³Carl von Ossietzky University of Oldenburg, Ammerländer Heerstraße 114, 26129 Oldenburg, Germany

Resumen

La producción de plásticos aumenta año con año debido a que se han convertido en el material ideal para el empaquetado y almacenamiento, por su bajo costo de producción, alta durabilidad, resistencia y elasticidad. El problema de los plásticos en los rellenos sanitarios es que ocupan un gran volumen y reducen el tiempo de vida de las instalaciones. En los tiraderos a cielo abierto, por la acción de la lluvia y el viento se desplazan llegando a diversas zonas (lagos, ríos y áreas de agricultura) ocasionando contaminación. Con la finalidad de conocer la composición de los residuos plásticos en la República Mexicana, observar su variación e identificar los factores que podrían incidir en la misma se realizaron estudios de generación y composición en tres ciudades (Mexicali, Nanchital y CDMX). El porcentaje más alto de plásticos lo obtuvo la CDMX con un 12.13 %, Nanchital y Mexicali presentaron un porcentaje menor y muy parecido entre ellos (11.27 y 11.07 % respectivamente). Los plásticos se separaron en diversas categorías y con base en ellas se encontró que las bolsas y el PET son los residuos que más se generan en todas las regiones. De las tres ciudades Nanchital y Mexicali presentaron la mayor generación de bolsas (48.62 %) y PET (29.92%). Aunque aparentemente el porcentaje de generación de plásticos es pequeño se prevé que este aumente de manera continua si se mantiene el ritmo de utilización de estos materiales. Es necesario, por tanto establecer estrategias que permitan su minimización y aprovechamiento.

Palabras Clave: *Residuos sólidos urbanos, PET, CDMX, bolsas*

1. Introducción

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define a los residuos como aquellos materiales o productos en estado semisólido, sólido, líquido o gaseoso que el propietario rechaza, que pueden estar en recipientes o depósitos, y que pueden ser susceptibles de aprovechamiento mediante un tratamiento o disposición final, como lo estipula la misma ley. Se clasifican en residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP), dependiendo de su origen y características [1], [2].

Los residuos sólidos urbanos son aquellos que se originan en casas habitación como producto de la eliminación de materiales empleados en las actividades domésticas (por ejemplo, de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques) o los derivados de las actividades realizadas por establecimientos o en vía pública, con características domiciliarias, así como los provenientes de vías y lugares públicos siempre y cuando no sean contemplados como otro tipo de residuos [1]. La composición de los RSU será diferente dependiendo del estatus social y económico, la cultura, los bienes y servicios con que cuente dicha región. En México, la composición de los RSU incluye residuos de comida y jardines (52.4 %), papel y cartón (13.8 %), plásticos (10.9 %), vidrio (5.9 %), aluminio (1.7 %), textiles (1.4 %), metales ferrosos (1.1 %), metales no ferrosos (0.6 %) y otro tipo de residuos (12.1 %). En la composición de los

RSU predominan los residuos orgánicos, sin embargo, su proporción ha disminuido ya que en los años 50 se encontraba entre el 65 y 70 %; esto se debe a tanto a un proceso de urbanización del país como al incremento en la generación de otros materiales, como es el caso del papel y los plásticos [3].

Los plásticos son un grupo de materiales sintéticos cuya estructura consiste de cadenas moleculares con un alto contenido de carbono, ya sea como elemento único o principal [4]. Son duraderos, resistentes, de baja densidad, flexibles, insolubles en agua, resistentes a la descomposición biológica y a diversos ataques químicos. Se transportan fácilmente a través del ambiente, por el viento y agua [5]. Debido a todas las propiedades antes mencionadas el uso de los plásticos ha aumentado drásticamente. Desde la década de 1950 han mantenido una tasa de crecimiento que ha llevado a una producción mundial anual de 322 millones de toneladas en el 2015, lo equivalente a 43 kg por persona [6], [7]. Sus principales sectores de aplicación son el envasado, la construcción, la industria automotora, la electricidad, la electrónica y la agricultura

En la industria alimenticia son usados diversos tipos de plástico, como los polietilenos (PE) y los polipropilenos (PP), por sus atractivas propiedades físicas y químicas y su resistencia a la humedad. El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) son ejemplos de plásticos empleados para la producción de botellas desechables para bebidas o para recipientes de alimentos. El cloruro de polivinilo (PVC) se usa para fabricar películas rígidas o cintas adhesivas, aunque hoy en día el PE es el material ideal para adherir película ya que requiere menos plastificantes [6].

La problemática de estos materiales radica en que cada vez están presentes en mayores cantidades, por sus múltiples usos, en los RSU generados de cualquier hogar. Debido a la falta de gestión no existe hoy en día alguna legislación aplicable para que estrictamente sean sometidos a algún tratamiento o valorización. Generalmente se disponen en los rellenos sanitarios, en los cuales generan grandes espacios de aire que no permiten la compactación adecuada de todos los residuos, reduciendo el tiempo de vida del relleno [8]. Los plásticos también son considerados componentes sedimentarios, tanto en ambientes terrestres como marinos, en la tierra se distribuyen más evidentemente en las áreas urbanas y sus alrededores a través de los residuos ocasionales. Su disposición debajo de la superficie del suelo se asocia con la distribución de vertederos donde los plásticos en las últimas décadas han llegado a constituir cerca del 10 % en peso de los residuos enterrados [5].

Este estudio se realizó con la finalidad de conocer la composición de los residuos plásticos que se generan actualmente en el Norte (Mexicali, Baja California), Sur (Nanchital, Veracruz) y centro (Ciudad de México) del país, con el fin de evaluar como varía la generación cada una de las respectivas regiones y tratar de identificar factores que inciden en la misma.

2. Metodología

Para determinar la composición de los residuos plásticos se realizaron dos muestreos en la CDMX, en las estaciones de transferencia (ET) de Venustiano Carranza y Coyoacán, dos muestreos en el municipio de Nanchital, Veracruz y uno en Mexicali, Baja California, en el periodo comprendido entre octubre de 2016 y junio de 2017. La Tabla 1 presenta información relevante sobre cada una de las ciudades.

Tabla 1. Información relevante de las tres localidades

GENERALIDADES	CDMX	Nanchital, Ver.	Mexicali, B.C.
Ubicación	En el Valle de México	Región Golfo Sur del estado de Veracruz de Ignacio de la llave	En el extremo noroeste del Valle de Mexicali en frontera con Estados Unidos
Superficie total	1,495 km ²	30.2 km ²	113,7 km ²
Número de habitantes	8.9 millones	30,039	1,025,743

Actividades económicas relevantes	Industria de alimentos, turismo, comercio de mayoristas y minoristas	Industria petroquímica y servicios	Industria de transformación y maquiladora, de alimentos y eléctrica y el sector hortofrutícola

2.1 Obtención de las muestras

Las muestras de RSU se tomaron de los camiones que llegaban a las ET, para el caso de Mexicali y Ciudad de México, y al tiradero a cielo abierto para el caso Nanchital. Se obtuvieron de vehículos recolectores de residuos diferentes, y se almacenaron en recipientes de 200 L (Figura 1) hasta llenarlos. De esta forma se obtuvo un volumen inicial aproximado de 1000 L de residuos en cada muestreo.

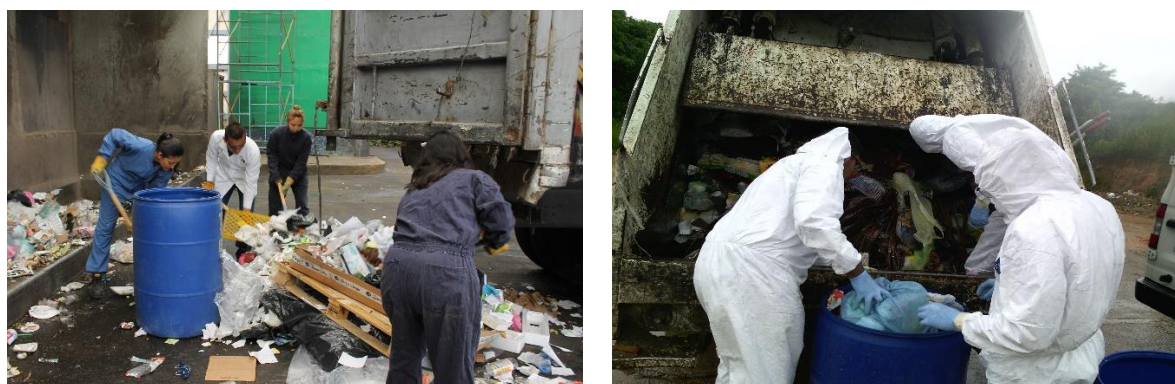


Figura 1. Recolección de residuos en estaciones de transferencia y vehículos recolectores

2.2 Clasificación en subproductos

La clasificación de residuos en subproductos se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Baja California, campus Mexicali, la Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco y en el panteón Santa Elena de Nanchital, Veracruz.

A los residuos recolectados se les aplicó el método de cuarteo, de acuerdo con la NMX-AA-015-1985 para obtener una muestra representativa. Los residuos se vaciaron sobre un área plana horizontal de 4 x 4 m, se homogenizaron (Figura 2, imagen a), posteriormente se dividieron en cuatro partes iguales A, B, C y D, y se eliminaron las partes opuestas A y D (Fig. 2, imagen b). Esta operación se repitió hasta que se obtuvo un mínimo de 50 Kg de RSU.



Figura 2. Obtención de muestra: A) homogeneización de RSU y B) eliminación de cuadrantes

Los residuos de la muestra obtenida del método de cuarteo se extendieron en una mesa para la selección y cuantificación de subproductos, mediante una adaptación de la NMX-AA-22-1985 (Figura 3).



Figura 3. Separación de subproductos en RSU

2.3 Clasificación de los residuos plásticos

Los residuos plásticos obtenidos de la separación y cuantificación de RSU se lavaron y posteriormente se secaron para proceder a su clasificación. Los plásticos rígidos se clasificaron con base en el código numérico establecido en la NMX-E-232-CNCP-2011, que establece y describe los símbolos de identificación que deben tener los productos fabricados de plástico en cuanto al tipo de material, que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Códigos de identificación de plásticos

Código de identificación	Nombre del plástico
1	PET (Polietileno tereftalato)
2	PEAD (Polietileno de alta densidad)
3	PVC (Cloruro de polivinilo)
4	PEBD (Polietileno de baja densidad)
5	PP (Polipropileno)
6	PS (Poliestireno)
7	Otros

Por otro lado, los residuos que no presentaron código de identificación se sometieron a la prueba de flama que consistió en cortar un pedazo de residuo plástico y encenderlo para percibir su olor y color de la flama al ser quemado. El PVC se identifica porque al encenderlo y retirar la flama de inmediato ésta se apaga, el poliestireno y el polietileno al ser quemados presentan un olor peculiar al unicel y a cera, respectivamente

Los plásticos que no pudieron identificarse con la prueba de flama se clasificaron con base en las densidades (Tabla 3) que presentaron al realizarles la prueba de flotabilidad. Para esta prueba se tomaron muestras de diferentes plásticos y se agregaron a un vaso de precipitado que contenía una solución con densidad de 1.00 g/ml (agua potable), separando los plásticos que flotaron y los que no flotaron, ambas fracciones se secaron.

Tabla 3. Densidad de los plásticos [12]

Categoría	Artículos comunes	Densidad específica (g/ml)
PE (Polietileno)	Bolsas de plástico, anillos de six-pack	0.91 – 0.94

PP (Polipropileno)	Soga, tapas de botella	0.90 – 0.92
PS (Poliestireno)	Utensilios, embalaje	1.04 – 1.09
PVC (Cloruro de polivinilo)	Bolsas, tubos	1.16 – 1.30
PET (Polietileno tereftalato)	Botellas	1.34 – 1.39

Los plásticos flotantes se agregaron a un vaso de precipitado que contenía un líquido de densidad 0.90 g/ml. Nuevamente se realizó una separación para los que flotaron y los que no flotaron, inmediatamente se retiraron para que ambas divisiones pudieran secarse. Por último, la fracción no flotante se introdujo en un vaso de precipitado conteniendo una solución de NaI con densidad de 1.60 g/ml. Para determinar la identidad de los plásticos se aplicó el criterio mostrado en la Figura 4.

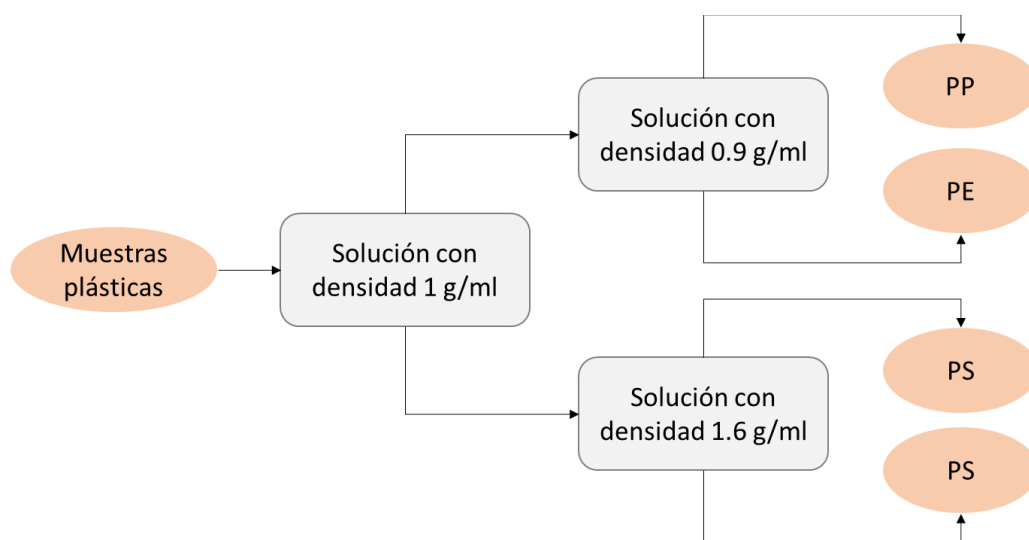


Figura 4. Proceso de identificación de plásticos por flotación

A pesar de lo anterior, hubo plásticos que no pudieron identificarse o que contenían combinaciones, por lo que fueron clasificados como “otros”. El proceso de clasificación descrito permitió identificar tanto los tipos de plásticos como las aplicaciones principales de los mismos.

3. Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo de campo, así como su análisis correspondiente.

3.1 Composición de residuos sólidos urbanos

La Figura 5 presenta la composición porcentual de los residuos en las tres ciudades estudiadas. Se observa que en los tres casos las corrientes más relevantes de residuos son los orgánicos, sanitario, plásticos, papel y cartón, que juntos conforman entre el 74 (Ciudad de México) y el 92% (Nanchital) de los residuos. Los residuos orgánicos son, en todos los casos, los que se generan en mayor cantidad..

La Ciudad de México presenta una proporción ligeramente menor de orgánicos, lo cual puede relacionarse con el hecho de que los muestreos fueron tomados en días en que, de acuerdo con la separación de residuos establecida, se realiza la recolección de residuos inorgánicos. En este caso, la aparición de los mismos en los RSU es un indicativo de que la separación no funciona adecuadamente en la ciudad.

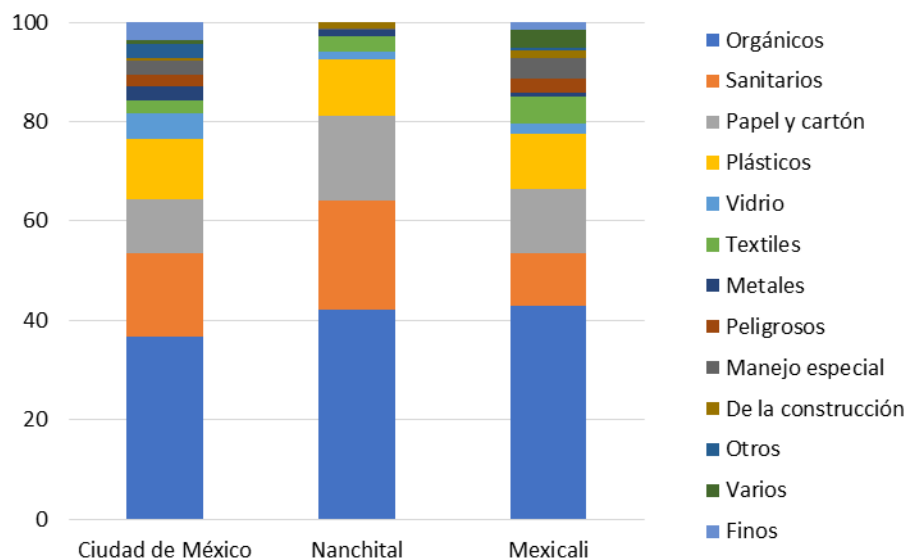


Figura 5. Composición de RSU en las tres ciudades

Es importante mencionar que en los residuos alimenticios de los diversos estudios se observaron algunos en buen estado, las frutas y verduras estaban enteras sin presentar descomposición. Este tipo de residuos presentan una gran oportunidad de ser aprovechados para la producción de abono orgánico, mediante el composteo o lombricomposteo, que puede ser empleado para la agricultura y el cultivo de plantas por su alto contenido de materia orgánica y nutrientes.

Analizando la generación de plásticos se observa que ésta es similar en Nanchital y en Mexicali (con un 11.27 y 11.07 % respectivamente), y ligeramente mayor en la CDMX, con 12.13 %. Aunque la diferencia entre las tres regiones es baja, la mayor proporción en la CDMX puede deberse a que ahí se hace una recolección de RSU separada que aunque no es totalmente eficiente, sí contribuye a una mayor recolección de plásticos en los días en que se colectan los inorgánicos.

3.4 Clasificación de los residuos plásticos

Los residuos plásticos constituyen el 10-12% de los RSU en las tres ciudades en que se realizó el estudio. La Figura 6 muestra la composición de los residuos plásticos, basada en los tipos de resinas presentes en cada uno. Se observa que en los tres casos el plástico presente en mayor proporción es el polietileno de baja densidad, que constituye entre el 30 y 60% de todos los plásticos presentes. El segundo plástico en relevancia es el PET.

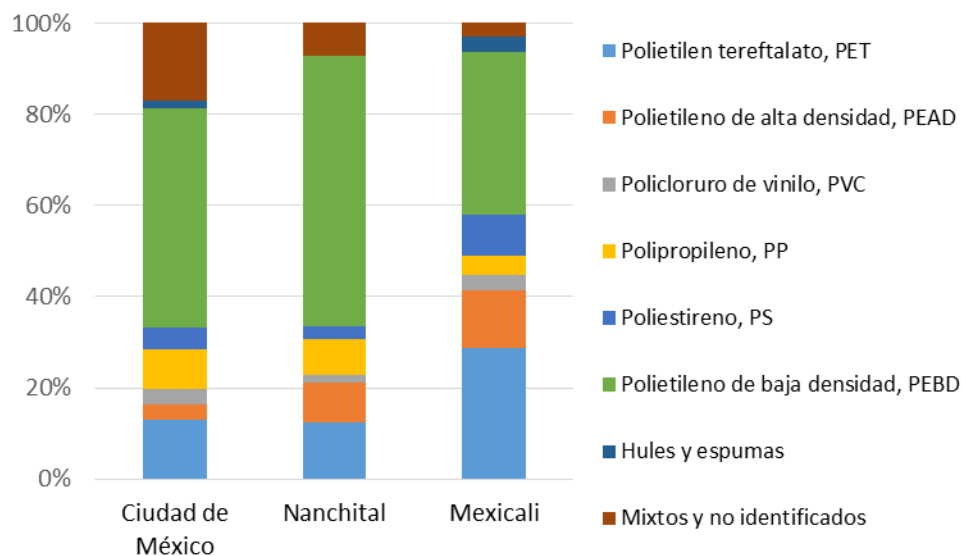


Figura 6. Composición de los residuos plásticos presentes en los RSU

La Figura 7 presenta el porcentaje de los distintos productos plásticos en los residuos sólidos urbanos. Se observa que la mayor proporción corresponde a las bolsas y películas, que incluyen el plástico usado para empaque; juntas conforman alrededor del 5% de todos los RSU. Si se toma en cuenta que estos materiales son muy ligeros (la masa promedio de una bolsa de plástico es de 6 g), puede deducirse que se genera una gran cantidad de estos residuos. El segundo residuo en importancia son las botellas de PET. A pesar de que en México se ha avanzado de manera notable en la recuperación de este material para su reciclaje, constituye aún una corriente significativa. Si la proporción de 1% obtenida para la Ciudad de México se aplica a la generación diaria de la ciudad, de aproximadamente 1.5 kg por persona por día, implicaría que por cada habitante llega a las estaciones de transferencia una botella por día. El caso de Mexicali es notable, pues la proporción de botellas de PET es superior al 3%. Puede suponerse que las condiciones climáticas, sumadas al estilo de vida en la ciudad, contribuyan a este resultado atípico. Esto podría ser un factor también en la alta generación de unicel y de envases rígidos de polietileno que se genera en la ciudad, comparativamente con la Ciudad de México y Nanchital.

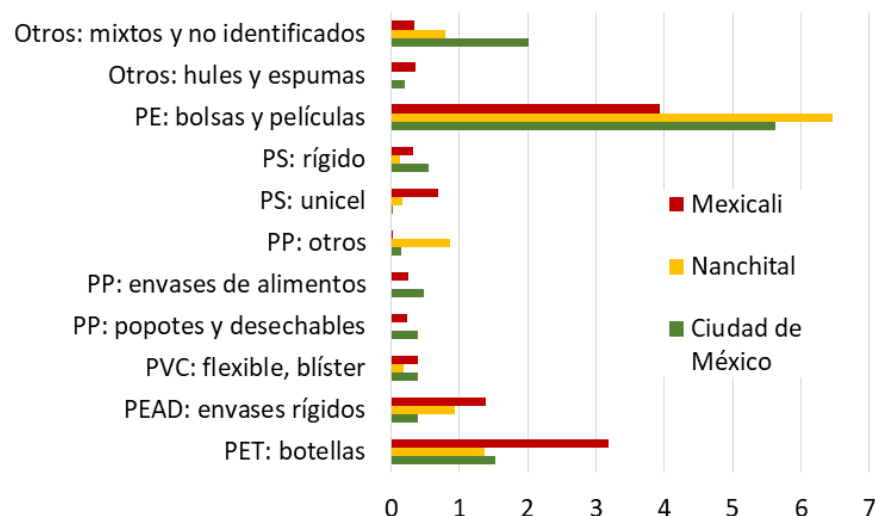


Figura 7. Proporción porcentual de los productos plásticos en los RSU

4. Conclusión

Los residuos plásticos constituyen una de las corrientes de residuos que más preocupación generan en la sociedad, debido al incremento en su generación y a su permanencia en el ambiente.

Los estudios de generación y composición en las tres ciudades del país permitieron verificar que las características de una población y los hábitos de sus pobladores inciden en la composición de los residuos. Aunque el porcentaje de plásticos en los residuos es similar, su composición presenta variaciones en cuanto al tipo de plásticos y de productos. Un ejemplo de esto son las bolsas, que en todos los casos son el residuo plástico más importante, pero su proporción en los RSU varía desde el 4% de los RSU en Mexicali hasta más del 6% en Nanchital.

Aunque en los últimos años se ha promovido el uso de bolsas de tela que se puedan reutilizar, la mayoría de éstas son de gran tamaño y por lo tanto solo se utilizan para compras de gran volumen en el supermercado pues el ocuparlas para compras de menor volumen las hace incómodas. Tal vez el uso de bolsas reutilizables no ha tenido éxito en todos los mercados porque el producirlas conlleva a una mayor inversión que no todos los empresarios están dispuestos a realizar, además de que representaría una disminución de ingresos para las empresas dedicadas a la producción de plásticos. Su presencia, por tanto, se debe a una combinación de aspectos económicos y de conveniencia.

La generación de plásticos no se va a detener y aunque lo más adecuado es tratar de disminuir el consumo de productos que contengan plásticos o reutilizarlos el mayor número de veces posible, también es muy importante considerar algunas alternativas de reciclaje, en lugar de disponerlos en un relleno sanitario o tiradero a cielo abierto. El reciclaje mecánico, reciclaje químico o, en última instancia, su empleo como fuente de energía mediante incineración deben contemplarse como opciones viables de manejo.

Los plásticos han llegado hasta ambientes acuáticos y otros tipos de ecosistemas, ocasionando afectaciones en la biota. Es importante que la sociedad tome conciencia de esta situación, y tome decisiones con respecto a su utilización, de forma que se puedan seguir aprovechando sus ventajas con un menor impacto en el ambiente.

5. Referencias

- [1] DOF. (2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México.
- [2] SEMARNAT. Informe de la situación del medio ambiente en México. Capítulo 7 Residuos (2012). México. Retrieved from http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/07_residuos/cap7_1.html
- [3] SNIARN. Informe del medio ambiente. Residuos (2015). México. Retrieved from <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/cap7.html#tema1>
- [4] Das, P., & Tiwari, P. (2018). Valorization of packaging plastic waste by slow pyrolysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 69–77. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.09.025>
- [5] Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Ivar do Sul, J. A., Corcoran, P. L., Barnosky, A. D., Cearreta, A., ... Yonan, Y. (2016). The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. *Anthropocene*, 13, 4–17. <https://doi.org/10.1016/J.ANCENE.2016.01.002>
- [6] Boberg, J., Granby, K., Svingen, T., & Vinggaard, A. M. (2018). Environmental Toxicology: Plastics. In *Reference Module in Biomedical Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.64382-9>
- [7] Lopez, G., Artetxe, M., Amutio, M., Alvarez, J., Bilbao, J., & Olazar, M. (2018). Recent advances in the gasification of waste plastics. A critical overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 576–596. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.09.032>
- [8] Maldonado, A. T. (2012). La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/7080/1/905077.2012.pdf>
- [9] SCFI. Norma mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales – muestreo- método de cuarteo. Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 6 de Noviembre de 1992. México.
- [10] SCFI. Norma mexicana NMX-AA-22-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo residuos sólidos municipales – selección y cuantificación de subproductos. Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 6 de Noviembre de 1992. México.
- [11] SCFI. Norma Mexicana NMX-E-232-CNCP-2011. Industria del plástico - Reciclado de plásticos - Simbología para la identificación del material constitutivo de artículos de plástico - Nomenclatura. Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 21 de Septiembre de 2011.
- [12] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2014). ¿Que son los micro plásticos? Retrieved from http://staging.unep.org/yearbook/2013/pdf/Microplastic_spanish.pdf

Caracterización y evaluación de los residuos alimenticios generados en un comedor universitario

¹ José Alberto Domínguez Guarneros, ² Alethia Vázquez Morillas, ³ Rosa María Espinosa Valdemar

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas C.P. 02200 Del. Azcapotzalco, Ciudad de México, México, al210303321@correo.azc.uam.mx, ² Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco ³ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Resumen

Se estima que en el mundo se pierden y desperdician alrededor de 1,300 millones de toneladas de alimentos, destinados para consumo humano. Esta situación propicia múltiples afectaciones al ambiente, tanto por la producción que finalmente es desaprovechada como por el manejo de los residuos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la generación diaria promedio y la composición de los residuos alimenticios del comedor de la UAM Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Para ello, se tomaron muestras de los residuos correspondientes a cinco días aleatorios durante cuatro semanas del primer periodo escolar del 2017, incluyendo tanto lo derivado de la preparación (preconsumo) como los restos de la comida servida (postconsumo). Los residuos se pesaron y se clasificaron en *evitables* e *inevitables*, así como en 14 grupos de alimentos, teniendo un total de 28 categorías. Se determinó una generación promedio diaria de 92.45 kg de residuos alimenticios: 78% *evitables* y 22% *inevitables*. También se determinó que la generación diaria por comensal es de 21.8 g, asumiendo que la persona acude al comedor tres veces al día (desayuno, comida y cena). Entre otras recomendaciones, se sugiere reemplazar las piezas de pan por otras de menor tamaño, buscando reducir el desperdicio de migajón, el cual destacó entre los residuos evitables.

Palabras Clave: *Residuos sólidos urbanos, residuos orgánicos, desperdicio de comida.*

Introducción

Anualmente se pierden y desperdician en el mundo 1,300 millones de toneladas de alimentos destinados para consumo humano [1]. Las pérdidas suceden en las fases de producción, postcosecha, almacenamiento y transporte, mientras que el desperdicio ocurre durante las fases de distribución-consumo y están relacionadas especialmente con los vendedores, servicios de venta de comida y consumidores [1]. Este fenómeno tiene diversas afectaciones al ambiente como lo son el agotamiento de los recursos naturales y de la biodiversidad, la emisión de gases de efecto invernadero y la presión de rellenos sanitarios, tanto por la producción que finalmente es desaprovechada como por el manejo de los residuos [2].

Los estudios que se han realizado sobre los residuos de comida difieren en los procedimientos, las categorías, el tipo de fuente generadora e implícitamente en el contexto social. Tal ausencia de una metodología estandarizada ha propiciado que se apliquen diferentes métodos [3]: cuestionarios [4], [5], diarios de cocina [6], [7] y análisis de datos estadísticos [1], [8], [9]. Por un lado, resulta difícil comprobar la veracidad de la información registrada por los participantes en la aplicación de diarios y cuestionarios [10]. A su vez, estimaciones derivadas de estadísticas nacionales son inciertas debido a diferencias en conceptos y conjeturas implícitas en los métodos de cálculo [9], [2]. Por lo tanto, un análisis de la composición resulta más objetivo y preciso [6].

Los residuos de comida suelen clasificarse en *evitables* e *inevitables*, de forma que se puedan establecer las medidas adecuadas tanto la prevención de la generación de los *evitables* como para el adecuado tratamiento de los *inevitables*. Algunos autores [8], [11], [12] contemplan una tercera categoría: los *posiblemente*

evitables, alimentos y bebidas desechados cuya generación depende de las preferencias y costumbres del consumidor (orillas de pizza) o bien, de la forma de prepararlos (cáscaras de papa, tallo de brócoli y piel de pollo). Para la realización de este trabajo, se tuvieron en cuenta las siguientes definiciones [13]: *evitables*: alimentos que en algún momento fueron comestibles (piezas de pan y tortilla); *inevitables*: aquellos derivados de la preparación de alimentos que no son ni han sido comestibles bajo circunstancias normales (huesos, semillas y cáscaras).

Adicionalmente, los residuos alimenticios pueden clasificarse de acuerdo con el interés particular de la investigación: categorías de alimentos [6], [14], origen vegetal o animal [15], el lugar donde fueron adquiridos [11], [13], [16], la etapa del ciclo de vida en que se generaron [11], el motivo de su generación [13], [16] o la ruta de disposición de los residuos [13], [16].

Si bien las pérdidas y el desperdicio de alimentos (PDA) se presentan en las diferentes fases de la cadena de suministro de alimentos, lo generado en las últimas etapas tiene un mayor impacto ambiental [1]. En promedio, el desperdicio de comida causado por el consumidor final implica un gasto 8 veces mayor de energía que las pérdidas postcosecha [17]. Las causas de la generación también varían con las condiciones particulares de cada país; mientras que en países de ingresos medios y altos las PDA se presentan debido al comportamiento del consumidor, en países de bajos ingresos las pérdidas son causadas por limitaciones tecnológicas o financieras y ocurren en etapas tempranas de la cadena de suministro. Por ejemplo, un consumidor de Norteamérica produce en promedio de 95 a 115 kg de residuos de comida al año, en tanto que una persona del África Subsahariana o del sureste asiático genera apenas entre 6 y 11 kg anuales [1], [18].

Sectores de la sociedad y autoridades han demostrado voluntad para mejorar el manejo de sus PDA y disminuir su generación. Por ello, resulta indispensable conocer la cantidad y la composición de tales residuos, lo cual permita a los tomadores de decisiones entender con mayor claridad el problema y justificar las inversiones necesarias [14]. En América Latina, 127 millones de toneladas de alimentos se pierden y desperdician anualmente [19], por lo que la región se ha propuesto la meta de reducir a la mitad las PDA *per cápita* al 2030 [20].

En México, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) emprendió desde el 2013 la “Cruzada Nacional Contra el Hambre”, con la finalidad de abatir la pobreza extrema alimentaria que sufren más de 7 millones de mexicanos [21]. La estrategia se basa en cinco objetivos, entre los que destaca el cuarto: *Minimizar las pérdidas postcosecha y de alimentos durante su almacenamiento, transporte, distribución y comercialización* [21]. El Grupo Técnico de Pérdidas y Mermas de Alimentos de la SEDESOL, desarrolló en 2013 el Índice de Desperdicio de Alimentos en México, el cual concluye que en el país se desperdicia el 37% de los alimentos producidos desde la cosecha hasta la comercialización. Para ello, se consideraron los productos alimenticios más representativos de la canasta básica y el desperdicio se calculó a partir de estadísticas sobre el consumo de los alimentos dentro de los hogares mexicanos [22].

En una investigación previa [23], se encontró una producción *per cápita* diaria de residuos alimenticios de origen doméstico en la Ciudad de México de 0.32 kg, la cual se midió a partir de un estudio de composición de los residuos, que implicó el pesaje por parte de los mismos participantes. No obstante, la investigación se acompañó de un proceso de concientización dirigido a los voluntarios para reducir la generación de residuos de comida, por lo que los resultados obtenidos pudieron haberse visto afectados.

Consecuentemente, el gobierno capitalino promulgó en 2017 la Ley para la Donación Altruista de Alimentos de la Ciudad de México, que tiene por objeto promover, orientar y regular las donaciones de alimentos aptos para consumo humano a fin de evitar el desperdicio injustificado [24]. De esta manera, se busca impulsar la

creación de bancos de alimentos y fortalecer los ya operantes, así como favorecer los estímulos para las personas e instituciones que donen comida en buen estado.

En ese sentido, resulta conveniente contar con información de fuentes potencialmente generadoras de estos residuos, tal es el caso de los servicios de comida institucionales, que ofrecen la oportunidad de reunir datos de un entorno relativamente controlado y, por tanto, implementar medidas efectivas para reducir las PDA [14]. En el comedor de la UAM-A, se sirven alrededor de 2,000 desayunos, 1,600 comidas y 250 cenas para la comunidad universitaria, de lunes a viernes durante los 3 periodos escolares del año, en un horario de 8 a 12 h (desayuno), de 13 a 16 h (comida) y de 17 a 18 h (cena). Los usuarios pueden tomar un solo menú subsidiado en el desayuno y uno en la comida, sin impedimento de consumir otros alimentos o la cena. El desayuno consiste en cereal y leche o en una porción de guisado, un bolillo y café, mientras que la comida consta de una ración de guisado, guarnición, sopa y un bolillo o 3 tortillas; la cena consiste por lo general en una ración de comida (dos quesadillas o un sándwich, por ejemplo) y café. En el comedor, existe una clasificación de los residuos en: recuperables (aluminio, Tetrapak®, vidrio, PET y vasos de cartón), orgánicos (restos de comida) y *todo lo demás* (servilletas, desechable, entre otros).

En 2013 se realizó un estudio de generación de los residuos alimenticios del comedor, considerando el *escamoteo* y los residuos de la preparación durante una semana de alta afluencia. Se determinó un valor promedio de 125.2 kg de residuos orgánicos al día y un máximo de 139 kg [25]. Sin embargo, no se contempló una separación de los residuos en subcategorías.

Metodología

La Figura 1 muestra las etapas del proyecto. Inicialmente, se realizó una búsqueda en sitios de noticias y portales institucionales para conocer información referente a las estrategias y acciones de gobiernos federal y local ante la problemática de los residuos de comida, así como de la participación de la sociedad civil. Además, se ingresó una solicitud de información a la SEDESOL sobre los resultados de la Cruzada Nacional Contra el Hambre.

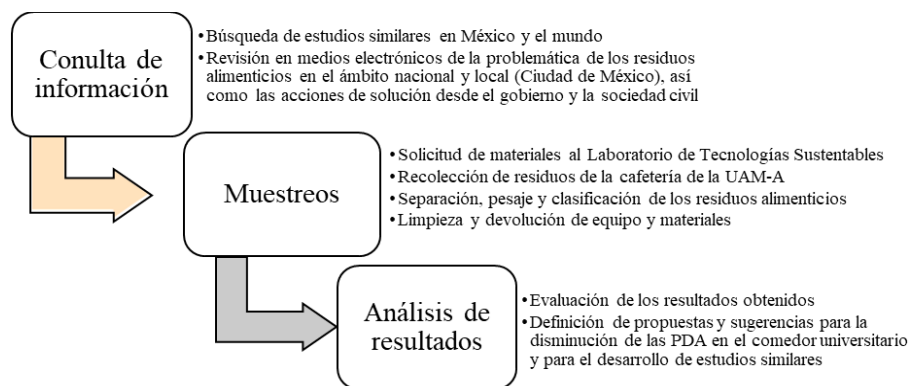


Figura. 1. Fases del proyecto de investigación

Para los muestreos, se contó con el apoyo del personal del Centro de Acopio de residuos, para el desarrollo de los muestreos, así como del Laboratorio de Tecnologías Sustentables para el préstamo de algunos instrumentos y materiales: báscula marca *Weighing Inspecting and Marking (WIM Systems)* modelo WIM-GPS/B con capacidad de 30 kg; báscula marca *WIM Systems* modelo WDB-6K-1, de 6 kg; báscula marca *CAMESA*, de 500 kg; tina de plástico de 50 litros; contenedor de base rectangular de plástico, de 200 litros; 14 bandejas de plástico de 8 litros; 10 vasos de plástico de 1 litro; equipo de seguridad personal. Las bolsas para el muestreo se tomaron en los siguientes horarios: a) desayuno: 12:00 a 12:30, b) comida: 15:30 a

16:00, c) cena: 17:30 a 18:00; lo anterior, teniendo en cuenta la llegada del proveedor externo para la recolección que es 2 veces al día.

Inicialmente se planteó pesar los residuos de comida generados durante 2 días aleatorios, semanalmente, durante las semanas 5ª a 8ª del trimestre de invierno del 2017 (17-I). Sin embargo, en la 1ª jornada de muestreo resultó evidente la complejidad de separar los residuos, por tanto se decidió tomar los residuos de un solo día a la semana en las siguientes tres jornadas. La clasificación de alimentos (Tabla 1) se definió tomando en cuenta el Índice desarrollado por la SEDESOL [22], el impacto ambiental de cada uno [26] y algunos estudios similares [6], [14].

Tabla 1. Lista de las categorías de alimentos

Categoría	Ejemplos	Categoría	Ejemplos
Res – EV	Carne de res	Res – IN	Huesos, piel y cartílago de res
Aves – EV	Carne de pollo	Aves – IN	Huesos, piel y cartílago de pollo
Puerco – EV	Carne de puerco y chicharrón	Puerco – IN	Huesos, piel y cartílago de puerco
Embutidos – EV	Jamón, chorizo y salchicha	Embutidos – IN	No aplica
Pescado – EV	Pescado	Pescado – IN	Huesos y menudencias de pescado
Huevo – EV	Huevo cocido	Huevo – IN	Cascarón de huevo
Lácteos – EV	Quesos	Lácteos – IN	No aplica
Tortilla – EV	Tortillas y chilaquiles	Tortilla – IN	No aplica
Pan – EV	Bolillo	Pan – IN	No aplica
ODT – EV	Cereal, tortillas de harina y pasta	ODT – IN	No aplica
Granos – EV	Frijol, maíz y garbanzos	Granos – IN	No aplica
Verduras – EV	Zanahoria, lechuga y jitomate	Verduras – IN	Cáscaras y partes no comestibles de verduras, como tallos y rabillos
Frutas – EV	Parte comestible de frutas, o cuando la mayoría sea comestible	Fruta – IN	Cáscaras y partes no comestibles o cuando la mayoría no sea comestible
Mezcla – EV	Mezcla de las demás categorías evitables, difícil de separar	Mezcla – IN	Mezcla de las demás categorías inevitables, difícil de separar

EV: Inevitables. IN: Inevitables.

También se consideró la oferta de platillos que existe en el comedor; en caso de encontrar residuos como tortilla o pan duro, se asumió que el desperdicio fue debido a un mal manejo y por lo tanto evitable. En general, se registró el peso de las diferentes categorías de alimentos identificadas en cada una de las fracciones de residuos alimenticios del día (Figura 2).

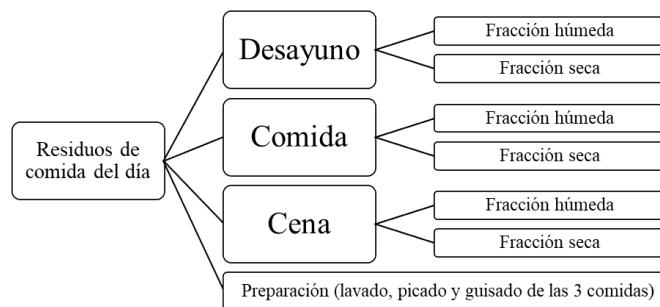


Figura. 2. Fracciones de residuos alimenticios del comedor de la UAM-A

A partir de la 2ª semana de muestreo se dividieron los residuos en *evitables* e *inevitables*, ya que en la 1ª jornada se evidenció la complejidad que implicaba identificar y separar los residuos. Se consideraron como residuos *ajenos al comedor* aquellos que no se sirven en el lugar, como galletas y pastelillos. Se descartaron aderezos, jarabes y demás residuos que resultan impráctico separar, salvo los caldos y salsas inmersas en el *escamoché*. Además, se omitieron envases, envolturas, desechables, otros artículos no comestibles y alimentos no previstos (azúcar, mariscos y cereal).

En el comedor, los comensales deben dejar los residuos de comida en la charola donde consumen sus alimentos y que devuelven al finalizar, de forma que tales residuos terminan en las bolsas del *escamoché*; sin embargo, restos de pan, tortilla y alimentos en general también se encontraron junto con los *reciclables* y *otros residuos*. Teniendo ello en cuenta, se agruparon las bolsas con residuos postconsumo según la presencia de desechable: aquellas con escamoché se consideraron *fracción húmeda* y las que contenían desechable como *fracción seca*. Cabe mencionar que durante algunos días en que se muestreó, la comida se sirvió en platos desechables, incrementando notablemente el volumen de los residuos *fracción seca* generados y dificultando así las labores del muestreo. Por ello, se decidió aplicar una metodología conforme a las distintas fracciones de residuos:

- Tratándose de un reducido volumen de *fracción seca*, estos se separaron y pesaron.
- En presencia de varias bolsas de *fracción seca*, se retiraron elementos *ajenos al comedor* dejando sólo desechable y residuos de comida, a fin de homogenizar el contenido. Se pesaron todas las bolsas y se tomó aleatoriamente una de ellas, la cual representó al conjunto, para separar manualmente los residuos de comida y a su vez las distintas categorías de alimentos.
- Con una gran cantidad de escamoché, se retiró desechable, servilletas y elementos *ajenos al comedor*. Entonces, los residuos se vertieron en una tina grande rectangular, se mezcló manualmente y se aplicó un cuarteo de 1 o más etapas para facilitar el manejo.
- En presencia de poco escamoché y según su consistencia, se separó todo.
- Los residuos de preparación de alimentos se separaron y pesaron todos, sin distinción de la comida a la que correspondían (desayuno, comida o cena).

Una vez identificadas y clasificadas las bolsas (Figura 2), se siguió el procedimiento señalado en la Figura 3. Los residuos alimenticios se pesaron lo antes posible después de haber sido clasificados, a fin de evitar pérdidas de humedad; al momento se registró el tipo de recipiente en el que se habían colocado (bandeja, vaso o tina de plástico) y si estaban dentro de bolsa de plástico o una caja.

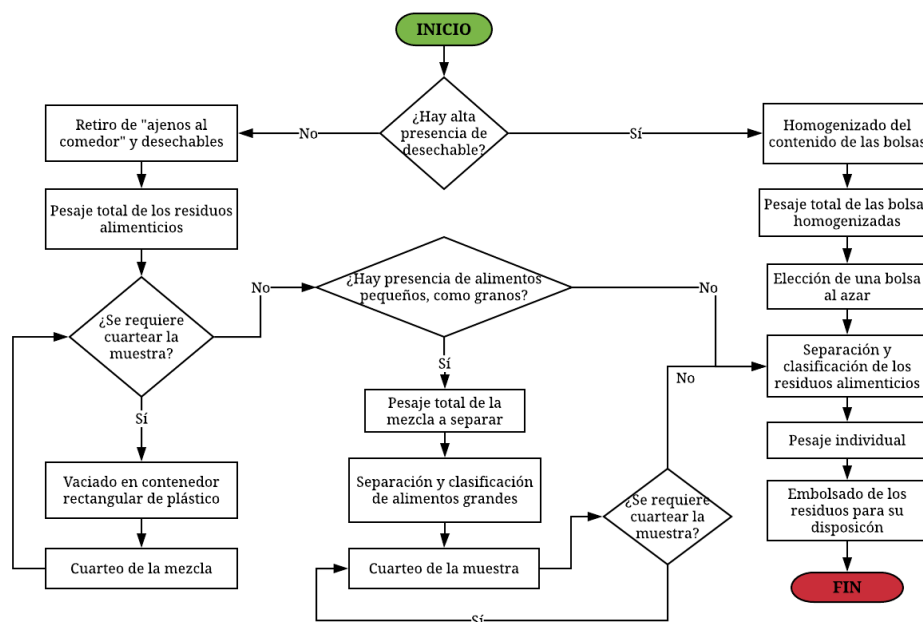


Figura. 3. Diagrama de flujo del procedimiento para el análisis de los residuos alimenticios

Se procuró coleccionar el total de los residuos alimenticios generados en el comedor, aunque en ocasiones el servicio de recolección externa se llevó una o dos bolsas del día; esto debido a que la hora en que las bolsas con residuos del comedor eran dispuestas en el almacén temporal fue variable y coincidió con la llegada del proveedor. En algunas muestras, el grado de combinación entre los diferentes alimentos fue tal que se optó por sumarlos a la categoría *mezcla* o bien, si predominaba una categoría como *tortilla* o *verdura*, se sumaba a la categoría respectiva.

Resultados y discusión

De la respuesta de SEDESOL a la solicitud de información, destacan las 42,360 toneladas de alimentos que han sido recuperados en trabajo conjunto con Bancos de Alimentos. Sin embargo, se omite la fecha de los resultados y las acciones se concentran en los estados de Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa y Veracruz.

Normatividad en México

Sólo en los estados de Baja California, Coahuila, Colima, Chihuahua, Durango, Quintana Roo, Sinaloa, Tamaulipas y en la Ciudad de México existen leyes para la donación altruista de alimentos. A nivel federal, se han presentado al menos dos iniciativas de Ley: una es la propuesta de “Ley para Prevenir el Desperdicio de Alimentos” de la diputada Norma Rocío Nahle García, que tendría por objeto prevenir el desperdicio de alimentos y promover su donación y está dirigida a empresas comercializadoras y cadenas comerciales, [27]; otra propuesta es el proyecto de “Ley General para fomentar la Donación Altruista de Alimentos” presentado por el diputado Daniel Torres Cantú, que tiene como fines la promoción, orientación y regulación de las donaciones de alimentos que aún son susceptibles de consumo humano [28].

El papel de la sociedad civil y la iniciativa privada

La participación de la sociedad civil también resulta de gran relevancia en la implementación de medidas encaminadas a reducir el desperdicio de comida y hacer llegar el alimento a quien más lo necesita. Muestra de ello es **Bancos de Alimentos de México (BAMX)**, una red de más de 50 bancos de alimentos distribuidos en todo el país, así como el **Banco de Alimentos de la Central de Abasto de la Ciudad de México y Alimentos Para Todos**, que recuperan alimentos principalmente de la Central de Abasto y lo distribuyen a personas en situación vulnerable y comunidades marginales de la capital y de otros estados.

Los residuos alimenticios en el comedor de la UAM-A

De acuerdo con el titular de la sección de Cafetería de la UAM-A, se adquieren diariamente para el desayuno alrededor de 1,300 bolillos, 900 tortillas, 1,000 envases de 250 ml de leche cada uno y de 6 a 9 cajas con 11 a 15 kg de cereal, lo cual se sirve hasta que concluye el horario de servicio o se agotan las existencias, lo que ocurra primero. Para la comida, se adquieren entre 1,000 y 1,800 piezas de pan y cierta cantidad de tortillas, en función del remanente del desayuno. Durante la etapa de muestreos, se atendieron 4,084 comensales el primer día, 3,630 el segundo, 4,265 el tercero, 4,600 el cuarto y 3,925 el último. Se determinó la generación promedio por comensal, una vez registrado la cantidad de residuos alimenticios de cada día del muestreo.

Para la 1ª jornada, se obtuvo el promedio aritmético de los datos de dos días. En la Figura 4 se observa que la mayoría de los residuos son evitables y consisten esencialmente en *escamoches*, es decir, aquello que los comensales dejan en los platos. No se encontraron lácteos (queso) ni pescado. En cuanto a los residuos alimenticios inevitables, se muestra como predominante la categoría de verduras, que consiste principalmente en partes no comestibles derivadas de las labores de picado y preparación de alimentos:

cáscaras de cebolla, tallos de epazote, hierbas de olor, extremos de zanahoria, rabillos y semillas de chiles, entre otros; también se encontraron algunas piezas de tomate verde, tomate rojo y papa en estado de degradación. En la 3ª jornada, el guisado ofrecido presentó demasiado caldo, lo cual se ve reflejado en un incremento de la generación de residuos y en particular de la *mezcla*, dado que los residuos se encontraban demasiado revueltos.

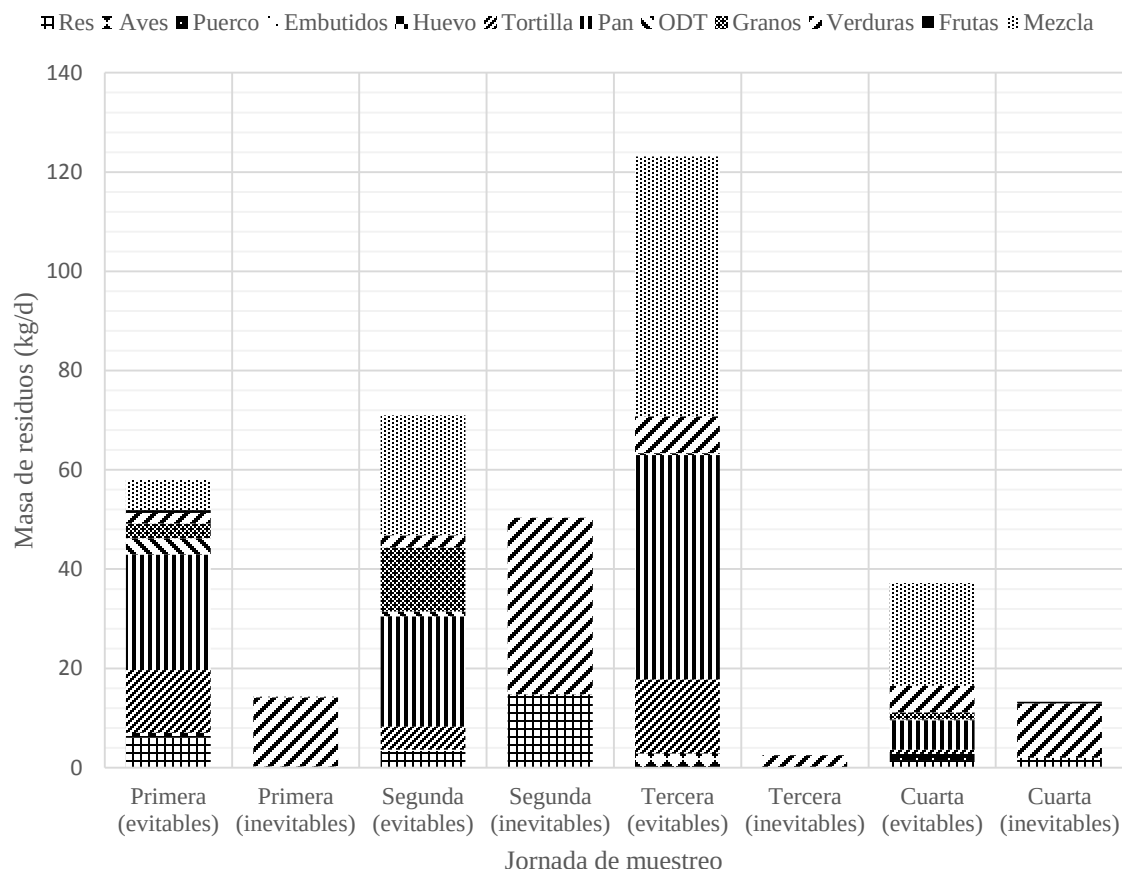


Figura. 4. Generación diaria de residuos alimenticios evitables e inevitables

A partir de los datos obtenidos, se determinó el promedio de generación de cada categoría de alimentos, así como la desviación estándar (Tabla 2). Como era de suponer, se encontraron valores de varianza que denotan una alta dispersión, así que se optó por no aplicar análisis de varianza; la variación de los valores se debe a que la cantidad de determinada categoría en el día depende del guisado que se prepare, salvo en el caso del pan.

Se determinó un promedio de generación diaria de 72.322 kg de residuos alimenticios *evitables* y de 20.129 kg *inevitables*. Asimismo, se comprobó que diariamente se generan en total 92.451 kg de residuos alimenticios en el comedor de la UAM-A, una cantidad menor que la reportada en un trabajo previo de tesis [25] de 125.2 kg. Al respecto, cabe mencionar que actualmente no suele sobrar comida preparada debido a la alta demanda y se destaca que se han venido implementado algunas medidas a fin de evitar el desperdicio y la merma de alimentos, como: cambiar con regularidad los menús que se ofrecen; adquirir la tortilla y el bolillo el mismo día; en caso de sobrar bolillo, éste se ocupa para elaborar pan molido, que posteriormente se utiliza para empanizar; cuando sobra guisado de la comida (mediodía), se sirve en la cena; cuando sobran

algunos alimentos que se ofrecen en cafetería gourmet o en dulcería, como tamales y empanadas, éstos se sirven en la cena del mismo día.

Tabla 2. Generación diaria promedio de los residuos alimenticios en el comedor de la UAM-A

Categorías	Masa (kg/d)			Porcentaje (%)			Masa PC (g/d-comensal)		
	PROM	DE	VAR	PROM	DE	VAR	PROM	DE	VAR
EV Res	2.726	2.661	7.080	3%	4%	0%	0.7	0.7	0.5
EV Aves	0.715	1.429	2.042	1%	1%	0%	0.2	0.3	0.1
EV Puerco	0.431	0.682	0.466	1%	1%	0%	0.1	0.2	0.0
EV Embutidos	0.038	0.075	0.006	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
EV Pescado	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
EV Huevo	0.150	0.301	0.090	0%	0%	0%	0.0	0.1	0.0
EV Lácteos	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
EV Tortilla	8.289	6.640	44.091	9%	7%	1%	2.0	1.6	2.4
EV Pan	24.149	16.123	259.954	25%	11%	1%	5.6	3.4	11.6
EV ODT	1.191	1.457	2.124	1%	2%	0%	0.3	0.4	0.1
EV Granos	4.323	5.856	34.289	4%	5%	0%	1.0	1.4	1.9
EV Verduras	4.327	2.509	6.297	5%	4%	0%	1.0	0.5	0.3
EV Frutas	0.141	0.281	0.079	0%	0%	0%	0.0	0.1	0.0
EV Mezcla	25.841	19.347	374.306	28%	16%	3%	6.0	4.0	16.4
IN Res	4.186	7.103	50.446	4%	6%	0%	1.0	1.7	2.8
IN Aves	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Puerco	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Embutidos	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Pescado	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Huevo	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Lácteos	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Tortilla	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Pan	0.023	0.046	0.002	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN ODT	0.060	0.119	0.014	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Granos	0.000	0.000	0.000	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Verduras	15.742	14.056	197.566	18%	12%	1%	3.8	3.3	10.7
IN Frutas	0.089	0.178	0.032	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
IN Mezcla	0.030	0.060	0.004	0%	0%	0%	0.0	0.0	0.0
Total, Evitables	72.322	36.632	1341.872	78%	16%	3%	17.0	7.2	52.0
Total, Inevitables	20.129	20.858	435.048	22%	16%	3%	4.9	4.8	23.5

ODT: Otros derivados del trigo. EV: Evitables. IN: Inevitables. PROM: Promedio. DE: Desviación estándar. VAR: Varianza. PC: Por comensal.

La mayoría (78%) de los residuos se consideran *evitables* y se deben principalmente al consumidor, en este caso los comensales del comedor universitario, una cantidad mucho mayor al promedio nacional (37%). No obstante, el valor reportado en este trabajo incluye sobre todo el escamoteo, que contiene caldo de la comida que aumenta el peso de lo producido, cuando el porcentaje que presenta la SEDESOL sólo implica el desperdicio de alimentos por separado, no como guisado.

Se encontró que un comensal produce en promedio 21.8 g de residuos alimenticios al día, asumiendo que acude al comedor durante las 3 comidas del día. Esta cantidad resulta menor en comparación con los 55.6 g que genera el consumidor de un comedor universitario en Estados Unidos [14]. No obstante, los menús ofrecidos entre ambas instalaciones difieren, al igual que el contexto social y económico. Por otra parte, no se tienen datos del desperdicio del cereal y otros alimentos que alumnos adquieren en el comedor de la UAM-A y consumen fuera de él.

Omitiendo la categoría de la *mezcla* (Figura 5), que consiste en una mescolanza de las demás categorías de alimentos, lo que más se desperdició fue el *pan* (Figura 5); se encontraron tanto piezas completas de pan, como fragmentos y abundantes bolitas de migajón. La tortilla resultó ser el segundo alimento más desperdiciado, donde una proporción corresponde a restos de *chilaquiles*.



Figura. 5. Muestra de residuos categorizados como “mezcla” (izquierda) y “pan” (derecha)

Conforme se avanzó en el proyecto, se conocieron más detalles sobre el funcionamiento del comedor. Por ejemplo, cada 15 días aproximadamente se realiza una limpieza profunda de las cámaras de refrigeración y congelación; entonces se desechan los sobrantes de alimentos que ya no son útiles. También se pudo notar que el área de lavado y picado la comparten los servicios de comedor y cafetería gourmet. En varias ocasiones, se encontraron mezclados los residuos de diferentes preparaciones del día: desayuno y comida, comida y cena, así como restos de alimentos consumidos por personal de cafetería y residuos no alimenticios como los derivados del barrido del área. De acuerdo con el titular del área, el desperdicio de alimentos por parte de comensales varía en función del guisado que se sirve y aunque el excedente de comida preparada es prácticamente nulo debido a la alta demanda, se procura cambiar la oferta de platillos.

Conclusiones

Hoy en día, sectores de la sociedad y autoridades han puesto mayor atención a las PDA en un contexto que involucra la búsqueda de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad. Sin embargo, aún no existe un marco normativo de alcance nacional para atender la problemática. Asimismo, resulta fundamental contar con información de la cantidad y la composición de los residuos alimenticios, que permita tomar acción para combatir el desperdicio de comida.

En el comedor universitario de la UAM-A, donde se sirven diariamente más de 3,000 raciones de comida al día (desayuno, comida y cena), se encontró una generación promedio diaria de 92.5 kg de residuos alimenticios, de los cuales el 78% son evitables y sólo el 22% inevitables.

Se destaca la complejidad de efectuar cuarteos de los residuos colectados: aquellos con presencia notable de envases desechables propician la dispersión de residuos alimenticios, mientras que los residuos del escamoteo se caracterizan por elevada humedad y alto grado de homogenización, por lo que su manejo debe ser cuidadoso para evitar romper o mezclar más los alimentos. Por lo anterior, en el presente estudio se decidió clasificar los residuos sólo en “evitables” e “inevitables”. Cabe destacar que las ocasiones que se sirvió comida en platos desechables, el volumen de los residuos en general aumenta considerablemente y conlleva un aumento en lo que se dispone a través del proveedor externo; por lo anterior, se exhorta a las autoridades universitarias a articular las acciones necesarias para evitar el uso de desechable.

Las causas de la generación de los residuos postconsumo están asociadas principalmente a las preferencias del consumidor, ya que el desperdicio aumenta cuando los guisados no son de su agrado. Entre los residuos evitables, lo que más se encontró fueron restos de bolillo, lo cual es desechado meramente por hábitos de consumo; al respecto, se sugiere ofrecer piezas de pan más pequeñas. También se propone la vinculación con estudiantes para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de los residuos: alimentos para animales de crianza [29], composteo [30] o biodigestión [25]. Cabe resaltar que, para la efectividad de lo anterior, es

indispensable mejorar la separación de los residuos tanto por los comensales como por el personal del comedor.

Teniendo en cuenta que, en el caso de estudio la fuente generadora es un comedor universitario de una escuela pública de nivel superior, donde además la comida se ofrece a un precio subsidiado, se realizan las siguientes sugerencias:

- En caso de muestrear a partir de residuos ya mezclados de una fuente continua, como un comedor o un restaurante, se sugiere preparar una adecuada identificación y separación de sub-corrientes o fracciones, por ejemplo, los residuos preconsumo separados de los postconsumo.
- Reunir la información de los menús que se sirven en el lugar, para prospectar la composición de los residuos que se generan y definir las categorías en las que serán separados.
- El análisis de los residuos debe realizarse lo más pronto posible después de su generación, evitando almacenarlos. De ser necesario, tomar las medidas necesarias para evitar afectaciones por fauna nociva, así como por las condiciones ambientales y la degradación de los alimentos.
- Efectuar un muestreo preliminar, a fin de conocer las condiciones particulares de los residuos de determinada fuente y así, establecer criterios para su cuantificación y clasificación.
- Cuando la cantidad o las condiciones de los residuos no permitan efectuar un cuarteo, se recomienda homogenizar y tomar muestras aleatorias.

Con relación a la continuidad del estudio en el comedor de la UAM-A, se propone considerar un determinado número de charolas (del desayuno, la comida y la cena) seleccionadas aleatoriamente a lo largo del horario de servicio, para ser pesadas y separadas en distintas categorías. De esta manera, se podría obtener una estimación más a detalle del desperdicio de alimentos y evaluar las medidas que se implementen. Para el estudio de los residuos preconsumo, se deben tomar en cuenta lo generado durante la limpieza de cámaras de refrigeración y congelación.

Referencias

- [1] Gustavsson, J. Cederberg, C. Sonesson, U. van Otterdijk, R. y Meybeck, A. (2011) *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. FAO. Roma.
- [2] HLPE. (2014) *Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles*. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Roma.
- [3] Edjabou, M. E. Petersen, C. Scheutz, C. y Astrup, T. F. (2016) Food waste from Danish households: Generation and composition. *Waste Management*. 52. 256–268. doi: 10.1016/j.wasman.2016.03.032
- [4] Abeliotis, K. Lasaridi, K. y Chroni, C. (2014) Attitudes and behaviour of Greek households regarding food waste prevention. *Waste Management & Research*. 32(3). 237–40. doi: 10.1177/0734242X14521681
- [5] Parizeau, K. von Massow, M. y Martin, R. (2015) Household-level dynamics of food waste production and related beliefs, attitudes, and behaviours in Guelph, Ontario. *Waste Management*. 35. 207–217. doi: 10.1016/j.wasman.2014.09.019
- [6] Langley J. et al. (2010) Food for thought? - A UK pilot study testing a methodology for compositional domestic food waste analysis. *Waste Management & Research*. 28(3). 220–7. doi: 10.1177/0734242X08095348

- [7] Silvennoinen, K. Katajajuuri, J.-M. Hartikainen, H. Heikkilä, L. y Reinikainen, A. (2014) Food waste volume and composition in Finnish households. *British Food Journal*. 116(6). 1058–1068. doi: 10.1108/BFJ-12-2012-0311
- [8] Beretta, C. Stoessel, F. Baier, U. Hellweg, S. (2013) Quantifying food losses and the potential for reduction in Switzerland. *Waste Management*. 33(3). 764–773. doi: 10.1016/j.wasman.2012.11.007
- [9] Bräutigam, K.-R. Jörisen, J. y Priefer, C. (2014) The extent of food waste generation across EU-27: different calculation methods and the reliability of their results. *Waste Management & Research*. 32(8). 683–94. doi: 10.1177/0734242X14545374
- [10] Hallström E. y Börjesson, P. (2013) Meat-consumption statistics: Reliability and discrepancy. *Sustainability: Science, Practice and Policy* 9(2). 37–47. doi: 10.1080/15487733.2013.11908113
- [11] Parfitt, J. Barthel, M. Macnaughton, S. (2010) Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*. 365(1554). 3065–3081. doi: 10.1098/rstb.2010.0126
- [12] Lebersorger, S. y Schneider, F. (2011) Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies. *Waste Management*. 31. 1924–1933. doi: 10.1016/j.wasman.2011.05.023
- [13] WRAP (2009) Down the Drain. En línea <<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Down%20the%20drain%20-%20report.pdf>> Recuperado el 19/02/2018
- [14] Costello, C. Birisci E. y McGarvey R. G. (2016) Food waste in campus dining operations: Inventory of pre- and post-consumer mass by food category, and estimation of embodied greenhouse gas emissions. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 31(3). 191–201. doi: 10.1017/S1742170515000071
- [15] Edjabou, M. E. Jensen, M. B. Götze, R. Pivnenko, K. Petersen, C. Scheutz, C. and Astrup, T. F. (2015) Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation. *Waste Management*. 36. 12–23. doi: 10.1016/j.wasman.2014.11.009
- [16] WRAP (2009) Household food and drink waste in the UK 2012. En línea <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Household_food_and_drink_waste_in_the_UK_-_report.pdf> Recuperado el 19/02/2018
- [17] Dobbs, R. Oppenheim, J. Thompson, F. Brinkman M. Zornes M. (2011) *Resource Revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs*. McKinsey Global Institute.
- [18] Oelofse, S. Nahman, A. (2013) Estimating the magnitude of food waste generated in South Africa. *Waste Management and Research*. 31(1). 80 –86. doi: 10.1177/0734242X12457117
- [19] FAO (2016) Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y el Caribe. En línea <<http://www.fao.org/3/a-i5504s.pdf>> Recuperado el 19/02/2018
- [20] FAO (2016) Diálogo Regional sobre Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y el Caribe. Conclusiones y recomendaciones. En línea <<http://www.fao.org/3/a-i5618s.pdf>> Recuperado el 19/02/2018

- [21] SEDESOL (2013) Informativo Sin Hambre. En línea <http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_02/> Recuperado el 19/02/2018
- [22] Grupo Técnico de Pérdidas y Mermas de Alimentos de la Cruzada Nacional Contra el Hambre (2013) *Índice de Desperdicio de Alimentos en México*. SEDESOL. Ciudad de México.
- [23] Gutiérrez-Barba B. E. y Ortega-Rubio A. (2013) Household food-waste production and a proposal for its minimization in Mexico. *Life Science Journal*. 10(3). 1772-1783.
- [24] ALDF VII Legislatura (2017) Decreto por el que se expide la Ley para la Donación Altruista de Alimentos de la Ciudad de México. En línea <<http://www.aldf.gob.mx/archivo-406bc16e56960334b9d687169bd18ff8.pdf>> Recuperado el 19/02/2018
- [25] Méndez, E. (2013) *Diseño de un reactor para el tratamiento del ácido sulfhídrico presente en biogás, generado en el proceso de digestión anaerobia de residuos orgánicos de cafetería y poda en la UAM-Azcapotzalco*. Proyecto terminal. UAM-Azcapotzalco. Ciudad de México.
- [26] Barilla Center for Food and Nutrition (2015) *Double Pyramid 2015. Recommendations for a Sustainable Diet*. Barilla Center for Food and Nutrition. Parma.
- [27] Cámara de Diputados LXIII Legislatura (2016) *Iniciativa que expide la Ley para prevenir el Desperdicio de Alimentos, a cargo de la diputada Norma Rocío Nahle García, del Grupo Parlamentario de Morena*. Gaceta Parlamentaria. XIX(4486–IV). Ciudad de México.
- [28] Cámara de Diputados LXIII Legislatura (2016) *Iniciativa que expide la Ley General para fomentar la Donación Altruista de Alimentos, a cargo del diputado Daniel Torres Cantú, del Grupo Parlamentario del PRI*. Gaceta Parlamentaria. XIX(4501–IV). Ciudad de México.
- [29] Granja, M. B. Menéndez, O. (2002) *Estabilización anaeróbica de desechos de comida para la elaboración de suplementos alimenticios para cerdos*. Trabajo de Graduación. Universidad EARTH. Guácimo.
- [30] Rubio, N. (2011) *Evaluación de la efectividad de degradación de la materia orgánica procedente de la cafetería de la UAM-A mediante una variación del método de vermicomposteo*. Proyecto terminal. UAM-Azcapotzalco. Ciudad de México.

Generación y caracterización de residuos sólidos en la Universidad de Quintana Roo, campus Chetumal

¹Laura Patricia Flores Castillo, ¹José Luis Guevara Franco, ¹Norma Angélica Oropeza García, ¹José Alfonso Canche Uuh, ¹Aurelio May Tut, ¹Alejandro Caamal Beltrán, ¹Alan Enrique Góngora Maglah

¹ Universidad de Quintana Roo. Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque Chetumal Quintana Roo, 9838350390, paflores@uqroo.edu.mx

Resumen

En este estudio se determina la cantidad de residuos generados en la Universidad de Quintana Roo, campus Chetumal, así como su caracterización en el marco del Programa Ambiental Institucional. El análisis se realizó en el periodo académico de otoño 2017, encontrando que la cantidad total de residuos generados por día es de 113.28 kg, correspondiendo a 0.041 kg por persona por día; el subproducto encontrado en mayor porcentaje es el Papel higiénico con un 21.21% y los residuos con menor presencia son algodón, loza, material de construcción, pilas y baterías con un 0.01%.

La importancia de conocer la cantidad y tipos de residuos generados como parte de la atención a la problemática ambiental para poder llegar a una toma de decisiones y llevar a cabo la gestión de los residuos de forma sustentable.

Palabras Clave: *Generación, residuos, sólidos.*

1. Introducción

Los residuos sólidos son originados por todas las actividades humanas, en hogares, lugares públicos, servicios privados, industrias, establecimientos comerciales, servicios y escuelas, y se han incrementado en proporción al aumento de la población, el desarrollo comercial, tecnológico e industrial, provocando un aumento y cambio en la composición de estos desechos.

En México se han realizado diversos estudios de caracterización y generación de residuos sólidos en instituciones de educación superior como los realizados en la UNAM [1], la Universidad de Baja California [2], Universidad Iberoamericana [3], el Instituto Tecnológico de Morelia [4] y el Instituto Tecnológico de Tepic [5], coincidiendo que los residuos sólidos por la instituciones educativas contienen un alto porcentaje de material susceptible a ser reciclado o compostado.

En el marco del Programa Ambiental Institucional “Ya’ax úrich” (caracol verde) se consideran acciones proambientales derivadas en tres líneas estratégicas; la primera es la *curricular*, como institución formadora de recursos humanos tiene el reto de que sus egresados tengan la capacidad de atender las necesidades ambientales, incluyendo en su currículo una asignatura con sello “verde” a cursar en todos los programas educativos de la universidad; la segunda línea de acción es la *operacional*, es decir, como funciona la institución en los aspectos ambientales. En este apartado se considera el uso eficiente de la energía, consumo responsable del agua y la gestión de los residuos entre otros aspectos; la tercera línea de acción es la *vinculación* de la universidad con la sociedad. Este estudio se realiza con la finalidad de diagnosticar la generación de residuos en la institución; caracterizar, cuantificar y valorar los residuos para mejorar la gestión institucional de los mismos.

2. Metodología

El estudio se realizó dentro de la Universidad de Quintana Roo Campus Chetumal, localizado en la Ciudad de Chetumal, Quintan Roo, durante el mes de noviembre del 2017, en los espacios que se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Espacios muestreados

Edificio	Contenido	N° Aulas	Personal Administrativo	N° Baños	N° Tasas	Para la
A	Rectoría		131			
B	Aulas de la 1 a la 13	13				
C	Áreas Administrativas		33	6	20	
D	Área Académica (DCPH)		68	4	4	
E	Aulas 14 a la 19, Auditorio y sala de titulaciones	6		4	16	
F	Talleres de la DCI			2	4	
G	Aulas 20 a 24	5		2	8	
H	Biblioteca		15	4	8	
I	Aulas 31 a la 38	8				
J	Aulas 25 a la 30	6				
K	Área Académica (DCSEA)		63	4	8	
L	Área Académica (DCI)		63	8	12	
M	Aulas 39 a 46 y Edificio de Posgrado	8	4			
N	Aulas magna (1,2) y Aulas 47 a 50	4		4	16	
V	CTIC (Computo y Telemática)		27	2	6	
O	Aulas Magna, Auditorio y Gimnasio					
	Áreas Verdes					
	Canchas					
TOTAL		50	404	40	102	

realización de este estudio se tomaron en consideración la totalidad los residuos generados en el Campus Chetumal de la Universidad de Quintana Roo, aplicando la norma “NMX-AA-015-1985: Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales – Muestreo – Método de cuarteo” para la realización del cuarteo y la norma “NMX-AA-061-1985: Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales – Determinación de la generación” para determinar la generación de residuos; el peso volumétrico se determinó en base a la norma “NMX-AA-019-1985: Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales – Peso Volumétrico “In situ”; la caracterización de subproductos se realizó tomando como base la norma “NMX-AA-022-1985: Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales – Selección y Cuantificación de subproductos”.

El estudio se realizó para el periodo académico de otoño 2017, específicamente en el mes de noviembre.

Los residuos provenientes de los sanitarios no se mezclaron en el cuarteo, pesándolos por separado.

3. Resultados

La Universidad de Quintana Roo, campus Chetumal tiene una matrícula de 2485 alumnos y 664 docentes y administrativo. La generación de residuos sólidos en el campus Chetumal es de 113.28 kg por día. La generación per cápita es de 0.041 kg por persona por día.

Tabla 2. Porcentaje de subproductos de residuos sólidos de la Universidad de Quintana Roo

Subproducto	Porcentaje %	Subproducto	Porcentaje %
Papel higiénico	21.21	Aluminio	0.73
Papel	17.56	Tetrapak	0.80
Pet	14.61	Lata	0.62
Residuos alimenticios	11.35	Hule	0.56
Cartón	7.17	Pañal desechable	0.45
Plástico de película	4.12	Fibra sintética	0.36
Poliestireno expandido	3.95	Envase de cartón encerado	0.28
Plástico rígido	2.57	Material ferroso	0.19
Vidrio transparente	2.40	Trapo	0.12
Polipropileno	2.33	Hueso	0.10
Poliestireno	1.71	Vidrio de color	0.10
Material no ferroso	1.51	Medicamentos	0.05
Residuo fino	1.20	Madera	0.02
Residuo de jardinería	1.17	Pilas/baterías	0.01
Poliuretano	1.00	Algodón	0.01
Plástico metalizado	0.93	Loza y cerámica	0.01
Polietileno alta densidad	0.79	Material de construcción	0.01

La caracterización de los residuos indica la presencia de papel en mayor cantidad con el 17.56%, seguido de PET con 14.61%. Los residuos sanitarios generados se excluyeron del cuarteo pesándose directamente por separado en su totalidad, obteniendo 24.03 kg por día en promedio y un total de 168.2 kg durante el muestreo. Los residuos de la poda y jardinería no se contemplaron en este análisis, debido a que los encargados de Jardinería los recogen por separado para su compostaje.

Los residuos orgánicos con alto potencial para ser aprovechados o compostados corresponde al 12.52%, y están integrado por los residuos alimenticios y de jardinería; el papel, PET, cartón, vidrio, aluminio, lata, plásticos, envases multicapa, metales y polietileno de alta densidad integran los residuos inorgánicos reciclables con el 49.98%. De esta forma, los residuos aprovechables susceptibles de ser reciclados o aprovechados corresponde al 62.5 % de los residuos totales colectados en los contenedores de la institución.

La categoría de residuos no aprovechables corresponde al 15.84% de otros residuos y 21.65% de residuos sanitarios, sumando 37% que en un escenario ideal de separación de subproductos sería la cantidad de residuos destinados al relleno sanitario.

El peso volumétrico obtenido es de 34.22 Kg/m³.

Tabla 3 Porcentaje de subproductos susceptibles de ser reciclados o compostados

Subproducto	Porcentaje %
Reciclables	
Papel	17.56
PET	14.61
Cartón	7.17
Vidrio	2.50
Aluminio	0.73
Lata	0.62
Plástico rígido	2.57
Tetrapak	0.80
Material ferroso	0.19
Plástico metalizado	0.93
Material no ferroso	1.51
Polietileno de alta densidad	0.79
<i>Total reciclables</i>	<i>49.98</i>
<i>Compostable</i>	
Residuos alimenticios	11.35
Residuo jardinería	1.17
<i>Total compostable</i>	<i>12.52</i>
TOTAL	62.50

Se puede apreciar la presencia de papel en mayor porcentaje 17.56%, sin embargo, resulta alarmante la cantidad de bolsas de plástico de película 4.12%, envases desechables de unicel 3.95%, polipropileno (PP) 2.33%, poli estireno (PS) 1.71%.

Tabla 4 Porcentaje de subproductos no reciclable.

Subproducto	Porcentaje %
<i>Sanitarios</i>	<i>21.65</i>
OTROS	
Plástico de película	4.12
Poli estireno expandido	3.95
Polipropileno	2.33
Poli estireno	1.71
Hule	0.56
Fibra sintética	0.36

Subproducto	Porcentaje %
Trapo	0.12
Hueso	0.10
Medicamentos	0.05
Madera	0.02
Pilas y baterías	0.01
Algodón	0.01
Loza y cerámica	0.01
Material de construcción	0.01
Residuo fino	1.20
Poliuretano	1.00
Envase de cartón encerado	0.28
Total otros residuos	15.84
<i>Total No reciclable</i>	<i>37.5</i>

Conclusiones

El papel es el residuo con mayor presencia, al igual que lo reportado por otros autores [1], [2], [3]. [4] y [5]. El porcentaje de residuos sanitarios es mucho mayor a lo reportado por los autores anteriores. A pesar de que existen contenedores para la separación de orgánicos e inorgánicos resulta claro que la población no separa los residuos por lo que es necesario aplicar programas de sensibilización para la separación de residuos de manera especial, realizar pláticas con los docentes para fomentar el reúso y reciclado de papel, además de ubicar contenedores para este fin en las áreas administrativas. Un factor importante de alto impacto es la presencia de envases desechables de diferentes tipos de plásticos los cuales contienen restos alimenticios así como bolsas de plástico de película. Es importante reactivar el compostero universitario para manejar los residuos alimenticios y de jardinería.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado para la realización de este trabajo a: Rodríguez Pérez Melvin José , Torres Juarez Juan Fernando, Caamal Esquivel Daniela Estefania , Canul Abner Eliel, Cherry Kofi Bjarne Roderick , Joven Perez Cecilia Fernanda, Ek Arreola Andrea Lizeth, Huchim Roque Jose Adrian, López Padilla Wilgen Aldebaran, Martinez Flores Erika Lizzeth, Medina Jimenez Omar Alejandro, Pablo Saavedra Pedro, Perez Vazquez Jorge Alejandro, Poot Tah Reyes Oziel , Smith Elsy Alexi, Zapata Sosa Isaac Alejandro y Mario Miguel Protonatario.

Referencias

- [1] Alcántara V., Cruz I. y Santos E. (2005). Caracterización y cuantificación de los residuos sólidos en ciudad universitaria. Memorias. Congreso Interamericano de Residuos. Mérida, Yucatán. 4 al 7 de mayo, 2005. 1-88.

- [2] Armijo de Vega C, Ojeda-Benítez S, Ramírez-Barreto E, Quintanilla-Montoya A, (2006), Potencial de reciclaje de los residuos de una institución de educación superior: el caso de la Universidad Autónoma de Baja California. *Ingeniería*; 10: 13-21.
- [3] Ruiz-Morales, M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28 (1) 93-97.
- [4] Peña Contreras, K, Martínez Cámara, J.D., Bárcenas Torres, J.D. y Márquez Benavides, L. (2015) Diagnóstico preliminar de la generación y caracterización de residuos sólidos del Instituto Tecnológico de Morelia. *Memorias. Congreso Iberoamericano en ingeniería de Residuos Sólidos* .pp 44-48
- [5] Rosales Flores, M, Saldaña Durán, C., Toledo Ramírez, V., Maldonado, L. (2013) caracterización y potencial del reciclado de los residuos sólidos urbanos generados en el Instituto Tecnológico de Tepic, una institución de educación superior *Revista Bio Ciencias* 2(3): 216-223].

Caracterización de Residuos Sólidos en el Centro de Estudios Tecnológicos del Mar (CETMAR), de Chetumal Quintana Roo

¹José Luis Guevara Franco, ¹Alejandro Caamal Beltrán,, ¹Laura Patricia Flores Castillo, ¹Alan Enrique Góngora Maglah, ¹Aurelio May Tut, José Alfonzo Canche Uuh, ²Samuel Martínez Gómez, ²Verónica Martínez Quevedo

¹ Universidad de Quintana Roo. Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque Chetumal Quintana Roo, 9838350300, Jlguevara@uqroo.uqroo.edu.mx, ²Centro de Estudios Tecnológicos del Mar.

Resumen.

El objetivo de esta investigación fue generar información técnica referente a la generación de residuos sólidos en el Centro de Estudios Tecnológicos del mar, determinar su caracterización, peso volumétrico así como su potencial de aprovechamiento para generar acciones en busca de un manejo sustentables de los residuos en la institución donde laboran 53 administrativos y docentes; así como asisten 335 alumnos; la cantidad de residuos producida por día en promedio es de 41.03 kg por día, la generación per cápita es de 0.106 kg por persona por día; los residuos con mayor presencia son: papel, PET, cartón y residuos alimenticios con 17.94 %, 13.80 % y 11.79 y 9.25 % respectivamente. Los residuos potencialmente aprovechables son del tipo orgánico con el 11.01 % y 62.34 % del tipo inorgánico, el porcentaje de residuos no aprovechables es del 26.66 %.

Palabras Clave: *Generación Residuos Sólidos.*

1. Introducción

La basura es uno de los grandes problemas que se presentan en todo el mundo, desde grandes ciudades, hasta en pequeños pueblos. Las consecuencias provocadas por el aumento de la basura y el pobre conocimiento acerca de la educación ambiental sobre la gestión y el adecuado manejo de la basura, provoca un escenario peligroso en un futuro no muy lejano para todo el mundo. Por lo tanto, la gestión de los residuos sólidos se ha convertido en un tema de gran importancia para todos los países, existen estudios de caracterización de residuos sólidos que son una herramienta eficaz para poder obtener información de los residuos sólidos presentes en un sector en especial, en este caso, el Centro de Estudios Tecnológicos del Mar (CETMAR).

Estudios previos de caracterización de residuos sólidos en instituciones educativas se enfocan a la percepción ambiental del tema de los residuos [1], a la gestión institucional de los residuos [2], a la educación ambiental enfocada a los residuos [3] o las regulaciones en torno a los residuos sólidos en las instituciones educativas [4].

Las instituciones educativas generan una gran cantidad de residuos sólidos al día en función de las actividades que se desempeñan. En las instituciones educativas tanto del sector privado como gubernamentales los principales residuos que se generan son residuos orgánicos como restos de comida, orgánicos de jardinería entre otros, e inorgánicos como papel, cartón, botellas de PET, latas, plástico, y vidrio, que en su mayoría son productos que pueden volver a ser aprovechados con un buen manejo de dichos residuos sólidos. En el caso del Centro de Estudios Tecnológicos del Mar, tienen un contenedor para botellas de PET, pero a pesar de ellos tanto docentes, personal administrativo y alumnos de dicho plantel (CETMAR) no suelen acudir a depositar sus respectivas botellas en el contenedor, sino que, lo depositan en cualquier deposito que les quede más cercano o simplemente lo tiran al suelo. Realizar un estudio de caracterización de residuos sólidos en las instituciones nos ayuda a obtener información de cuál es el residuo que más se genera, y con estos datos podremos obtener un método que nos ayude a encargarse de ese residuo.

2. Metodología

El Centro de Estudios Tecnológicos del Mar 10 (CETMAR), que se encuentra ubicado en la prolongación del boulevard bahía, esquina Díaz Mirón, en la colonia Zazil-Ha, Chetumal, Quintana Roo. En esta institución educativa laboran 53 administrativos y docentes con una matrícula de 335 alumnos.

Para determinar la generación per cápita (GPC) de los residuos en la zona a estudiar se requiere que la cantidad de los residuos sólidos totales sea dividida entre la cantidad de personas que se encuentren en el Centro de Estudios Tecnológicos del Mar 10 (CETMAR), esto incluye a los alumnos, docentes, administrativos y personal de limpieza, para que, de esta manera, se pueda obtener la generación por individuo en Kg/ persona por día. Para realizar esta determinación se usa la norma “NMX-AA-061-1985: Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales – Determinación de la generación” como referencia; además del método de cuarteo indicado en la norma “NMX-AA-015-1985: Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales – Muestreo – Método de cuarteo.”

Se calcula el pesaje total de los residuos sólidos que se generen en el transcurso de 24 horas en el Centro de Estudios del Mar 10 (CETMAR), utilizando una báscula electrónica con capacidad suficiente para poder analizar cada residuo separado. Debido a diversos factores que se puedan presentar durante la investigación se entra una exactitud del estudio de un +/- 10%. En todos los casos, durante los 7 días, se llevará un pesaje del residuo total generado, además del pesaje de cada subproducto obtenido.

El peso volumétrico se realizó de acuerdo a la norma “NMX-AA-019-1985: Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales – Peso Volumétrico “In situ”.

Para el cálculo del peso volumétrico de los residuos sólidos utilizo la fórmula:

$$PV = p/v \quad [1]$$

Donde podemos saber que:

PV = Peso volumétrico del residuo solido en Kg/m^3

p = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en Kg.

v = Volumen del recipiente en m^3

La caracterización de los residuos se determinó de acuerdo a la norma “NMX-AA-022-1985: Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales – Selección y Cuantificación de subproductos.

Para realizar el estudio de los residuos en el Centro de Estudios Tecnológicos del Mar se dividió en 11 áreas las cuales ya se encontraban predefinidas por laboratorios, aulas de estudios, oficinas administrativas, baños y la cafetería, las cuales cada una cuenta con un sitio donde se desechan los residuos, además de los botes exteriores que se encuentran por todo el instituto.

Para el análisis de potencial de aprovechamiento se agruparon los subproductos en orgánicos aprovechables, inorgánico aprovechables y No aprovechables.

3 Resultados

La cantidad de residuos generados en el CET del Mar es de 41.03 kg por día; que corresponde a 0.106 kg por persona por día; los residuos con mayor presencia son: papel, PET, cartón y residuos alimenticios con 17.94 %, 13.80 % y 11.79 y 9.25 % respectivamente como se puede apreciar en la Tabla N°1.

Tabla 1. Porcentaje de subproductos de residuos sólidos del CET del Mar

Subproducto	Porcentaje %	Subproducto	Porcentaje %
Papel	17.94	Hule	0.81
PET	13.80	Madera	0.78
Cartón	11.79	Lata	0.61
Alimenticio	9.25	Trapo	0.47
Fino	7.15	Vegetal	0.34
Plástico rígido	6.34	Hueso	0.34
Plástico de película	6.12	Poliuretano	0.25
Poliestireno expandido	5.76	Vidrio color	0.14
Poliestireno	3.72	Losa y cerámica	0.14
Plástico metalizado	3.60	Fibra sintética	0.11
Tetrapak	3.16	Mat ferroso	0.11
Vidrio transparente	2.93	Mat no ferroso	0.03
Jardinería	1.42	Medicamentos	0.03
Aluminio	1.03	Cartón encerado	0.03
PP (polipropileno)	0.92	Algodón	0.03
Poliestireno de alta densidad	0.84		

El promedio obtenido de los 4 días (martes, miércoles, jueves y viernes) fue de 34.35 Kg, y sumando el total de la semana (incluyendo el día lunes) obtenemos un promedio de 41.03 Kg generado en CETMAR. Un dato importante es que al igual que en otras instituciones en México que realizaron una caracterización de residuos sólidos (Universidades en su mayoría) es que el mayor residuo que se encontró es el papel con 17.94 %, el cartón con 11.79 % y las botellas de PET con 13., dichos materiales son los que mayor impacto ambiental presentan en México y en el mundo. La cantidad de estos residuos pueden ser aprovechables en CETMAR y cuentan con numerosas oportunidades para poder reciclar estos materiales, debido a que, son los materiales principales que las empresas recicladoras manejan, de esta manera disminuyendo la cantidad de residuos sólidos que van al sitio de disposición final (SDF). Un sistema eficaz para poder fomentar el reciclaje de estos subproductos es colocar distintos contenedores con colores diferentes donde se pueda identificar en donde va cada material.

Si bien la Ley General para la Prevención y Gestión integral de Residuos establece que “Los residuos sólidos urbanos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, de conformidad con los Programas Estatales y Municipales para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos, así como con los ordenamientos legales aplicables.”; resulta adecuado agrupar los residuos que piden ser aprovechados para su reciclado o potencial composteo y aquellos no aprovechables.

Tabla 2. Porcentaje de subproductos susceptibles de ser reciclados o compostados.

<i>Subproducto</i>	<i>Porcentaje %</i>
<i>Inorgánico Aprovechable</i>	
Papel	17.94
PET	13.80
Cartón	11.79
Plástico rígido	6.34
Plástico metalizado	3.60
Tetrapak	3.16
Vidrio	3.07
Aluminio	1.03
Polietileno de alta densidad	0.84
Lata	0.61
Material ferroso	0.11
Material no ferroso	0.03
<i>Total Inorgánico</i>	<i>62.34</i>
<i>Orgánico Aprovechable</i>	
Residuos alimenticios	9.25
Residuo jardinería	1.76
<i>Total orgánico</i>	<i>11.01</i>
<i>Total Aprovechable</i>	<i>73.34</i>

Tabla 3. Porcentaje de subproductos no aprovechable.

<i>Subproducto</i>	<i>Porcentaje %</i>
Residuo fino	7.15
Plástico de película	6.12
Poli estireno expandido	5.76
Poli estireno	3.72
Polipropileno	0.92
Hule	0.81
Madera	0.78
Trapo	0.47
Hueso	0.34
Poliuretano	0.25
Loza y cerámica	0.14
Fibra sintética	0.11
Medicamentos	0.03
Algodón	0.03
Envase de cartón encerado	0.03
Total No Aprovechable	26.66

En cuanto al peso volumétrico, el promedio diario fue de 38.6 kg/m³.

El Potencial de aprovechamiento de los residuos que se generan en la institución es del 73.34 % de los cuales el 62.34 % corresponde a residuos inorgánicos con alto potencial para ser reciclado y el 11.01 % es de residuos orgánicos composteables como se puede apreciar en la Tabla 2; el 26.66% es de residuos no aprovechables, ver tabla 3. Los datos reflejan una amplia oportunidad para abordar el reciclaje de los inorgánicos de forma institucional. El porcentaje de residuos orgánicos con potencial para elaborar composta parece bajo, comparado con otros estudios realizados en México [5] ,[6] y [7] por lo que se recomienda analizar detalladamente esta opción. La clasificación de los residuos en aprovechables y no aprovechables es congruentes con otros autores [8] para analizar el potencial de los residuos sólidos en instituciones educativas.

4. Conclusiones

Este estudio permite conocer el tipo y cantidad de residuos generados en el Centro de estudios Tecnológicos del Mar, información que facilitara la toma de decisiones para una gestión adecuada de los residuos en la Institución, tener un registro con fundamento técnico para establecer prioridades y líneas de acción en el manejo, control, reducción, valorización y segregación de residuos y sobre todo ejemplificar el manejo sustentable de los residuos en los individuos en formación académica. Es muy importante hacer notar que bajo un esquema de separación de residuos en la institución, en el mejor escenario se reduciría al 26.66% los residuos destinados al sitio de disposición final de residuos sólidos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ministerio del Ambiente Perú (2013). Estudio de Caracterización Física de Residuos Sólidos Municipales en la Ciudad de Piura. En línea <https://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/1a_estudio_de_caracterizacion_fisica_de_residuos_solidos_municipales_en_la_ciudad_de_piura.pdf> Recuperado el 15/12/2017
- [2] Ruiz, M. (2010). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. En línea <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100008> Recuperado el 10/11/2017.
- [3] Sáez, A. y Leal, N, (2014). Residuos sólidos en instituciones educativas. En línea <http://publicaciones.urbe.edu/index.php/revecitec/article/viewArticle/3212/4755> Recuperado el 8/11/2017.
- [4] Choles, V. (2013). Gestión Integral de Residuos Sólidos en colegios Sostenibles: Modelos y Tendencias. En línea <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11115/CholesVidalVanessaCarolina2013.pdf?sequence=1>> Recuperado el 7/10/2017.
- [5] Alcántara, V., Cruz, I. y Santos, E. (2005). Caracterización y cuantificación de los residuos sólidos en ciudad universitaria. Memorias. *Congreso Interamericano de Residuos*. Mérida, Yucatán. 4 al 7 de mayo, 2005. 1-88.
- [6] Armijo de Vega C, Ojeda-Benítez, S, Ramírez-Barreto, E, Quintanilla-Montoya, A, (2006) Potencial de reciclaje de los residuos de una institución de educación superior: el caso de la Universidad Autónoma de Baja California. *Ingeniería*; 10: 13-21.
- [7] Ruiz-Morales, M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28 (1) 93-97.
- [8] Rosales-Flores, M, Saldaña-Durán, C., Toledo-Ramírez, V., Maldonado, L. (2013) Caracterización y potencial del reciclado de los residuos sólidos urbanos generados en el Instituto Tecnológico de Tepic, una institución de educación superior, *Revista Bio Ciencias* 2(3): 216-223.

Caracterización de los residuos alimenticios en la central de abastos CDMX

¹Álvaro Martínez Hernández. ¹Diana Rodríguez Soria. ¹Alethia Vázquez Morillas, ¹Rosa María Espinosa Valdemar

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas C.P. 02200 Delegación Azcapotzalco Distrito Federal México. Email: obayo93@gmail.com, diana.rdso@gmail.com.

Resumen

La Central de Abastos de la Ciudad de México (CEDA CDMX), ubicada en la delegación de Iztapalapa es uno de los establecimientos de abastecimiento y comercialización de alimentos más grande del país. Dentro de este lugar se genera una gran masa de residuos orgánicos a raíz de las actividades desempeñadas cotidianamente, que incluye un gran porcentaje de alimentos en buenas condiciones. El objetivo del proyecto consistió en analizar la composición y características fisicoquímicas de los residuos de alimentos procedentes de la Central de Abastos de la Ciudad de México, para proponer estrategias de manejo y aprovechamiento de los desperdicios alimenticios en buen estado. Se realizó un muestreo en la estación de transferencia de la CEDA con el propósito de obtener una muestra representativa de los residuos generados; a la que se le realizó un estudio de composición el cual determinó que existe un 99.39% de material orgánico. Posteriormente se realizó una caracterización fisicoquímica en donde se determinó una presencia de 80.90% de humedad, pH de 4.03, relación C/N de 39.01 y nitrógeno total de 1.39%, interpretando estos resultados como favorables para los procesos y digestión anaerobia para la producción de biogás. De acuerdo con el estudio de composición realizado fue comprobado que existe una gran cantidad de alimento en buen estado (25.18%), mismo que podría valorizarse y evitar en lo mayor posible su desecho, tratando de dar nuevas opciones en su tratamiento y disposición.

Palabras Clave: *Central de Abastos (CEDA), residuos orgánicos, aprovechable, no aprovechable*

1. Introducción

Los residuos alimenticios son todos aquellos materiales o sustancias comestibles crudas o cocidas que se desechan, provenientes de los malos hábitos de compra, consumo y manipulación de los alimentos [1].

Hasta el día de hoy, se sabe que existe un gran desperdicio de alimentos en buen estado, que impacta directamente la sostenibilidad de los diversos sistemas alimenticios que existen en el mundo. Esto afecta al ambiente a causa de la utilización inmoderada de los recursos naturales y genera pérdidas de ingresos a los productores, provocando un aumento en los precios para los consumidores, que impacta de manera directa y de forma negativa en su salud, nutrición y economía.

De acuerdo con datos proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el desperdicio de alimentos se da en diferentes etapas de su ciclo de vida: 28% en consumo, 28% en producción, 22% en manejo y almacenamiento, 17% en mercado y distribución y 6% durante el procesamiento [2]. Puede verse que durante la comercialización y el consumo se genera un mayor desperdicio de los alimentos. Esta problemática se presenta también en la Ciudad de México; de acuerdo con el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México del 2015, se sabe que se generan alrededor de 12,843 toneladas/día de residuos sólidos; el 4.6% de esta generación total procede de la Central de Abastos de la Ciudad [3].

La Central de Abastos de la Ciudad de México (CEDA) está ubicada en el predio denominado Chinamperías, en la delegación Iztapalapa. Inició su funcionamiento en 1982 y actualmente recibe alrededor de 20 millones de visitantes al día, abasteciendo un promedio de 30 mil toneladas de productos [5]. Dentro de ella se localizan cuatro grandes sectores: frutas y legumbres, abarrotes y víveres, flores y hortalizas y subasta de productores, siendo Frutas y Legumbres el área donde se presenta la mayor cantidad de desperdicio. La

CEDA genera aproximadamente mil toneladas de residuos sólidos al día, y en temporadas altas alrededor de mil 500 toneladas de residuos orgánicos e inorgánicos, entre los que se encuentra una proporción elevada de alimentos en buen estado, que son trasladados a la planta de composteo de Bordo Poniente [5].

Los inventarios de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) no especifican la proporción de alimentos en los residuos que son desechados, o la composición de los residuos de la CEDA. Actualmente se cuenta con información general de la cantidad de residuos que genera la CEDA, pero no se cuenta con cifras reales y detalladas sobre su composición y características; esta información es importante para llevar a cabo un manejo adecuado y en especial conocer su potencial de aprovechamiento. Dada la ubicación geográfica, área superficial y magnitud de abastecimiento de los principales productos de la canasta básica, la CEDA podría contribuir a reducir pérdidas económicas en los diversos sectores y los resultados podrían tomarse como referencia para futuros estudios de otros mercados a gran escala.

El presente proyecto tiene como objetivo clasificar y caracterizar los residuos alimenticios provenientes de la CEDA con el fin de proporcionar información que permita plantear nuevas alternativas que lleven a una minimización y aprovechamiento de los mismos.

2. Metodología

El proyecto tuvo desarrollo en el Centro de Acopio y Laboratorio de Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, así como en la estación de transferencia de CEDA CDMX (Central de Abastos de la Ciudad de México).

Obtención de la muestra en la estación de transferencia CEDA CDMX

Se seleccionaron 5 camiones de volteo con destino a la estación de transferencia de la CEDA CDMX, la selección fue en el orden de llegada de los camiones. Aunque la selección de los camiones fue aleatoria, se revisó que ninguno estuviera lleno de un residuo en específico; por ejemplo, un camión completo de residuos de caña; en caso de ser así, se seleccionaba el siguiente camión.

Para la recolección de la muestra total fueron requeridos 5 botes con capacidad de 200L, cada uno de los botes fue subido con una pala mecánica tipo Bobcat a la caja de volteo del camión correspondiente, una vez arriba el llenado de cada bote fue con ayuda de bieldos y manualmente (ver figura 1).



Figura 1 Obtención de la muestra en cada camión

Obtención de peso volumétrico

Cada bote de 200 L fue medido con una cinta métrica para determinar la altura de los residuos, así como a base del bote. Se midieron 5 puntos dentro del mismo para obtener una altura promedio y calcular el volumen de los residuos. Posteriormente cada bote fue pesado en una báscula con capacidad de 500 Kg de

tipo industrial marca Braunker modelo *Camesa*. Una vez obtenido el peso y volumen de cada bote se procedió a calcular el peso volumétrico de cada uno, con la ecuación 1

$$Pv = \frac{P}{V} \quad Ec. 1$$

Donde:

Pv = peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m^3

P = peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = volumen del recipiente, en m^3

Obtención de la muestra representativa

Debido a que las muestras contenían en su mayoría residuos alimenticios, no fue posible utilizar el método para la toma de una muestra representativa descrito en la NMX-AA-15-1985, ya que los residuos podrían deshacerse con el paleo, lo cual afectaría las etapas posteriores. Debido a lo anterior se propuso una técnica alternativa en la que los residuos se distribuyeron dentro de un cuadrado de 4x4 m, formando una capa de altura homogénea (ver figura 1). Esta capa se dividió en 36 cuadrantes imaginarios. Se seleccionaron 7 números aleatorios (ver figura 2) con el fin de determinar los cuadrantes de los cuales se recogerían residuos, hasta llegar aproximadamente a un 10% de la muestra total.



1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36

Cuadrantes seleccionados para el muestreo en CEDA CDMX

Figura 2 Residuos distribuidos en el área de 4x4 m. y división y selección de cuadrantes para la recolección de la muestra representativa

Clasificación en subproductos

Una vez recolectados los residuos de cada cuadrante, fueron vertidos en una mesa de trabajo para su separación en subproductos. (Figura 1)



Figura 3 Separación de las muestras en subproductos

La separación en subproductos se realizó de acuerdo con la clasificación mostrada en la tabla 1.

Tabla 1 Clasificación en subproductos para los residuos separados

CLASIFICACIÓN PRIMARIA	SUBPRODUCTOS	ÁREA DE LA CEDA
Aprovechable	Brasicáceas: brócoli, col, coliflor, nabo, rábano Compuestas: alcachofa, lechuga Cucurbitáceas: calabaza, pepino Fabáceas: guisante, haba, judía Gramíneas: maíz Hongos: champiñón Hortalizas de hoja verde: acelga, apio, espinaca, lechuga, perejil Liliáceas: ajo, cebolla, espárrago Solanáceas: berenjena, papa, pimiento, jitomate Umbelíferas: zanahoria	Hortalizas
	Exóticas: aguacate, carambola, coco, dátíl, kiwi, litchi, mango, papaya, piña, plátano Fruta dulce: cereza, ciruela, higo, manzana, pera, uva Frutos secos: almendra, avellana, cacahuete, castaña, nuez	Frutas
	Carne: res, pollo, cerdo	Aves y cármicos
	Leguminosas: frijol, garbanzo, habas, lentejas	Leguminosas
	Alimentos: empaquetados y a granel	Abarrotes
	Flores: clavel, crisantemo, gerbera, gladiola, nardo, rosa, nube	Flores
	Residuos: huesos, tallos, cascarras, hojas, semillas, huesos de animal, tallos	Hortalizas, frutas, aves y cármicos y flores
No aprovechable	Otros (inorgánicos): colillas de cigarro, tetrapak, madera, plásticos, unicel, cartón, piedras, papel (periódico, bond), vidrio, metales, poda, residuo irreconocible (menor a 5 cm)	General

Caracterización fisicoquímica de la muestra

Se determinaron tres categorías a caracterizar: aprovechables, no aprovechables y muestra total, esta última a partir de la mezcla de aprovechables y no aprovechables en las proporciones en que estuvieron presentes en el estudio. Se pesó y separó el 15% del peso total de cada subproducto en una báscula con capacidad de 15 kg de la marca WIM modelo GPS/B y posteriormente fueron mezclados en su clasificación correspondiente. Todos los residuos inorgánicos fueron desechados dados los objetivos del proyecto,

quedando únicamente residuos orgánicos. Dada la naturaleza de algunos de los residuos se tuvieron que fragmentar hasta un tamaño de aproximadamente 5 cm.

La submuestra correspondiente a cada categoría fue molida en un extractor de comida marca Natural Bullet y un molino tipo del Rey para nixtamal para los residuos de mayor dureza. Este procedimiento se llevó hasta lograr una mezcla de textura pastosa. Una vez molida cada categoría, la muestra fue dividida en dos partes; la primera fue conservada con su humedad original para análisis fisicoquímicos de pH y humedad, la segunda mitad fue llevada a secado en estufa a 65 °C por 24 horas para análisis fisicoquímicos de los porcentajes de materia orgánica, cenizas, nitrógeno total y fósforo total.

Con el fin de obtener resultados representativos para los muestreos se realizaron 10 repeticiones en cada parámetro y así obtener su valor promedio. Las metodologías empleadas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Análisis fisicoquímicos realizados

PARÁMETRO	REFERENCIA (METODOLOGÍA)	OBSERVACIONES
pH	NMX-AA-025-1985	No se realizaron modificaciones a la metodología
Humedad	NMX-AA-016-1985	En la realización del parámetro se modificó la cantidad de muestra utilizada (se utilizaron aproximadamente 10g), de acuerdo con la NOM-AA-16-1984 para la determinación de % de humedad, indica llenar la charola a la mitad de su capacidad; sin embargo, se utilizó la termobalanza XM 60 de la marca <i>Precisa</i> , fijando la cantidad de muestra de 50 a 10g reduciendo así los tiempos del proceso.
% de materia orgánica	NMX-AA-021-1985	De acuerdo con la NOM-AA-21-1984 se indica utilizar 20g de muestra, sin embargo, se decidió llevar a 6g debido al tamaño de los crisoles empleados. Se comprobó que la cantidad de residuo no afecta los resultados.
% cenizas	NMX-AA-018-1984	En la realización del parámetro se utilizó el residuo generado en la determinación del % de Materia Orgánica (M.O.) de acuerdo con la NOM-AA-21-1984.
Nitrógeno Total	Manual ITDE-LTS-N-001 del laboratorio de Tecnologías Sustentables UAM-Azcapotzalco.	De acuerdo con el manual del laboratorio se especifica utilizar de 0 a 5g de muestra dependiendo el porcentaje de materia orgánica calculado, en este caso se determinó utilizar aproximadamente 0.25g.
Relación C/N	NMX-AA-067-1985	Se realizó conforme a la metodología descrita en la norma.
Fósforo Total	NMX-AA-094-1985	Se modificó la cantidad de mililitros del extracto a utilizar para el desarrollo de color de la muestra.

3. Resultados

Estudio de composición

Una vez obtenido el 10% de la muestra total, se separó cada subproducto de acuerdo con la clasificación propuesta. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para el muestreo realizado. Con el 10% de la muestra total, se pesó cada subproducto y se separó el 15% del peso total de cada subproducto eliminando todos los residuos inorgánicos. De esta manera fue posible trabajar la nueva subclasificación propuesta y realizar la caracterización fisicoquímica.

Tabla 3 Composición en subproductos en muestreo a CEDA

CLASIFICACIÓN PRIMARIA	SUBPRODUCTOS		MASA (kg)	% EN MASA
Aprovechable	<i>Brasicáceas</i> : brócoli		0.04	0.07
	<i>Compuestas</i> : lechuga		1.53	2.59
	<i>Fabáceas</i>	chícharo, ejote, guaje	0.06	0.10
		vaina	0.13	0.22
	<i>Cactáceas</i> : nopal		0.22	0.37
	<i>Hortalizas de hoja verde</i> : acelga, espinaca		0.40	0.68
	<i>Liliáceas</i> : cebolla de cambray		0.11	0.19
	<i>Solanáceas</i> : jitomate		0.51	0.86
	<i>Umbelíferas</i> : zanahoria		0.19	0.32
	<i>Hierbas comestibles</i> : hierbas de olor		1.76	2.98
	<i>Poaceas</i> : caña		0.25	0.42
	<i>Cítricos</i>	mandarina	1.84	3.12
		naranja	2.77	4.691
	<i>Frutas exóticas</i> : aguacate, papaya, piña, plátano		1.42	2.41
	<i>Fruta dulce</i> : manzana, uva		0.32	0.54
	<i>Solanáceas</i> : chile		0.22	0.37
	<i>Fabáceas</i> : jícama		1.18	2.00
	<i>Flores</i> : flor en buen estado		0.56	0.95
No Aprovechable	Huesos, tallos, cascara, hojas		5.97	10.11
	Residuo de hierba comestible (tallos, hojas y raíces)		10.40	17.61
	Residuo de nopal (orillas y espinas)		8.65	14.65
	Olote de maíz		10.19	30.18
	Tallos y hojas		2.39	4.05
Otros	Madera, Plásticos, Unicel, Papel (periódico, bond)		0.31	0.53
Masa total en kg de la muestra			51.42	100.00

Fueron encontrados un total de 24 subproductos. La clasificación de aprovechables representó un 25.18% de la muestra total, mientras que los no aprovechables un 73.12%. El residuo que se encontró en mayor porcentaje fue: olote de maíz con 10.19 kg que corresponde al 30.18% de la masa total que fue de 51.42 kg (100%), dicho residuo se encuentra en la subclasificación de no aprovechable, seguido de, residuo de hierba comestible (tallos, hojas y raíces) con 10.40 kg que corresponde al 17.61% de la masa total y recae en la subclasificación de no aprovechables; en menor porcentaje se obtuvieron los siguientes residuos: brócoli con una masa de 0.04 kg que corresponde al 0.07% de la muestra total, dicho residuo recae dentro de la subclasificación de aprovechable. Cabe mencionar que, en la categoría de aprovechables, la mayoría de los subproductos se encontraban en buenas condiciones.



Figura 4 Alimento en buen estado

Caracterización fisicoquímica

En la tabla 4 se observan los diferentes resultados de la caracterización fisicoquímica realizada. Con el fin de obtener resultados representativos Fueron realizadas 10 repeticiones para cada análisis y posteriormente calculado un promedio.

Tabla 4 Resultados de los análisis fisicoquímicos

Parámetro	Muestra Total		Aprovechable		No Aprovechable	
	Promedio	Desviacion estandar	Promedio	Desviacion estandar	Promedio	Desviacion estandar
pH	4.03	0.06	4.27	0.04	4.58	0.09
Humedad [%]	80.90	1.34	82.88	0.81	79.33	3.43
Materia organica [%]	91.38	0.13	89.96	0.63	90.80	0.32
Cenizas [%]	7.96	0.25	9.46	0.10	8.53	0.28
Nitrógeno Total [%]	1.39	0.22	2.00	0.09	1.46	0.05
Relación carbono/nitrogeno	39.01	5.55	26.09	1.01	36.06	1.16
Fósforo [ppm]	120.94	22.33	107.76	7.64	71.30	2.66

pH: se obtuvieron valores ácidos que, para las tres clasificaciones debido a la composición, en su mayoría, de cascara de frutas y hortalizas, hojas y tallos y cítricos, los cuales se asemejan con resultados de la Caracterización de residuos de alimentos en residuos sólidos urbanos [6] en la cual estos subproductos presentan valores de pH entre 3 y 5.

Humedad: los resultados fueron un poco variados entre la muestra total y la subclasificación de aprovechable y no aprovechable con un % de humedad de 80.90%, 82.88% y 79.33%, respectivamente.

La muestra aprovechable estaba conformada principalmente de cítricos (naranja y mandarina), a pesar de esto cabe mencionar que una parte del jugo de esta fruta se perdió durante el manejo. En caso contrario, la muestra de no aprovechable está conformada en mayor proporción por olote de maíz (un residuo completamente seco) y de esta forma se relacionan dichos resultados. Por lo tanto, para la muestra total de CEDA, los resultados fueron aceptados y válidos debido a la homogeneidad de la muestra de no aprovechables y aprovechables.

% de materia orgánica: de acuerdo con los datos presentados en la tabla 4 que oscilan entre un 88-91%, a pesar de que su composición fue muy variada se puede concluir que este tipo de muestra tenía diversos

residuos con un alto contenido de nutrientes. De igual forma las desviaciones estándar obtenidas son pequeñas ya que de las diez pruebas realizadas para cada una de las muestras resultaron muy parecidas entre sí, por lo tanto, los resultados se aceptaron.

% de cenizas: la muestra presentó una baja cantidad de material inorgánico que oscila entre 8-10% estos datos son aceptados debido a que en la determinación de % de materia orgánica se obtuvieron resultados altos que van de 88-91%.

% nitrógeno total: una gran cantidad de alimentos está compuesta por proteínas, las cuales contienen en gran medida nitrógeno. La mayoría de los alimentos encontrados presentan una baja cantidad de proteínas como es el caso de frutas y verduras, caso contrario con subproductos como frijol, guaje y ejote en los cuales su contenido proteico es considerable.

Relación C/N: Los resultados entre muestra total (39.01) y no aprovechables son muy similares (36.06) ya que sus valores de % de materia orgánica y % de nitrógeno total son similares y están involucrados en el cálculo de dicha relación; caso contrario en la muestra aprovechable (26.09). Dada su composición, todos estos valores se encuentran un poco alejados en comparación con los reportados en la Caracterización de residuos de alimentos en residuos sólidos urbanos [6] que oscilan entre 21 y 32.

Fosforo total: El fosforo es encontrado en altas concentraciones en alimentos como legumbres, carnes y algunos alimentos co-procesados, sin embargo, la mayoría de los subproductos encontrados son frutas y verduras, así como sus cáscaras. De acuerdo con investigaciones previas (SEOM, n.d) las frutas y verduras son alimentos con un muy bajo contenido de fosforo, sin embargo, alimentos como el frijol, guaje y ejote, presentes en la muestra son los que aportarían el fosforo a las concentraciones reportadas en la tabla 4.

Finalmente, parámetros como pH, % de nitrógeno total y relación C/N son de suma importancia en procesos de aprovechamiento como es el compostaje y digestión anaerobia. A continuación, se presentan los resultados para los estudios Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion [7] y Effectiveness of three bulking agents for food waste composting [9] (ver Tabla 5) en los cuales se realizó una caracterización previa al proceso.

Tabla 5 Parámetros en estudios de aprovechamiento para residuos de alimentos

Valores iniciales	Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion	Effectiveness of three bulking agents for food waste composting	Caracterización de los residuos alimenticios en la Central de Abastos CDMX		
			Muestra Total	Aprovechables	No aprovechables
pH	-	4.1	4.03	4.27	4.58
% de humedad	60.10	87.8	80.90	82.88	79.33
Relación C/N	36.4	24	39.01	26.09	36.06
% Nitrógeno Total	3.16	2.0	1.39	2.00	1.46

En comparación con los resultados obtenidos para CEDA, los residuos del tipo aprovechable serían óptimos para el proceso de compostaje ya que presentan resultados muy cercanos a los del estudio de referencia, sin embargo, la mejor opción sería su minimización.

4. Conclusiones

Este estudio permitió llevar a cabo el análisis de la composición y características fisicoquímicas de los residuos de alimentos provenientes de la Central de Abastos de la Ciudad de México.

Fue posible desarrollar un método de muestreo nuevo que nos permitiera una mejor y libre manipulación de los residuos sin alterar la muestra, y lograr la obtención de una representativa, ya que con el método

propuesto se logró una menor fragmentación de todos los residuos susceptibles a algún tipo de alteración al momento de ejecutar algún movimiento. Se utilizaron 36 cuadros imaginarios en un espacio de 4x4 m que ayudaron para la obtención de la muestra representativa. A través del método de clasificación que se llevó a cabo, fue más sencillo distinguir los alimentos que se encontraban en buen estado y cuales aún eran aprovechables y cuáles no. Los resultados son aceptados ya que se determinó el pH, porcentaje de humedad, entre otros y concuerdan con otros estudios realizados y reportados. Se determinó que la cantidad de alimentos desechados en buen estado es considerable, así mismo, se podría evitar la disposición final de una gran cantidad de residuos de alimentos en rellenos sanitarios que generan metano (gas de efecto invernadero), disminuyendo emisiones de este tipo.

Es un hecho que el desperdicio de alimentos que se genera dentro de la CEDA es aprovechado por los pepenadores del lugar, sin embargo, no se cuenta con una educación ambiental, sumada a la falta de interés por parte de los locatarios y algunos puestos administrativos de la CEDA. Finalmente, la falta de interés y de recursos es un grave problema, ya que no permiten el desarrollo de nuevos proyectos para un mayor aprovechamiento del mismo; como por ejemplo implementar la digestión anaerobia o bien fomentar en la mayor medida posible el compostaje.

5. Referencias

- [1] EPA. (2017). Español.epa.gov. Consultado el 8 de febrero de 2017, en <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-d>
- [2] FAO., Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y El Caribe. FOA, Obtenida el 6 de mayo de 2017, de: <http://www.fao.org/3/a-i3942s.pdf>
- [3] SEDEMA., Secretaría del Medio Ambiente. (2016). Inventario de Residuos Sólidos Ciudad de México. Obtenida el 6 de mayo de 2017, de: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2015-14-dic-2016.compressed.pdf>.
- [4] Hernández, A., (2007). ¿La comida a la basura? Revista Consumidor, octubre 2007. 56-62
- [5] CEDA., Central de Abasto de la Ciudad de México. (2016). Programa Sistema de Contenedores. Obtenida el 12 de mayo de 2017, de <http://ficeda.com.mx/ficeda/app/webroot/pdfs/SISTEMA%20DE%20CONTENEDORES.pdf>
- [6] Jiménez L. (2017). “Caracterización de residuos de alimentos en residuos sólidos urbanos”
- [7] Zhang, R., Elmashad, H., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., Y Gamble, P. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource Technology. Biological and Agricultural Engineering Department, University of California. Estados Unidos.
- [8] SEOM: Sociedad Española de Oncología Médica. (n. d). Tablas de composición de alimentos, Anexo 8. Obtenida el 9 de marzo de 2018, de: https://www.seom.org/seomcms/images/stories/recursos/infopublico/publicaciones/soporteNutricional/pdf/anexo_08.pdf
- [9] Adhikari B.K., Barrington S., Martinez J., King S. (2009). Effectiveness of three bulking agents for food waste composting. Waste Management, Elsevier, 29 (1), p. 197 - p. 203.

Caracterización de microplásticos y muestreo de residuos sólidos urbanos de la playa de Tuxpan, Veracruz

¹Vania Laura Rosado-Piña, ¹Nayely Mendoza-Muñoz, ^{1,3}Alethia Vázquez- Morillas, ^{1,2}Juan Carlos Álvarez-Zeferino, ^{1,3}Margarita Beltrán-Villavicencio, ^{2,3}Sara Ojeda-Benítez

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Ciudad de México. Tel 0445532581746. E-mail: al 2123000520@correo.azc.uam.mx

²Universidad Autónoma de Baja California -Instituto de Ingeniería

³ Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a los Residuos Sólidos, A. C (SOMERS)

Resumen

El manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos (RSU), ha provocado, entre otras cosas, la contaminación de los ecosistemas marinos. El principal componente contaminante en el mar, es el plástico, del cual se derivan los microplásticos, que son partículas de tamaños menores a 5 mm. En el presente trabajo se reporta la metodología y los resultados obtenidos a partir de un muestreo, llevado a cabo los días 2 y 3 de septiembre de 2017, con la finalidad de coleccionar, identificar y clasificar los tipos de microplásticos y RSU presentes en la playa. Se encontró que la mayor parte de los microplásticos son polietileno (PE) de color blanco y en su mayoría son rígidos. Se calcularon las concentraciones de microplásticos de acuerdo a la masa de arena de muestra seca (93.27 pzs/kg_{ss}), al área (73.2 pzs/m²) y longitud (36.6 pzs/m) muestreada. Se identificaron las 2 categorías con mayor abundancia en cuanto a número de piezas y masa, las cuales fueron: los residuos de alimentos y los fragmentos de plástico rígido para los 2 días de muestreo. También se pudo observar que más del 50% de los RSU pertenecen a la categoría de los plásticos en términos de número de piezas, lo que permitió concluir la posible relación entre la generación de residuos y la presencia de microplásticos en playa.

Palabras Clave: *Microplásticos, plásticos, residuos sólidos urbanos (RSU), playa*

1. Introducción

El uso del plástico en la actualidad ha incrementado sus cifras considerablemente ya que tiene infinidad de aplicaciones en nuestra vida cotidiana, debido a que estos materiales son livianos, económicos, duraderos y fuertes. Sin embargo, características de alta resistencia al envejecimiento y la biodegradación, han vuelto al plástico un contaminante con efectos ambientales significativos [1]. Después de que la vida útil del plástico ha terminado, pasa a formar parte de los residuos sólidos urbanos (RSU), y debido a la mala gestión de éstos el plástico se ha convertido en el material exógeno más frecuente en el océano [2].

Se considera como microplástico a toda pieza que mida entre 1 y 5 mm [3]. Su presencia en el mar puede ser provocada por la descarga de productos que contienen microplásticos como materia prima o debido a la fragmentación de plásticos más grandes a través de la radiación ultravioleta, la temperatura, el oleaje y la salinidad. Estos contaminantes se pueden propagar debido a que las corrientes marinas los transportan de un lugar a otro [4].

Los microplásticos tienen la capacidad de adsorber contaminantes orgánicos tóxicos y metales pesados [5] y [6], por ello, representan un grave peligro para los organismos que habitan los ecosistemas marinos, debido a que su tamaño es tan pequeño que se consideran como biodisponibles, pues son confundidos con alimentos y así se introducen contaminantes tóxicos a la cadena trófica [1].

El objetivo del presente trabajo fue determinar qué tipo de microplásticos conforman una muestra real colectada en una playa mexicana así como identificar los tipos de residuos sólidos urbanos presentes en el área de muestreo.

2. Metodología

Esta investigación se realizó en la playa de Tuxpan Veracruz, el muestreo se realizó en fin de semana los días 2 y 3 de septiembre de 2017. Se definió la zona de muestreo, tomando un transecto de 100 m, que fue acotado por una cuerda, desde la línea de marea baja, hasta la línea de residuos dejada por la pleamar, considerada como la línea máxima de contaminación.

2.1 Muestreo de microplásticos

Se tomaron las muestras considerando la línea máxima de contaminación, y se eligieron cinco puntos en distancias aleatorias para cada día. Los puntos de muestreo tomados para el día sábado fueron a 1.5, 14, 25, 81 y 99 m, y para el día domingo 4, 16, 22.5, 65 y 90 m. Las muestras de arena, se tomaron con un marco fabricado a partir de tubo de PVC de grado industrial de 0.5 x 0.5 m, el cual se colocó en las distancias aleatorias seleccionadas, recolectando la arena superficial con ayuda de una pala de acero. Se conservaron las muestras de arena en bolsas con cierres herméticos para su transporte al laboratorio.

La experimentación se realizó en el Laboratorio de Tecnologías Sustentables (LTS) ubicado en el edificio W de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México.

Se pesaron las muestras de arena, para eliminar la humedad, se dejaron secar a temperatura ambiente durante una semana y se registró el peso de las muestras secas. Posteriormente se separaron los microplásticos de la arena, para lo cual se utilizaron 3 tamices: No. 10 de 2 mm, No. 4 de 4.75 mm y de No. 16 de 1.13 mm. Se realizó el montaje de los tamices, en una torre acomodándolos de mayor a menor. Se hizo pasar la arena a través de los tamices, recuperando los microplásticos acumulados en los tamices de 2 y 1.13 mm. Se contabilizó el número de microplásticos totales para cada muestra.

Se calculó la concentración de microplásticos tomando en cuenta la masa de arena seca (C_{MSS}), el área de arena colectada (C_A) y la longitud del punto muestreado (C_L) como se describe en las ecuaciones (1), (2) y (3):

$$C_{mss} = \left(\frac{\# \text{ piezas}}{m} \right) \quad (1)$$

Donde:

C_{MSS} : Concentración de microplásticos en masa de arena seca

m: Kg de arena

$$C_A = \left(\frac{\# \text{ piezas}}{\text{área}} \right) \quad (2)$$

Donde:

C_A : Concentración de microplásticos en área de muestreo

Área: 0.25 m²

$$C_L = \left(\frac{\# \text{ piezas}}{L} \right) \quad (3)$$

Donde:

C_L : Concentración de microplásticos de la longitud del punto muestreado

L: Longitud del cuadro de PVC (0.5 m)

2.2 Caracterización de microplásticos

Se clasificaron a los microplásticos, separándolos en cinco grupos diferentes, de acuerdo a su morfología: rígidos, fibra, espuma, flexibles y pellets, registrando el color de los mismos. Se identificó a qué tipo de plástico pertenecía cada pieza de las muestras de ambos días a través de un espectrofotómetro de infrarrojo (IR) Perkin Elmer UATR Two, en el laboratorio de Química de la Escuela Militar de Ingenieros, Ciudad de México.

2.3 Muestreo de residuos sólidos urbanos (RSU)

Se realizó la recolección de los RSU en el área comprendida por el transecto de 100 m delimitado para el muestreo de los microplásticos incluyendo plásticos mayores a 5 mm.

2.4Clásificación de residuos sólidos urbanos (RSU)

Para la separación de los RSU se dividieron los residuos en diferentes categorías, se contabilizaron y se guardaron en bolsas de cierre hermético para su transporte al laboratorio. Se pesaron y se dejaron secar durante una semana para eliminar la humedad. Para quitar el exceso de arena, se sacudieron los residuos y se pesó cada categoría para tener el registro de la masa de muestra seca de ambos días del muestreo.

3. Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir del muestreo de microplásticos y de residuos sólidos urbanos. Se muestran las concentraciones de microplásticos en función de su masa, área y longitud de arena muestreada, posteriormente se presentan los resultados de la caracterización de los microplásticos y finalmente los que corresponden a la clasificación de los residuos.

3.1 Muestreo de microplásticos

El número de piezas y las concentraciones calculadas de acuerdo a la masa de arena en seco (C_{MSS}), al área de arena colectada (C_A) y a la longitud del punto muestreado (C_L), de la recolección de microplásticos para los días sábado 2 y domingo 3 de septiembre, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Concentración de microplásticos

Día	Número de piezas	C_{MSS} (pzs/kg _{ss})	C_A (pzs/m ²)	C_L (pzs/m)
Sábado	132	90.69	105.6	52.8
Domingo	51	95.86	40.8	20.4
Promedio	91.5	93.27	73.2	36.6

Como se puede observar, se encontró un número de microplásticos mayor para el día sábado, esto puede explicarse debido a dos razones: la primera es que la cantidad de RSU colectados el día sábado también fue mayor (como se muestra en el punto 3.3) entonces, se considera que hay una relación entre la presencia de microplásticos y la generación de RSU en la playa. La segunda razón tiene que ver con las condiciones

climáticas, debido a que el día sábado por la tarde hubo fuertes lluvias, lo que pudo provocar el arrastre de los microplásticos a zonas fuera del área en el muestreo del día domingo.

La concentración de microplásticos en función de la masa de arena en seco, para ambos días, es muy similar, sin embargo las concentraciones en función del área y la longitud de la arena colectada difieren por más del 50% comparando ambos días. Dichos resultados concuerdan con lo considerado anteriormente.

3.2 Caracterización de microplásticos

La caracterización de los microplásticos se realizó con base en el color, la morfología y el tipo de plástico que componían las muestras. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada una de las categorías.

3.2.1 Color

En la figura 1 se muestra el porcentaje de colores de microplásticos presentes en la arena para ambos días. Como se puede observar, los colores con mayor abundancia fueron: blanco, transparente y verde (en orden descendente). También se puede notar que hubo una mayor variedad de colores para el día sábado que para el día domingo.

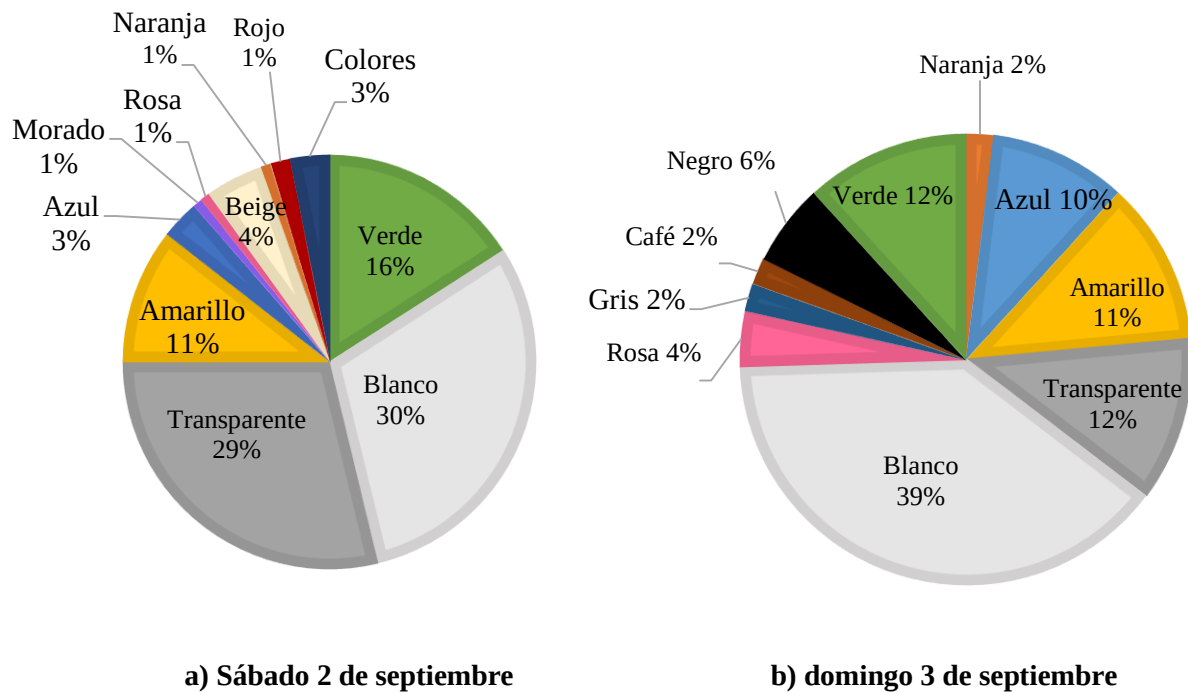


Figura 1. Colores de los microplásticos

La clasificación de la morfología de los microplásticos se dividió en 5 categorías: rígido, fibra, espumoso, flexible y pellet. En la figura 2 se puede observar el porcentaje de abundancia de los tipos de plásticos presentes en las muestras tomadas en ambos días. Como se muestra en dicha figura, el tipo de plástico con mayor número de piezas fue el plástico rígido para los días sábado y domingo.

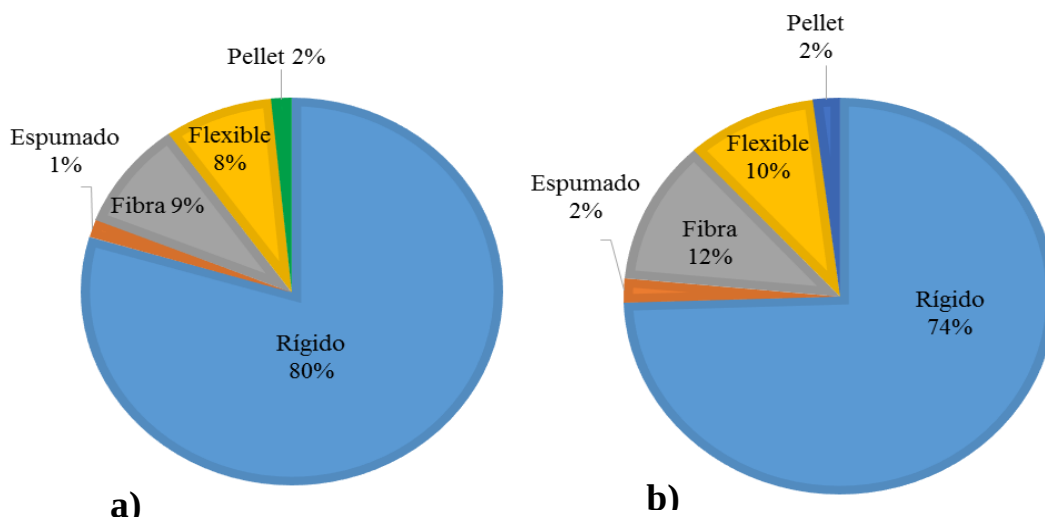


Figura 2. Morfología de los microplásticos encontrados el a) sábado 2 de septiembre (n=132) y b) domingo 3 de septiembre (n=51)

3.2.3 Tipo de plástico

Se encontraron 3 tipos de plásticos en las muestras tomadas el sábado y domingo: polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS). Al igual que en las clasificaciones anteriores los porcentajes de abundancia en las categorías de clasificación, para ambos días es muy similar. Para el caso de el tipo de plástico, el que mayor abundancia hubo fue el PE, seguido del PP y el tipo de plástico con menor abundancia fue el PS, como se muestra en la figura 3.

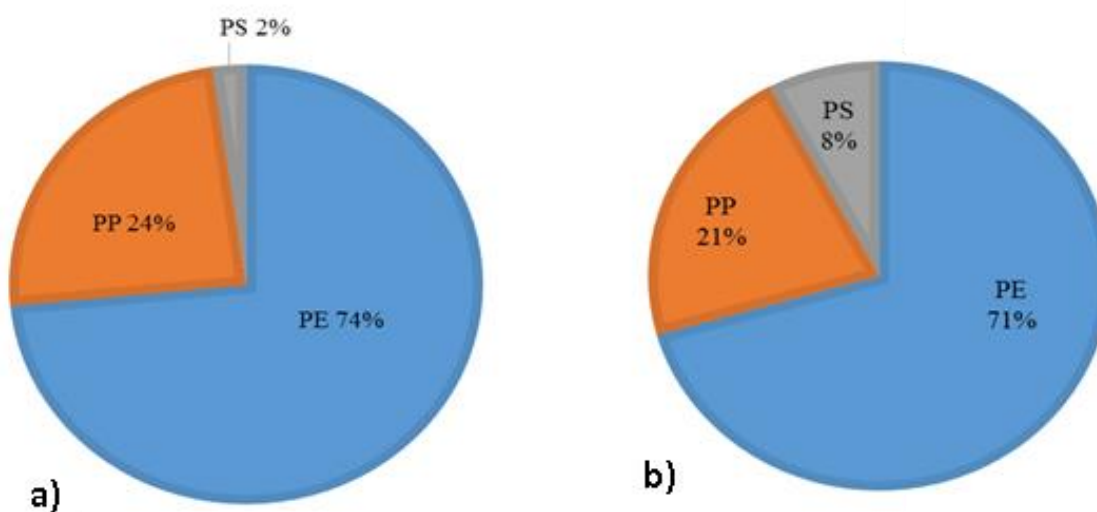


Figura 3. Tipos de plásticos encontrados el a) sábado 2 de septiembre y b) domingo 3 de septiembre

3.3 Clasificación de residuos sólidos urbanos (RSU)

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos en cuanto al número de piezas encontrados para cada categoría de residuos presente en la muestra colectada en ambos días. Se observa que para el día sábado las 3 categorías con mayor número de piezas fueron: colillas de cigarro, fragmentos de plástico rígido y residuos alimenticios (de mayor a menor). Para el día domingo las 3 categorías de mayor abundancia fueron: en primer lugar fragmentos de plástico rígido, en segundo lugar residuos de alimentos y en tercer lugar papel.

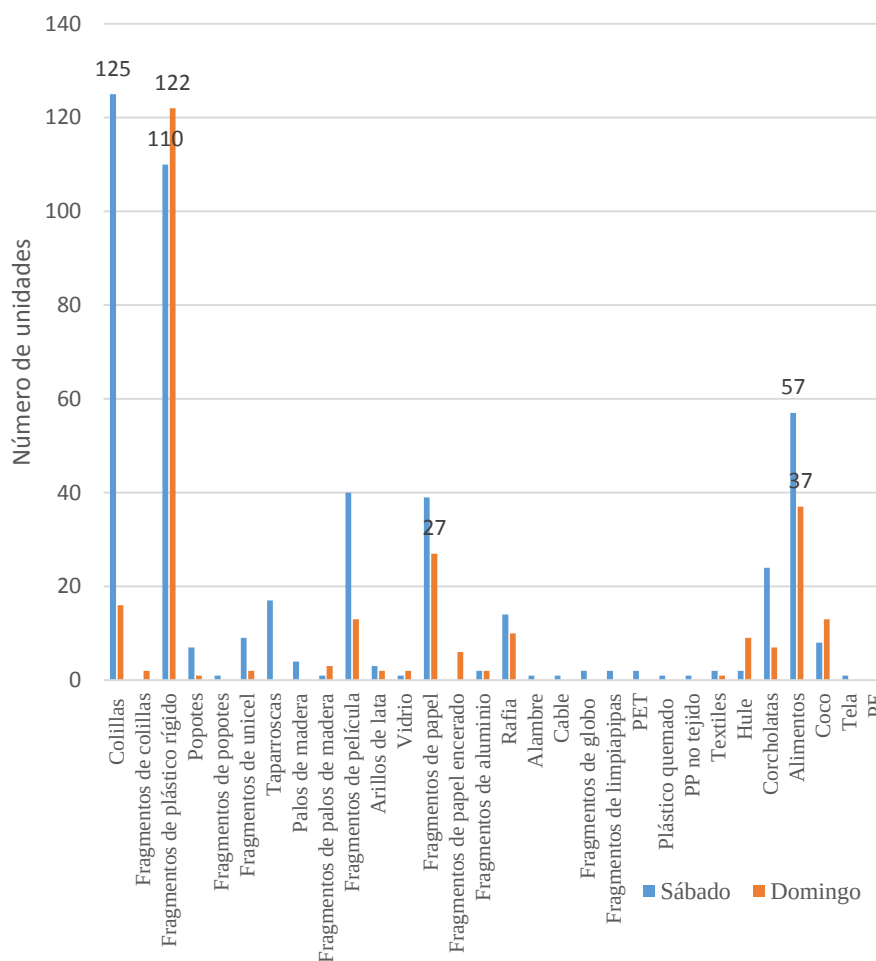


Figura 4. Número de piezas de RSU encontrados

Además del registro del número de piezas encontradas por cada categoría de residuos, éstos se contabilizaron, a través de la masa en muestra seca. En la figura 5 se puede observar que para el día sábado los residuos de alimentos, PET y fragmentos de plástico rígido fueron los de mayor abundancia. Para el día domingo, los residuos de mayores masas fueron: los residuos de alimentos, plástico rígido y corcholatas.

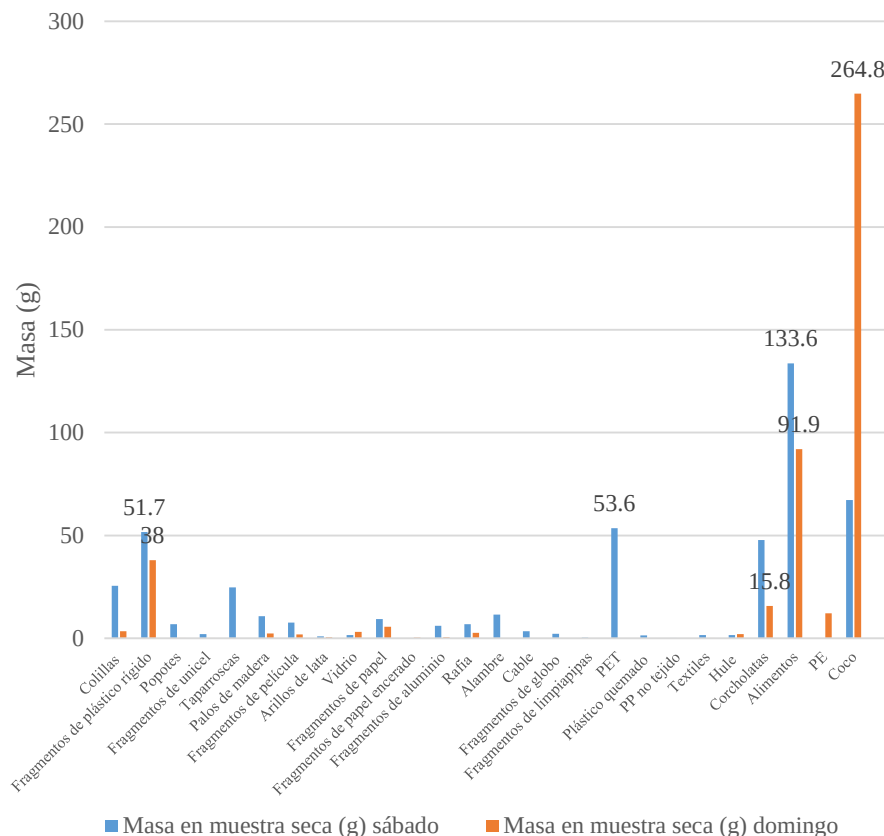


Figura 0. Masas de los RSU encontrados

Es importante destacar que el día sábado se encontró con mayor cantidad y número de categorías de RSU, debido a que fue el primer día del muestreo y se considera que los residuos encontrados fueron acumulados a lo largo de la semana, mientras que los residuos del domingo sólo fueron los acumulados del día anterior. Los fragmentos de plástico rígido y los residuos alimenticios fueron las categorías con mayor abundancia presentes en los días del muestreo, en cuanto a número de piezas y en cuanto a la masa de muestra seca. Cabe destacar que, de los residuos encontrados en ambos días, el plástico representa un porcentaje significativo (mayor al 50%) tanto en número de piezas como la cantidad de masa en muestra seca, sobre las demás categorías encontradas como se muestra en las figuras 6 y 7.

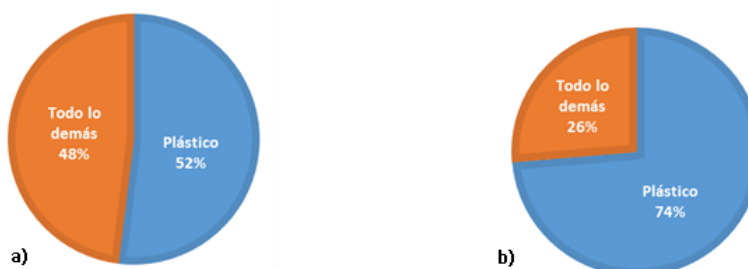


Figura 6. Porcentaje de plásticos por número de piezas de a) sábado 2 y b) domingo 3 de septiembre

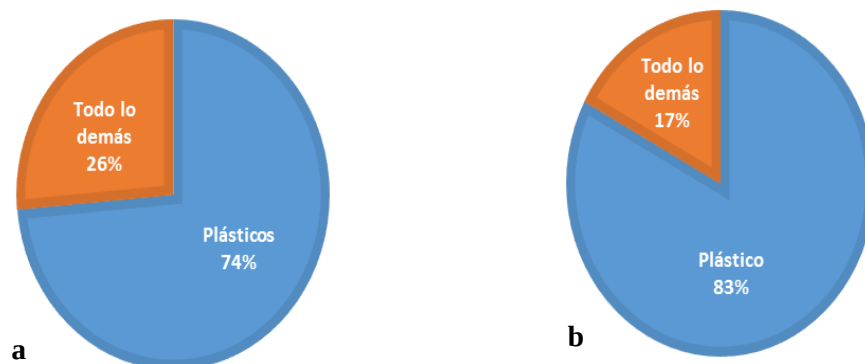


Figura 7. Porcentaje de plásticos por masa de a) sábado 2 y b) domingo 3 de septiembre

4. Conclusiones

Se evaluó qué tipo de microplásticos componen una muestra real tomada en la playa de Tuxpan, Veracruz, identificando que la mayor parte ellos son polietileno (PE), plástico rígido de color blanco. También se calcularon las concentraciones de microplásticos (en promedio de las muestras tomadas los días sábado y domingo), las cuales fueron de 93.27 pzs/kgss, 73.2 pzs/m² y 36.6 pzs/m.

Se recolectaron los residuos sólidos urbanos (RSU) presentes en el área de muestreo. Se percibió que las categorías de mayor abundancia, para ambos días, fueron las compuestas de alimentos y fragmentos de plástico rígido. Se destaca que el porcentaje de plásticos (en promedio de ambos días) en función al número de unidades fue del 63% y de acuerdo a la masa de muestra seca fue del 78%. Considerando que estos porcentajes corresponden a más de la mitad del total de residuos, se concluye que puede existir una relación entre la generación de RSU y la presencia de microplásticos en la playa.

Por lo anterior, se toma en cuenta que otros posibles factores influyentes en la presencia de microplásticos, se deben a la temporada del año, la concurrencia de la playa y el horario en el que se realice el muestreo. Por ello se considera importante realizar estudios en los que se lleven a cabo muestreos en diferentes horarios, temporadas y zonas de muestreo, para poder comparar los resultados e identificar con mayor precisión lo que ocasiona su presencia en la arena.

Se recomienda como medida preventiva la creación de programas que promuevan el manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos así como la difusión de información hacia la población sobre esta problemática.

Referencias Bibliográficas:

- [1] Retama I., Jonathan M.P, Shruti V. C., Velumani C., Sarkar S. K., Priyadarsi D. R., Rodríguez-Espinosa P. F., (2016), *Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico*, ELSEVIER, 113, 530-535. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.053
- [2] Cole M., Lindeque P., Halsband C. y Galloway T. S. (2011), *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review*, Marine Pollution Bulletin, 62, 2588-2596 doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025
- [3] Blair C. y Quin C. B. (2016), *Microplastic Pullants*, 1 std Edition, Elsevier Science , 16-64
- [4] Sánchez M. E., Rangel N. C., Beltrán M., Vázquez A., Alvarez J. C. (2016), *Separación y caracterización de micro-plásticos en playas mexicanas*, Encuentro de expertos en residuos sólidos:

Los residuos sólidos como fuente de materiales y energía. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C. Universidad Autónoma de Querétaro, 27-33

- [5] Teuten E. L., Saquing J. M., Knappe D. R., Barlaz M. A., Jonsson S., Björn A., et al. (2009), *Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife*, The Royal Society Journal, 364, 2027–2045doi:10.1098/rstb.2008.0284
- [6] Luke A. H., Turnera A., Thompson R. C. (2012), *Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment*. Environmental pollution, 160, 42-48, doi:10.1016/j.envpol.2011.08.052

Valoración del digestato generado por la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de México

¹Daniel Alejandro Salcedo Serrano, ¹Luis Raúl Tovar Gálvez, ¹Maria Eugenia Gutiérrez Castillo, ¹Aixa Kari Gállego Bravo

¹ Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, Calle 30 de Junio de 1520 s/n, La Laguna Ticoman, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07340, 5537191741, dsalcedos1500@alumno.ipn.mx.

Resumen

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo caracterizar fisicoquímicamente el digestato generado por la digestión anaerobia termófila y seca de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) de la Ciudad de México para determinar el valor potencial como biofertilizante de este, en función al contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, agua, materia orgánica, lignina, metales tóxicos, el pH, grado de fitotoxicidad y grado de riesgo por manejo según parámetros sanitarios. Se trabajó con digestores a escala laboratorio de 125ml y de 1,250ml. Los digestores generaron 736 ± 176.3 ml de biogás por gramo consumido de sólido volátil (SV) proveniente de la FORSU. Se logró digerir el $62\% \pm 1$ de los SV libres de lignina disponibles en el sustrato. Por cada kg de digestato fresco hubo 904.2 ± 17 g de agua y 60.4 ± 8.5 g materia orgánica de la cual, el $36.6\% \pm 4.1$ era lignina y tuvo un pH de 8.2 ± 0.1 . Por cada kg de digestato en base seca hubo 55.6 ± 5.3 de nitrógeno total Kjeldahl del cual $71\% \pm 5$ correspondía a nitrógeno amoniacal, 35.4 ± 1.2 de potasio, 7.9 ± 0.3 de fósforo, 54.2 ± 4.6 de calcio y 8.3 ± 0.8 de magnesio. En cuanto a metales tóxicos y parámetros sanitarios de manejo y aplicación de composta, el digestato tiene cantidades por debajo de lo estipulado en la NADF-020-AMB-2011. El digestato contiene nutrientes suficientes para darle uso como biofertilizante, esto aunado al contenido de materia orgánica y agua que también deben aprovecharse en suelos de cultivo. En próximos proyectos se trabajará con pruebas de fitotoxicidad y aplicaciones en campo.

Palabras Clave: Biofertilizante, Digestato, Digestión anaerobia seca, fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, nutrición vegetal.

1. Introducción

Conceptualmente, la digestión anaerobia (DA) se puede describir como un proceso microbiano de biotransformación de material orgánico en ambiente anóxico, de carácter dinámico y multifactorial en el que intervienen e interactúan arqueas anaerobias estrictas o facultativas, generando como productos principales biogás (CO_2 , CH_4 , H_2O y otros gases a niveles traza), además de digestato.

El producto residual de la digestión anaerobia y denominado digestato, es una mezcla de biomasa microbiana, de material orgánico no digerido y de macro nutrientes como N, P, K, Ca, S y Mg y micronutrientes como B, Cl, Mn, Fe, Zn, Cu, Mo y Ni que estaban en la materia orgánica original, que fueron retenidos y permanecieron en más de un 90 % durante el proceso [1], [2].

Un sistema eficiente y utilizado por varias empresas líderes en el mercado de digestores anaerobios es de tipo seco termófilo de una fase [3]. Este debe entenderse como un método de digestión anaerobia que se desarrolla en un rango de temperatura de 50°C a 55°C y cuya mezcla está compuesta en más de un 15% por sólidos totales (ST). Dicha mezcla no se ve alterada o modificada por un periodo de tiempo definido. Esta consideración se ha tomado en cuenta para el diseño experimental de esta investigación.

El presente trabajo aporta información sobre las características químicas, físicas y biológicas del digestato que se obtiene después del proceso de digestión seca termófila de una fase a escala laboratorio, al usar como sustrato la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) proveniente de la Ciudad de México (CDMX). Con ello se puede valorar su potencial uso como biofertilizante en la producción agrícola.

2. Metodología

2.1 Muestreo sustrato e inoculante.

El muestreo de la FORSU, se hizo en la Planta de Composta de Bordo Poniente (PCBP) de la CDMX. Se hicieron dos muestreos en el 2016; primero en temporada seca (26 de abril del 2016) y el segundo en temporada de lluvias (29 de agosto del 2016). Se usó un método para muestreo, manejo y caracterización físico-química de suelos y composta [4]. Dichos métodos están en armonía con la norma ambiental local NADF-020-AMBT-2011 y con las especificaciones marcadas en la NOM-021-SEMARNAT-2000 y NOM-004-SEMARNAT-2002. Cabe resaltar en este punto que, en ambos muestreos, una vez homogeneizado el material acopiado, una quinta parte de mismo se mantuvo en congelador a -40°C .

El inoculante es el efluente obscuro de fuerte olor que escurre de las pilas de composta madura de la PCBP. Se ha demostrado en trabajos anteriores dentro de esta línea de investigación que este contiene una carga de metanógenos que, al ser alimentada con la FORSU, responde de manera favorable generando biogás [5]. Las muestras se adquirieron de los canales que se encuentran alrededor de las pilas de composta madura y del canal que alimenta un cárcamo en el que se almacena el escurrimiento de toda la planta.

2.1.1 Pretratamiento de la muestra de FORSU y del efluente.

En ambos muestreos, la FORSU se cortó en trozos no mayores a 1 cm^2 , para facilitar el llenado de los digestores y a su vez lograr una mejor homogeneización de la muestra. Por su parte, el efluente muestreado en cada visita a la PCBP, se homogeneizó y se incubó por 15 días a 55°C para aclimatar a los microorganismos al sistema de digestión termófila.

2.2 Ensamblado de digestores secos y pre-tratamiento del inóculo.

Se trabajó con digestores secos de 125 ml con 60 g de sustancia a digerir y después con digestores de 1,250 ml con 600 g de sustancia a digerir. En ese orden, se considera que el trabajo con digestores se dividió en 2 fases.

El sustrato con el que se alimentaron los digestores se compuso por una mezcla homogeneizada 1:1 w/w de la FORSU muestreada en ambas temporadas. La FORSU del primer muestreo se recuperó del congelador (-40°C), se descongeló almacenándola a 4°C por 1 semana y finalmente se mezcló con la FORSU del segundo muestreo.

El inoculante para los digestores secos estuvo compuesto de una mezcla homogeneizada de la muestra de FORSU de ambas temporadas con pH amortiguado a 6.5 con $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ a razón de 6 g $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ por kg de FORSU que después se mezcló con efluente muestreado en la temporada de lluvias, previamente incubado por 15 días a 55°C . La mezcla se hizo en razón 1:1w/w y posteriormente se incubó por 30 días más a 55°C antes de ser usado como inóculo. La relación inóculo/sustrato se hizo en razón 2:1 w/w para los digestores de 125ml y 1:1 w/w I/S para los digestores de 1250ml.

2.3 Tratamientos y llenado de los digestores

Los ensayos con digestores de 125 ml (Figura 1), estuvieron compuestos por tres tratamientos distintos por triplicado y se ensamblaron de la siguiente forma; blanco negativo (Bn) compuesto por 40 g de inóculo tratado más 20 ml de agua desionizada, blanco positivo (Bp) compuesto por 40 g de inóculo tratado más 3.1 g de celulosa (correspondientes a los 3 g de SVLL encontrados en promedio en 40 g de sustrato) más 17 ml de agua desionizada y finalmente un tratamiento de inoculante con sustrato (IS) correspondiente a la mezcla de 40 g de inóculo tratado y 20 g de sustrato.

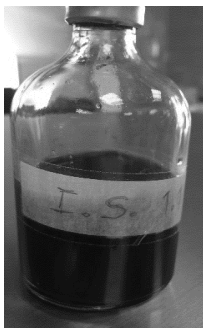


Figura 1. Digestores de 125ml

En lo que respecta a los ensayos con digestores de 1,250 ml de capacidad, no se incluyó con Bp ni Bn, únicamente 3 tratamientos de IS. A parte, a diferencia de los tratamientos anteriores, estos digestores se ensamblaron en frascos de cultivo de vidrio con tapa roscada GL45 (Figura 2, izquierda) adaptada con una terminal para tomar muestras y un medidor de presión (Figura 2, derecha). Tanto en los digestores de 125 ml como en los digestores de 1,250 ml se dejó un espacio de cabeza aproximadamente del 50% del volumen del recipiente. Es decir, alrededor de 60 ml y 600 ml respectivamente.



Figura 2. Derecha, digestores de 1,250 ml. Componentes adaptados a la tapa GL45 del reactor en frascos de cultivo

2.4 Seguimiento del desempeño de los digestores.

En los digestores de ambas fases experimentales, se midió la composición del biogás con Cromatografía de gases. Sin embargo, la medición del biogás generado se hizo mediante el método de desplazamiento de agua en recipiente aforado [6].

La cromatografía de gases fue realizada con equipo Perkin Elmer Autosystem con lector TCD y columna empacada marca Altech de Porapak QS de 12' de longitud por 0.085" de diámetro para detección de CO₂, CH₄ y N₂ usando Helio ultra puro como gas de arrastre a 80°C, con flujo de 30 ml min⁻¹ y presión constante a 40psi. El cromatógrafo está conectado a una PC por un puerto UPAD-2. Los datos enviados a la PC se procesan con el programa Clarity 10 para Windows 7. Para medir pH/CE/ORP se usó un equipo portátil marca HACH modelo HI 991300. El nitrógeno total se midió con el método Kjeldahl (NTK), usando equipo Buchi k340 y k350 [7]. El contenido de NTK del digestato generado en ambas fases se midió usando la muestra húmeda para evitar posibles pérdidas por temperatura y pH de NH₃-NH₄ [2]. Fosfatos totales se midieron con equipo DR 200 y DR 900 de HACH usando el método para detección de fosfatos totales [8]. Potasio Calcio, Magnesio y metales traza (As, Ni, Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Hg, Ti) fueron cuantificados por

medio de espectrometría óptica de emisión atómica con un equipo Optima 4300 DV de Perkin Elmer. La cantidad de lignina se obtuvo usando el método para detección de Lignina No Soluble en Acido [9]. Los ST y SV se midieron con método gravimétrico usando una estufa a 70°C y una mufla a 550°C respectivamente según la NOM-004-SEMARNAT-2003. Finalmente, los parámetros de sanidad de manejo; huevos de helminto, salmonella spp y coliformes fecales se midieron con el método de floculación, método de incubación y por el método de cultivo en placa con agar nutritivo respectivamente como se estipula en la NADF-020-AMBT-2011 basada en la NOM-004-SEMARNAT-2002 y la NOM-210-SSA1-2014.

2.6 Estadística

El procesamiento estadístico de las observaciones consistió en el análisis comparativo de las variaciones temporales de las variables y de las relaciones entre ellas por medio de métodos estadísticos inferenciales utilizando t de Student y t pareada según fuera el caso, en tanto que las asociaciones entre variables se evaluaron por análisis bivariado, calculando los coeficientes de correlación paramétrica de regresión lineal, además de pruebas de ANOVA uni y bifactorial. Los análisis estadísticos se ejecutaron con el programa Sigma Plot 12.0 de Systat Software, Inc. y las diferencias se consideraron significativas solo cuando $p < 0.05$.

3. Resultados y la Discusión

3.1 FORSU y efluente.

Los resultados de la caracterización del sustrato por temporada y la comparación estadística entre ellas se resumen en la Tabla 12.

Tabla 12. Características fisicoquímicas del sustrato (FORSU) por temporada

Sustrato	ST	HT	pH**.	ORP**	CE**	SV	Lig	N **	PO ₄ ⁻³ BS	P _{BS}	K _{BS}	Mg BS	Ca BS
Promedio % ** y DS (N=5)													
T. Seca	28.9	71.1	4.55	47	17416.7	80.5	N/A	7.95	-	0.4	2.7	0.45	2.3
	±3.5	±3.5	±0.05	±1.73	±920.7	±0.1	N/A	±0.002	-	-	-	-	-
T. Lluvia	25.0	75.0	4.60	164.6	3716.7	70.1	19.23	5.78	0.21	0.3	1.7	0.4	1.9
	±3.1	±3.1	±0.01	±7.57	±16.1	±2.7	±0.7	±0.001	0.0	-	-	-	-
T-Stnt	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05	N/A	P<0.05	N/A	N/A	N/A	NA	N/A

N**: gN/kg gramos de nitrógeno por kg de muestra secada a 70°C por 24hr. PO₄⁻³, P, K, Mg y Ca están expresados en Base seca. Los valores mostrados son el promedio de mínimo 3 datos obtenidos. N/A; No Aplica, no se había montado la prueba o no se contaba aun con el equipo necesario. Lig: Lignina%/SV.

** CE promedio en mS/cm., ORP promedio en mv, Ng/kg, promedio de gramos de nitrógeno por kg de muestra seca.

A raíz de estos resultados se logró identificar diferencias significativas entre temporadas respecto a la composición fisicoquímica de la FORSU. Por tal razón, se optó por mezclar la FORSU muestreada en ambas temporadas para alimentar los digestores secos. Cabe mencionar que frente a lo reportado por otras fuentes bibliográficas, destaca que la FORSU de la CDMX tiene menos NTK [10]. Eso probablemente se deba a que hay poco residuo de proteína animal en la PCBP, lo que concuerda con lo encontrado en trabajos previos de caracterización de la FORSU [11].

3.2 Inoculante tratado para digestores secos

En la Tabla 2 se resume la información de la caracterización al día 0 y al día 30 de estar en condiciones anóxicas a 55°C y sin agitación, del inóculo usado para los digestores secos.

Tabla 2. Caracterización al día 0 y 30 del inóculo tratado.

Parámetro	Día 0	Día 30	T-Pareada
	Media N=5 y DS.		
HT%	84.73 ±5.04	91.2 ±0.71	Si P<0.05
ST%	15.27 ±5.04	8.8 ±0.71	Si P<0.05
pH	7.50 ±0.17	8.08 ±0.03	Si P<0.05
ORP (mv)	-145.8 ±12	-413 ±14.73	Si P<0.05
CE (mS/cm)	30046 ±5134	38233 ±305	No P>0.05
SV% _{BS}	50.98 ±2.25	46.06 ±2.32	Si P<0.05
SV/kg(g) _{BH}	76.71 ±3.62	38.69 ±3.13	Si P<0.05
Lignina%/SV _{BS}	22.9 ±1.7	40.2 ±7.62	Si P<0.05
SVLL/kg(g) _{BH}	59.14 ±2.14	23.14 ±1.87	Si P<0.05
TKN _{BS} g/kg	35.2 ±16	47.1 ±2.8	Si P>0.05
NH ₄ ⁺ _{BS} g/kg	3.2 ±0.1	38.2 ±1.5	Si P<0.05
%NTK _{BS}	3.22 ±0.16	5.45 ±0.32	Si P<0.05
% PO ₄ ⁻³ _{BS}	0.15 ±0.03	0.14 ±0.02	No P>0.05
C Total g/kg _{BS}	295.7 ±22.5	253.34±27	No P>0.05
Relación C/N	1 a 8.5	1 a 5.3	Si P<0.05

3.3 Caracterización del digestato

Los resultados de la caracterización del digestato generado en digestores secos en viales de 125 ml y el resultante de la digestión seca de recipiente de 1,250 ml, se muestran en la Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente.

Tabla 3. Características físico-químicas de mezclas de inóculo y sustrato procesadas por digestión anaerobia seca en digestores de 125ml, del digestato resultante y del biogás.

Parámetro	Día 0	Día 30
HT%	79.67 ^a ±3.5	82.95 ^d ±1.4
ST%	20.33 ^a ±3.5	17.05 ^d ±1.4
pH	7.05 ^a ±0.1	8.38 ^c ±0.05
ORP (mv)	-205 ^a ±6.5	-406 ^c ±11.8
SV% _{BH}	13.27 ^b ±1.2	7.53 ^d ±0.1
Lignina%/SV _{BS}	14.72 ^a ±0.9	40.06 ^c ±7.6
SV/60g de mezcla (g)	7.96 ^a ±1.1	4.52 ^d ±0.4
SVLL/SV(g)	6.78 ^b ±0.9	2.69 ^c ±0.2
Biogás (ml)	N/A	1232.33 ^d ±253.8
Metano (ml)	N/A	725.88 ^c ±166.58
%CH ₄ en biogás	N/A	58.8 ^c ±2.4
NTK g/kg _{BH}	4.74* ±0.002	6.58 ^d ±0.34
%PO ₄ ⁻³ _{BS}	0.14* ±0.01	0.21 ^c ±0.01
%P total _{BS}	0.49* ±0.07	0.89 ±0.09
%K _{BS}	2.25*±0.46	3.18 ±0.39
%Mg _{BS}	0.59* ±0.057	0.91 ±0.1
%Ca _{BS}	3.04* ±0.401	5.5 ±1.0

^a: $p > 0.05$ No hay diferencia significativa entre grupos "Día 0" prueba de t-Student.

^b: $p < 0.05$ Existe diferencia significativa entre dos grupos "Día 0" prueba t-Student.

^c: $p > 0.05$ No hay diferencia significativa entre grupos "Día 30" prueba de t-Student.

^d: $p < 0.05$ Existe diferencia significativa entre dos grupos "Día 30" usando prueba t-Student

3.3.1 Lignina en el digestato

En la Figura 3 se ilustra la cantidad de SV/ST contenidos en el digestato y su composición de lignina de los tratamientos IS correspondientes a los digestores secos de 125ml y 1,250ml.

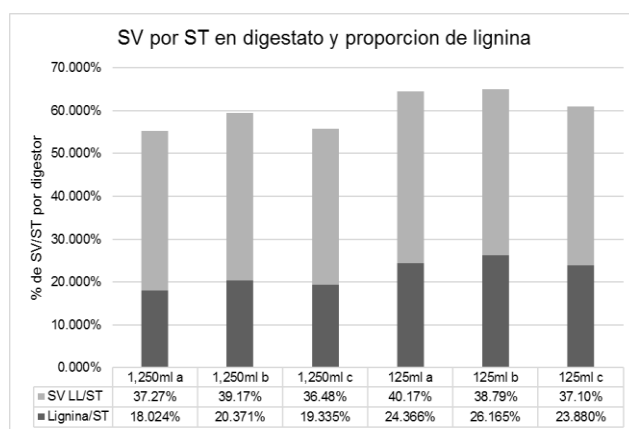


Figura 3. Cantidad de SV/ST y su composición de lignina en digestiones secas con FORSU e inóculo tratado

3.3.2 El digestato frente a bibliografía

Los resultados obtenidos las características fisicoquímicas del digestato proveniente de los digestores de 125ml y 1,250ml termófilos secos, en los que se digirió FORSU, son similares, en su mayoría, con los publicado por diferentes autores alrededor del mundo; pH, ST, SV, Lignina, NTK, Nitrógeno Amoniacal y el contenido de potasio [2], [10], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]. No así con el fósforo, fosfatos, calcio y magnesio, que difieren significativamente ($p < 0.05$) de lo reportado en la bibliografía. Es probable que el alto porcentaje de calcio se deba al proceso de preparación del inóculo que ocupó 6 g/kg en la FO. Por su parte, el bajo nivel de fósforo es probable que se deba a que, al igual que la proteína, la grasa animal es escasa en la composición de la FORSU que es en donde posiblemente podríamos encontrar mayor cantidad de fósforo en la materia orgánica [11].

Tabla 4. Características físico-químicas de la mezcla inóculo/sustrato 1:1w/w procesada por digestión seca, escalada a 1,250ml y del digestato resultante

Parámetro	Día 0	Día 30	T-Pareada
	Media N=5 y DS.		
HT%	80.53 ±2.07	91.2 ±1.17	Si P<0.05
ST%	19.47 ±2.07	8.8 ±1.17	Si P<0.05
pH	7.29 ±0.15	8.07 ±0.09	Si P<0.05
ORP (mv)	-255.33 ±25	-320.00 ±12.24	Si P<0.05
CE (mS/cm)	20975 ±15.28	28499 ±4327	No P>0.05
SV%	43.68 ±2.05	56.9 ±2.32	Si P<0.05
SV/600g (g)	61.11 ±11.92	27.53 ±4.19	Si P<0.05
Lignina%/SV _{BS}	16.06 ±2.86	33.8 ±1.08	Si P<0.05
SVLL/600(g)	71.21 ±6.25	18.22 ±3.31	Si P<0.05
TKN _{BH} g/kg	4.94 ±0.08	4.71 ±0.28	Si P>0.05
NH ₄ ⁺ _{BH} g/kg	0.44 ±0.02	3.34 ±0.15	Si P<0.05
%NTK _{BS}	2.5 ±0.81	5.3 ±5.2	Si P<0.05

%P. BS	0.43 ±0.01	0.79 ±0.03	Si P<0.05
% PO ₄ ⁻³ BS	0.19 ±0.02	0.15 ±0.03	No P>0.05
%K BS	0.74 ±0.01	3.5 ±0.12	SI P<0.05
%Mg BS	0.77 ±0.03	0.83 ±0.08	No P>0.05
%Ca BS	4.0 ±0.09	5.4 ±0.48	No P>0.05
Relación C/N	17.5	6.23	Si P<0.05

En la Figura 4 se muestra una gráfica comparativa de porcentajes de los componentes más importantes del digestato en el tema de nutrición vegetal frente a lo reportado en distintas fuentes de digestores secos y en la Tabla 5 se muestra la comparación estadística de los valores mencionados.

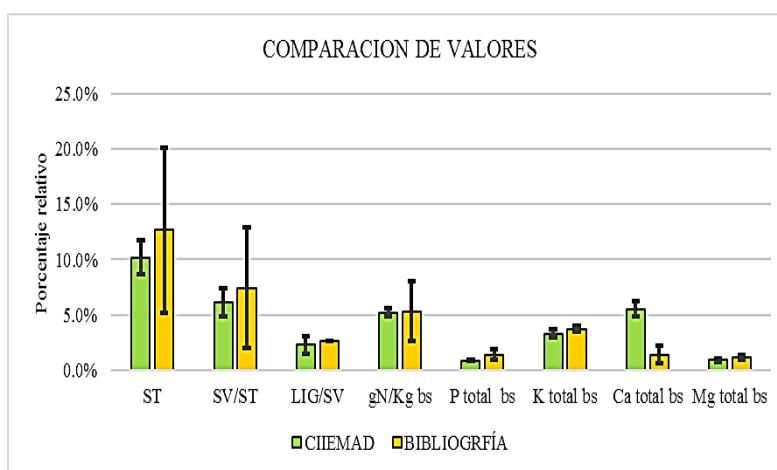


Figura 4. Gráfica comparativa de medias de las características del digestato generado en el CIEMAD y el reportado en la bibliografía.

Tabla 5. Comparación de la media de los parámetros físico-químicos reportados por varios países europeos contra los encontrados en el digestato de este trabajo.

Digestato	ST	HT	pH	SV	Lig/SV	NTK	P	K	Mg	Ca
*Europa	13%	87%	8.06	55%	N/A	4.59	1.37	3.38	0.91	1.4
CIEMAD	9%	91%	8.08	57%	161.61	4.71	0.79	3.19	0.75	4.88
T-Student	P<0.05	P<0.05	P>0.05	P>0.05	N/A	P>0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05	p<0.05

*N=12, [2], [10], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18].

3.3.3 Metales traza en el digestato y parámetros sanitarios de manejo.

En la Tabla 6, se muestran las cantidades de metales traza encontrados en la FO, inóculo, tratamiento IS al día 0 de los digestores de 1,250ml, digestato de IS en digestores secos de 125ml, digestato de IS en digestores secos de 1,250ml y composta, reportado en mg/kg base seca. Al final de la tabla se muestran los valores máximos permisibles de acuerdo a los límites máximos permisibles de metales pesados en

biosólidos, composta y mejoradores de suelo, especificados en la NOM-004-SEMARNAT-2002 y NADF-020-2011.

Tabla 6. Valores detectados de metales traza, comparados con los límites máximos permisibles de la NOM-004-SEMARNAT.2002 “excelentes mg/kg en base seca” y la NADF-020-AMBT-2011 calidad A

Muestra	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	Ti
	mg/kg BS								
FO ^{1**}	ND	ND	25.00	14.80	7.60	14.00	120.70	ND	284.45
Inóculo ^{2**}	ND	ND	46.90	24.95	13.60	26.00	178.10	ND	208.20
I/S día 0 ^{3**}	ND	ND	15.30	19.20	17.15	13.25	125.95	ND	329.15
I/S 125ml ^{4**}	ND	ND	16.30	52.80	28.00	9.45	381.70	ND	242.90
I/S 1,250ml ⁵	ND	ND	21.88 ±4.	53.13 ±7	19.90 ±6	13.97 ±3	223.60 ±30	ND	366.40 ±42
Composta ^{6**}	ND	ND	29.85	144.13	83.23	19.70	370.13	ND	470.35
NOM-004	41	39	1200.00	1500.00	300.00	420.00	2800.00	17.00	NA
NADF-020	0.1	0.7	70	70	45	25	200	0.4	NA

****Promedio de 2 valores.** ¹Fracción Orgánica. ²Inóculo aclimatado para digestión seca. ³Mezcla de inóculo y sustrato de recipientes de 1,250ml al día 0. ⁴Digestato de digestor de 125ml inoculado con inóculo tratado con Ca(OH)₂. ⁵Digestato de digestores de 1,250ml. ⁶Composta adquirida de la PCBP, 2 años de añejamiento. N/A: No aplica. N/D: No detectable.

En todos los casos los valores encontrados se ubicaron por debajo de los máximos permisibles en ambas normas, todos excepto el inóculo que fue ligeramente superior en níquel, 26mg/l contra 25mg/l que estipula la norma. Por otra parte, en ninguna de las placas sembradas con digestato hubo crecimiento que diera sospecha a una identificación bioquímica de *salmonella spp.* por lo cual se reporta como que NMP/g de *salmonella spp.* es menor de 3 en base seca.

En cuanto a coliformes fecales, en el digestato fresco los tubos con dilución de 1g/10ml y el tubo de 0.1g/10ml resultaron positivos por lo que el resultado fue de 5, 5, 0. Este resultado según la Tabla 6 del apéndice normativo H.8.4.6 de la NOM-210-SSA1-2014, para NMP, que corresponde a 6 NMP/g, valor por debajo del máximo requerido por a NOM-004-SEMARNAT-2003.

Finalmente, en ninguna de las muestras analizadas de digestato se encontraron huevos de helminto, por lo cual el resultado se reporta como < 1 huevo de helminto en 4 g de muestra en base seca. Estos resultados clasifican al digestato como un biosólido clase A según la NOM-004-SEMARNAT-2003.

3.4 Biogás por g SV de FORSU

Por cada gramo de SV consumido de FORSU, en promedio se generaron 736ml±176.3 de biogás con un coeficiente de variación del 23.9%. Resultado del promedio de lo generado en digestores de 125ml y digestores de 1,250ml en razón de ml de biogás por gr SV consumido.

4. Conclusiones

El digestato producido por la digestión anaerobia, termófila y seca, en digestores de una fase con capacidad de 125ml y de 1,250ml usando como sustrato la FORSU de la CDMX inoculada con ecurrimiento tratado de las pilas de composta madura de la PCBP, tiene la calidad suficiente para ser valorado como fertilizante dada la cantidad de N, P y K que este contiene, es bajo en metales tóxicos y sanitariamente seguro de manejar, estando dentro de los valores máximos permisibles de la NADF-020-AMBT-2011. Contiene otras características aprovechables en términos de nutrición de suelo como son los micro nutrientes Ca y Mg, la materia orgánica y cantidad de agua. Hay evidencias de que promueve la germinación y desarrollo de plántulas en suelo tratado con este.

Los digestores de 1,250 ml diseñados en este trabajo mostraron ser prácticos y resistentes, así mismo las adaptaciones hechas permitieron conocer la presión a la que puede llegar un digestor a escala laboratorio (80psig/1,250ml) y con ello tener un dato importante para estimar mejor la cantidad de biogás.

El digestato es el resultado del aprovechamiento de un residuo, que de ser usado para fertilizar campos de cultivo para consumo humano se cerraría un círculo de producción sustentable de alimentos. El uso de digestato puede ser una opción económicamente viable y una buena alternativa de nutrición vegetal que pertenece al esquema de cultivo orgánico de bajo impacto ambiental y debe de aprovecharse.

Referencias Bibliográficas

[1] BSI. (2014). PAS 110:2014 Specification for whole digestate, separated liquor and separated fibre derived from the anaerobic digestion of source-segregated biodegradable materials (2da ed.). Londres, Reino Unido: BSI Standards Limited.

[2] WRAP. (12 February 2010). Specification for whole digestate, separated liquor and separated fibre derived from the anaerobic digestion of source-segregated biodegradable materials. En PAS 110:2010(4 - 46).

[3] Kothari R., Pandey A.K., Kumar S., Tyagi V.V., Tyagi S.K. (2014). Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 174–195.

[4] Sadzawka R., A., M.A. Carrasco R., R. Grez Z. y M.L. Mora G. 2005. Métodos de análisis de compost. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas N° 30, Santiago, Chile, p. 142.

[5] Gállego Bravo, A. K. (2017). Caracterización microbiológica del lixiviado producido por la planta de Composta de Bordo Poniente (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

[6] Parajuli, P. (2011). Biogas measurement techniques and the associated errors. (Tesis de Maestría, Universidad de Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandia). Recuperado de: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/36767/URN:NBN:fi:jyu-2011100611506.pdf?sequence=1>. Consultado el 10/03/2016.

[7] Huldrych, E. (2008). Buchi Kjeldahl Guide [Kjeldahl Guide Buchi 2008] (1st Ed.). Recuperado de: <http://www.buchi.com/en/products/kjeldahl-dumas/distillation-unit-k-350-k-355>. Consultado el 06/07/16.

[8] HACH. (2014, January). Phosphorus, Total, Molybdovanadate TNT Method (100.0 mg/L). Hach Company/Hach Lange GmbH, (9), p 1-8. Recuperado de www.hach.com. Consultado el 09/03/16

[9] TAPPI-Professional organization dedicated to the pulp and paper industries. (2006). Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood. T 222 om-02, 2-14.

[10] Drosig B., Fuchs W, Al Seadi T., Madsen M., Linke B. (2015). Solid–liquid separation –the first step in digestate processing. In *Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing* (1st ed., pp. 18 - 19). UK: IEA Bioenergy.

[11] Tovar Gálvez, L., & Gutiérrez, M. (2014). Evaluación del programa de separación 2011 - 2014. In *Estudio de factibilidad para producir energía verde mediante digestión anaerobia al procesar aproximadamente 3,000 ton/día de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos generados en el Distrito Federal. Comparación de tecnologías* (1st ed., pp. 102-104). Ciudad de México: IPN.

- [12] Banks, C. J., Heaven, S., & Zhang, Y. (2013). Review of the application of the Residual Biogas Potential test. WRAP, (110), 18-21. Recuperado de: www.wrap.org.uk Consultado 12/03/16.
- [13] Bhogal, A., Taylor, M., & Nicholson, F. (2016). DC-Agri; field experiments for quality digestate and compost in agriculture. WRAP, 1, 10 - 11. Recuperado de: www.wrap.org.uk. Consultado el 12/02/2016.
- [14] CEMAGREF - Centre National du Machinisme Agricole. (2011, May 5). Digestates: Quality and Use [PDF]. Obtenido de https://www.allacronyms.com/Cemagref/Centre_National_du_Machinisme_Agricole#ixzz4fmCb7729. Consultado el 15/03/2016.
- [15] Forster-Carneiro, T., Pérez, M., Romero, L., & Sales, D. (2007). Dry-thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of the municipal solid waste: Focusing on the inoculum sources. *Bioresource Technology*, 98(17), 3195-3203.
- [16] Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12(3), p242-257.
- [17] Monlau, F., Sambusiti, C., Ficara, E., Aboulkas, A., Barakat, A., & Carrère, H. (2015). New opportunities for agricultural digestate valorization: current situation and perspectives. *Energy Environ. Sci*, 8(9), 2600-2621.
- [18] Sheets, J. P., Yang, L., Ge, X., Wang, Z., & Li, Y. (2015). Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. *Waste Management*, 44, 94-115.

Programa de manejo integral de residuos “Basura Cero” en el campus Morelos UNAM

¹Nancy Merary Jiménez Martínez

¹ UNAM. Programa de Becas Posdoctorales en la UNA; Becaria en el Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Av. Universidad s/n Circuito 2, CP 62210, Col. Chamilpa, Ciudad Universitaria de la UAEM, Cuernavaca Morelos. njimenez@correo.crim.unam.mx

Resumen

En este artículo se documentan los resultados del Programa de Manejo Integral de Residuos con Enfoque Basura Cero llevado a cabo en el Campus Morelos de la UNAM desde 2015. El cual es una estrategia de gestión medioambiental universitaria que más allá de lograr una transformación en la forma en que se manejan los residuos sólidos dentro del campus, se ha convertido en un motor de la sustentabilidad universitaria. Los resultados muestran que en el año 2017, gracias al programa “Basura Cero” en el Campus Morelos se compostaron el 90% de los residuos orgánicos alimenticios, el 100% de los residuos orgánicos de jardinería y se recuperaron más de ocho toneladas de residuos sólidos urbanos reciclables. Este esfuerzo nos revela que el manejo integral los residuos sólidos es un primer paso para transformar al campus universitario en un territorio de sustentabilidad. Los resultados son promisorios y nos indican que los campi universitarios de todo el país son el espacio por antonomasia no sólo para la implementación de la política de los residuos sino para la transición hacia la sustentabilidad.

Palabras Clave: *Caracterización de residuos, gestión integral de residuos, sustentabilidad universitaria,*

1. Introducción

A finales del 2003 se publicó en México la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), el instrumento de acción pública más importante para gobernar el sector de los residuos en el país. Se trata de una ley reglamentaria que formula una clasificación básica para los residuos y determina la responsabilidad tanto de consumidores como de autoridades en cada nivel de gobierno en la regulación de los mismos y fomenta la implementación del modelo de gestión integral, el cual define como el conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región [1].

Si bien es cierto que la LGPGIR representa un instrumento que fortalece en términos jurídicos y administrativos al sector de los residuos, porque propone diseñar y ejecutar planes para la gestión de residuos enfocados en prevenir la generación y desarrollar programas de gestión ambientalmente racionales [1], ésta no ha sido suficiente para incentivar y desarrollar las capacidades de gestión de los estados, los municipios ni de los diferentes actores involucrados en su implementación.

Por ejemplo, a partir de lo dispuesto en dicha ley, los generadores de residuos están obligados a minimizar su generación, a valorizar sus residuos y a manejarlos de manera integral. Lo que conlleva a la necesidad de realizar estudios de caracterización y composición, para diseñar estrategias acordes a la gestión integral de los mismos. Sin embargo, sólo 4.7% de los municipios que prestan servicios de recolección en el país han realizado estudios de generación [2] y apenas 5.5% contaban con estudios de composición [3]. Lo que revela la falta de capacidades para realizar dichos estudios y programas, además de un atraso en la implementación de la ley.

Las instituciones de educación superior no escapan a dicha situación.

1.1. Programas de manejo integral de residuos en universidades mexicanas

Si bien es cierto que el diseño de sistemas de manejo en las universidades comenzó hace más de 20 años en los países desarrollados [4], los esfuerzos de las universidades mexicanas en este rubro son incipientes.

El sistema de educación superior en México es grande, complejo y heterogéneo, por la diversidad de sus elementos, el número y tamaño de sus instituciones, así como las características, el perfil y distribución de sus profesores. Actualmente se conforma por cerca de 1890 instituciones de educación superior [5]; sin embargo, a pesar de lo numeroso y diverso del sistema, son escasos los programas de manejo de residuos que en éste se han documentado. Entre ellas, destacan las siguientes.

El Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey comenzó un programa de residuos en 1992 y desde entonces un número importante de aluminio y papel ha sido reciclado [6]. Adicionalmente, dicha institución ha generado una serie de indicadores de Ecoeficiencia en las operaciones del campus Monterrey que monitorean tendencias y cantidades en el uso de agua y energía así como el papel, cartón, aluminio, PET y plástico reciclados [7].

La Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (UAM-A), antes de la publicación de la LGPGIR, diseñó un programa para el manejo integral de los residuos sólidos generados en el campus: Separación, por un mejor UAMbiente [8]. El cual no sólo ha perdurado sino que se ha expandido hacia otras sedes de la UAM.

La Universidad Autónoma de Baja California, en enero de 2001, desarrolló un programa para la gestión de los residuos sólidos universitarios con el objetivo de educar a la comunidad universitaria para entender los beneficios sociales, al medio ambiente, social y para la salud que se obtienen con la gestión sostenible de los residuos sólidos [4].

En la Universidad de Yucatán se propuso un programa similar al de la UAM-A para el manejo integral de residuos sólidos [6]. Mientras que en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Mérida, a partir de su estudio de caracterización, presentó la composición de los residuos del CINVESTAV y dio origen a un programa de segregación de residuos en 2003 con el que se disminuyó en un 67% la cantidad de residuos enviados al vertedero [9].

En este sentido, la revisión demuestra que hay una falta de estudios que caracterice las iniciativas llevadas a cabo en instituciones mexicanas de educación superior, por lo que resulta necesario documentarlos, no sólo para incentivar el surgimiento y proliferación de dichos programas en tales instituciones, sino porque su contribución para cerrar la brecha en la implementación de la política de los residuos en México es incommensurable.

El objetivo de este artículo es documentar los resultados Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos con enfoque Basura Cero del Campus Morelos de la UNAM y de este modo, al presentar la cantidad, calidad y potencial de reciclaje del campus, contribuir a atender dicha necesidad de investigación.

2. Metodología

El estudio se realizó en el Campus Morelos de la UNAM ubicado en la ciudad de Cuernavaca, Morelos. El Campus se integra por seis entidades académicas: Instituto de Ciencias Físicas (ICF); Instituto de Biotecnología (IBt); Centro de Ciencias Genómicas (CCG); Instituto de Energías Renovables (IER); Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM); Unidad Cuernavaca del Instituto de Matemáticas

(UCIM) y una dependencia administrativa, la Coordinación de Servicios Administrativos del Campus (cuyos datos son incluidos en el CCG). De todas las entidades del campus, sólo el Instituto de Ciencias Físicas (ICF) no participa en el Programa Basura Cero. El presente reporte corresponde a las entidades que se ubican en el “campus norte” y que excluye los datos referidos al IER, el cual se localiza en el municipio de Temixco.

Actualmente el campus Morelos tiene una población aproximada de 2000 personas, la comunidad se conforma principalmente por estudiantes y académicos (investigadores de tiempo completo y técnicos de apoyo a la investigación). Debido a sus características poblacionales (tamaño y composición), los centros de investigación de vanguardia que lo conforman y su localización geográfica, el campus Morelos es un espacio idóneo para implementar las más exigentes medidas de sustentabilidad universitaria.

La información proporcionada en la presente comunicación corresponde a las actividades llevadas a cabo por el Programa Basura Cero durante el año 2017. Los datos presentados provienen de un instrumento de recolección de información diseñado por el equipo central del programa -un grupo de alta dirección y planeación a nivel campus conformado por trabajadores académicos y administrativos- y recopilado por “Nosotros reciclamos”, una asociación civil que realiza el pesaje de los diferentes tipos de residuos que se separan y se acopian en el campus, antes de enviarlos a cadenas de reciclaje. De modo que se trata de información actualizada y sistemáticamente recopilada.

Una primera etapa del Programa, la Fase 0, consistió en la elaboración de un estudio de caracterización de los residuos del campus realizado en 2015, a dicho estudio se hace referencia cuando se contrastan las cifras de generación y recuperación de residuos.

2.1. Descripción del Programa Basura Cero

El Programa de manejo integral de residuos con enfoque Basura Cero es una estrategia de gestión medioambiental universitaria cuyo propósito ha sido reducir el impacto de la disposición de residuos sólidos que genera el campus Morelos; ser ejemplo de compromiso con el ambiente; dignificar y modernizar el sistema de gestión de residuos del campus y recuperar subproductos de los residuos para incorporarlos a cadenas de reciclaje.

Para tal efecto "Basura Cero" implementa la gestión integral de residuos a través de cuatro procesos:

1. Separación de residuos en la fuente

Para garantizar que el usuario realice la separación de residuos en la fuente se retiraron los botes de basura de salones de clase, oficinas, cubículos, laboratorios y auditorios. En su lugar se colocaron islas de separación internas, externas, y botes de pasillo, que son dispositivos que permiten diferenciar, mediante contenedores de distintos colores, cinco categorías de residuos: orgánicos alimenticios en el bote verde; botellas de plástico en el bote azul; papel y cartón en el bote café; latas, vidrio y tetra pack en el bote amarillo, y otros residuos, en el bote gris.

Una distinción importante del programa es la diferenciación entre residuos institucionales y personales. Los primeros son residuos que se generan por la actividad de trabajo en el campus: investigación y docencia, el manejo de éstos se realiza a partir de la colocación en determinadas áreas de contenedores especiales para dichos residuos, los cuales son recolectados por los trabajadores del campus. Los residuos personales son generados de acuerdo a los hábitos de consumo del usuario por lo que su manejo es responsabilidad del generador, por lo que él tiene que llevarlo a las islas de separación.

Adicionalmente se colocaron otros tipos de contenedores para algunos residuos específicos como las pilas y baterías, residuos eléctricos y electrónicos y en los sanitarios, un contenedor para los residuos higiénicos femeninos.

2. Recolección selectiva

Este proceso se refiere a la actividad de recolección que conserva la distinción entre residuos reciclables valorizables, residuos alimenticios y otros residuos producto de la separación realizada por el usuario en las islas de separación. Este proceso se realiza por los propios trabajadores del Campus.

3. Acopio

Esta actividad se lleva a cabo en los centros de acopio temporal construidos en cada una de las entidades académicas. En dichos sitios se depositan de forma ordenada y de manera temporal los residuos sólidos que fueron separados en la fuente por los usuarios y recolectados selectivamente por los trabajadores en las etapas anteriores. Cabe destacar que algunas entidades reciben en su centro de acopio residuos sólidos de origen domiciliario traídos por los usuarios, tal es el caso de la UCIM y del CRIM.

4. Disposición final

Esta etapa desemboca en tres vertientes. Primero, los subproductos valorizables de los residuos sólidos separados se envían a cadenas a reciclaje a través de la colaboración con la Asociación Civil "Nosotros Reciclamos", quienes realizan la transferencia de dichos subproductos a empresas recicladoras locales y regionales. En segundo lugar, se cuenta con una disposición final específica para los residuos orgánicos del campus; los residuos alimenticios del bote verde son tratados en un proceso de compostaje dentro de los centros de acopio, ahí se utilizan composteros rotatorios que permiten la reducción en el tiempo del compostaje mediante una transformación aeróbica y una buena homogeneización del residuo. La composta resultante es utilizada en las áreas verdes del campus. Por otro lado, los residuos de jardinería producto de la poda de árboles y desrames mayores se envían a la Planta Universitaria de Compostaje (PUC) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), con quien se estableció un convenio de colaboración, en dicho lugar los residuos orgánicos son triturados para elaborar la composta municipal. Finalmente, los residuos no valorizables se envían a un sitio de disposición final en el municipio de Cuautla, uno de los rellenos sanitarios con que cuenta el estado de Morelos.

3. Resultados y discusión

Los resultados de la implementación del programa Basura Cero han sido promisorios. Los resultados más sobresalientes se ubican en el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos. Se calcula que durante el 2017 el 90% de los residuos alimenticios y el 100% de los residuos de jardinería del campus fueron compostados, los primeros dentro de los centros de acopio de las entidades y los segundos en la PUC de la UAEM, gracias al convenio de colaboración. Por otro lado, la recuperación de subproductos en ese año ascendió a poco más de ocho toneladas, de las cuales el 37% se acopiaron en el IBt, 26% en el CRIM, 23% en la UCIM y 15% en el CCG.

Evidentemente hay una diferenciación de la cantidad de reciclables recuperados según la entidad académica que corresponda. El IBT es la entidad en donde más residuos se recuperaron (2962 kg) debido a que es la entidad con mayor población y donde más residuos se generan. Cuando se analizan estos datos, sobresalen el CRIM y la UCIM, que son las entidades con poblaciones más pequeñas y que de manera conjunta recuperan el 49% de los subproductos del campus. Véase Figura 1.

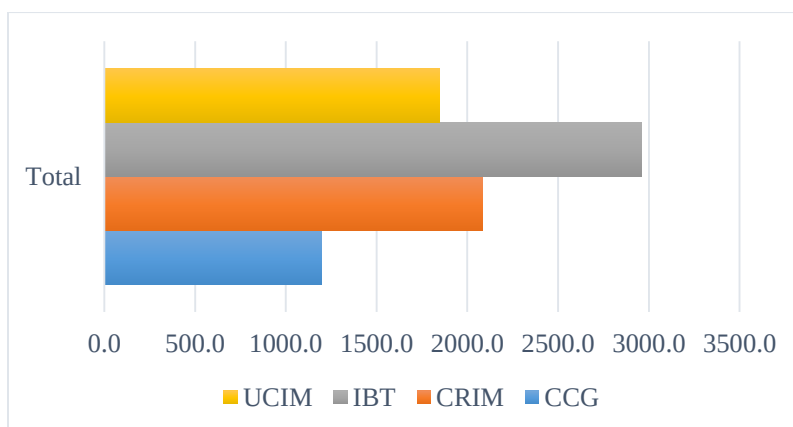


Figura. 1. Recuperación de residuos por entidad académica (kg)

Por otra parte, la composición de los residuos sólidos manejados por el programa, revelan la importancia de la implementación del mismo, ya que la potencialidad de reciclaje de los subproductos es alta (Figura 2).

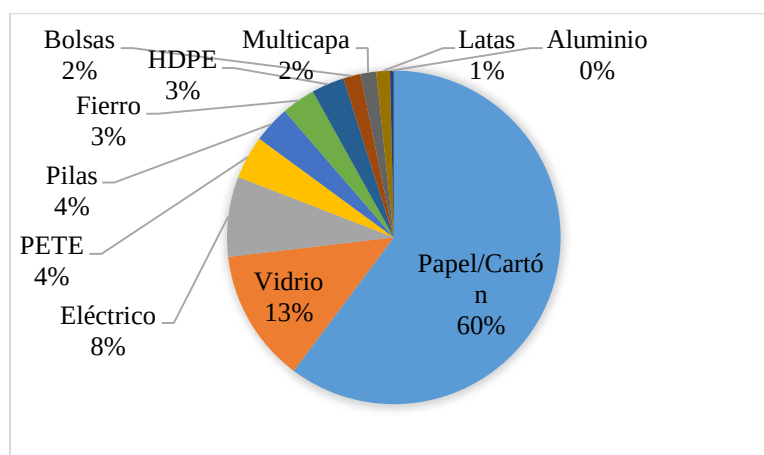


Figura. 2. Composición de residuos recuperados en el Campus Morelos, 2017.

Actualmente, el 100% de los subproductos que se recuperan en los centros de acopio son enviados a cadenas de reciclaje locales y regionales, sin embargo, esto no siempre fue así, ya que la posibilidad de aprovechar dichos subproductos está condicionada a la existencia de mercados, de tecnologías y de infraestructuras que escapen a las capacidades y recursos del campus universitario y del propio programa de manejo. En este sentido, la colaboración con la asociación civil “Nosotros reciclamos” ha sido fundamental para establecer este tipo de vinculaciones.

Asimismo, contar con esta información permite establecer medidas para transitar hacia el enfoque Basura Cero, que implica ir disminuyendo la cantidad de residuos que se generan en el campus. Como puede observarse hay áreas de oportunidad claras para todas las corrientes de residuos, por su importancia conviene atender de manera inmediata la generación de papel y cartón.

Por otro lado, vale la pena enfatizar las diferencias en la composición de los residuos recuperados en cada entidad académica. Por ejemplo, las dos entidades más grandes, el IBT y el CCG, aunque tienen características que los hacen parecidos (grandes poblaciones con importantes proporciones estudiantiles, cuentan con canchas y laboratorios) muestran diferencias significativas en su composición de residuos. Véanse las Figuras 3 y 4.

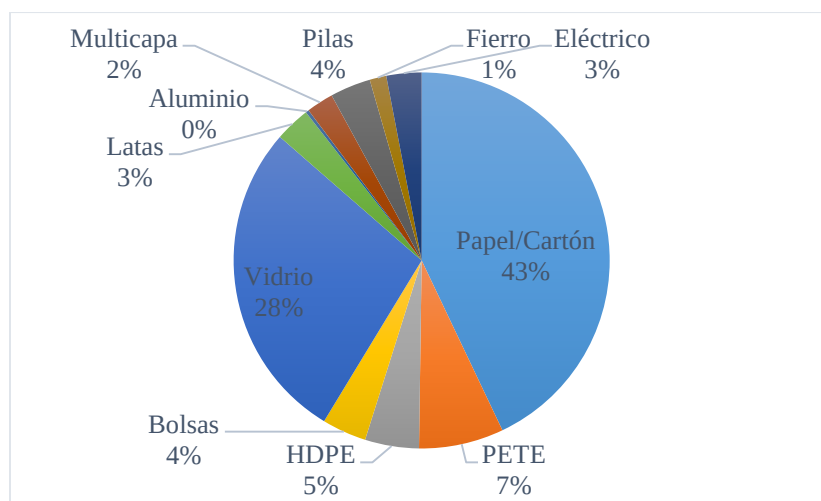


Figura. 3. Composición de residuos recuperados en CCG, 2017.

Como se puede observar en la gráfica anterior, el principal residuo que se separa y recupera en el CCG corresponde a la categoría de papel y cartón; es decir, más del 40% del peso de los residuos recuperados en dicha entidad corresponde a este subproducto. En segundo lugar se encuentra el vidrio, el cual representa el 28% de los residuos separados y recuperados.

Sobresalen entre los residuos recuperados por esta entidad el vidrio, las bolsas y las latas. Estos residuos representan porcentajes importantes de la separación y recuperación total del campus. Por ejemplo, la cantidad de bolsas (45.7 kg) y latas (36.3 kg) representan cada una el 34% de lo recuperado en el campus para estas categoría, mientras que el vidrio (331.5 kg) corresponde al 32% de la recuperación total.

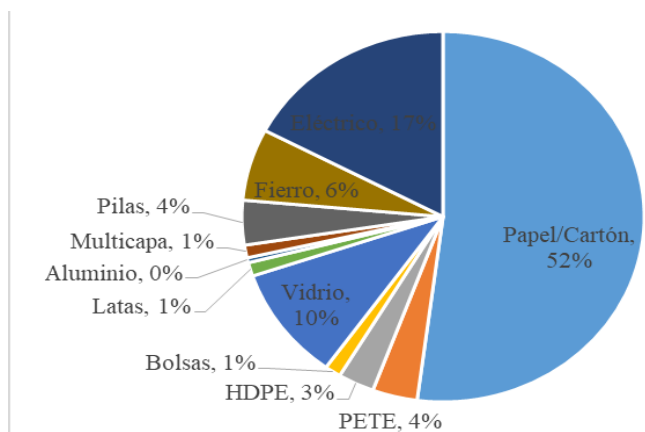


Figura. 4. Composición de residuos recuperados en IBt, 2017.

Si bien es cierto que en el IBt, al igual que en el CCG, el principal residuo que se recupera es el papel y el cartón, el segundo residuo en importancia corresponde a residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Estos últimos representan el 82% de la recuperación total de estos residuos en el campus, seguido del fierro que representa el 70% de lo acopiado globalmente. Estas cifras reflejan la importancia de adecuar las estrategias al programa a cada una de las entidades, como ha sido la modificación del centro de acopio del IBt donde se destina un espacio para el acopio de estos materiales que son abundantes y voluminosos.

Por otra parte, las entidades más pequeñas, que también comparten rasgos que las hacen parecidas, también muestran diferencias significativas en su composición de residuos.

La figura 5 muestra que el principal residuo que se separa y recupera en la UCIM corresponde a la categoría de papel y cartón. En segundo lugar se encuentra el vidrio, el cual representa el 21% de los residuos separados y recuperados. Sobresalen entre los residuos recuperados en la UCIM, los envases multicapa y las pilas. Estos últimos residuos representan porcentajes importantes de la separación y recuperación de todo el campus. Por ejemplo, la cantidad de envases multicapa de la UCIM (55.3 kg) corresponde al 45% de lo acopiado en todo el Campus, las pilas (115.5 kg) el 40% y el vidrio (388.6 kg) el 37%.

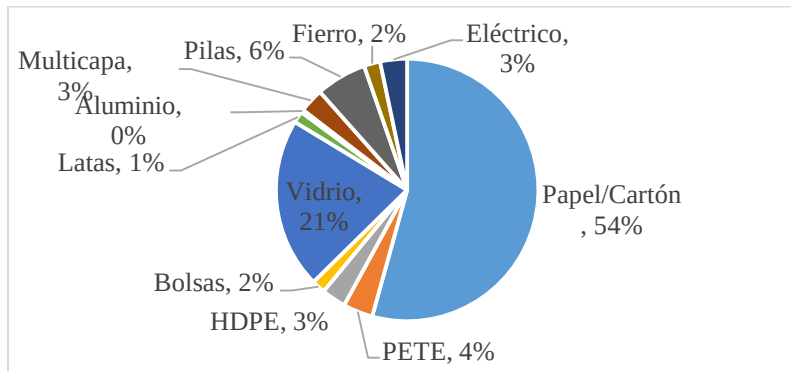


Figura. 5. Composición de residuos recuperados en UCIM, 2017.

En tanto que en el CRIM, entidad dedicada a la investigación en ciencias sociales, la composición de residuos se encuentra altamente concentrada en la corriente de papel y cartón, lo que representa el 87% del total recuperado en dicha entidad. (Figura 6)

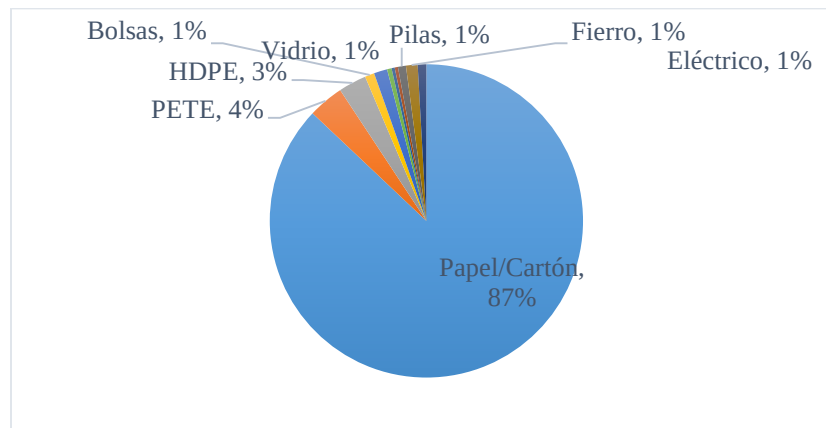


Figura. 6. Composición de residuos recuperados en CRIM, 2017.

Las diferencias en la composición de los residuos de las diferentes entidades apuntala lo encontrado en otros trabajos de caracterización, la generación de los mismos está en función de las características de las poblaciones que los originan.

Como se hizo referencia anteriormente, la fase 0 del programa consistió en la elaboración de estudios de generación de residuos en el campus. Después de dos años de implementación del programa es posible confrontar los resultados de dicho estudio, realizado en 2015, con los porcentajes de residuos que se recuperan gracias al programa.

A continuación se muestra una tabla resumen que informa sobre la tasa de recuperación de reciclables en relación a la generación estimada. Es decir, contrasta las cantidades de residuos que fueron recuperadas en 2017 con los resultados obtenidos en el estudio de generación realizado en 2015.

El cálculo se realiza de la siguiente manera, se multiplica la generación semanal estimada en 2015 por las 43 ocasiones en que “Nosotros reciclamos” hizo la recolección semanal de reciclables en el campus, así se obtiene una generación anual estimada actualizada.

Generación actualizada= Gen. Sem. Estimada en 2015 * Recolecciones “NC” en 2017

Al contrastar la generación actualizada con la cantidad de residuos recuperados por cada entidad en el mismo periodo se calcula la tasa de recuperación de cada entidad.

Tabla 1. Tasa de recuperación según entidad académica 2017

Entidad	[A] Generación semanal estimada 2015 (kg)	[B] No. semanas de recolección 2017	[C] Generación actualizada 2017 [A*B]	[D] Recuperación Programa B0	Tasa de recuperación [D/C]
CRIM	88.24	42	3706.33	2086.08	56%
UCIM	33.71	43	1449.74	1848.08	127%
CCG	231.75	43	9965.25	1196.055	12%
IBT	591.45	43	25432.56	2961.43	11.6%

Destaca el caso de la UCIM, la entidad más pequeña del campus, cuya tasa de recuperación es superior a la generación estimada en 2015. Dos hipótesis pueden plantearse, por una parte, que en dicha entidad académica se está llevando a cabo una buena separación de los residuos en los dispositivos para ello establecidos por el Programa Basura Cero, y por otra, que la recuperación de reciclables -superior a la propia generación estimada de residuos- se ve apuntalada por la amplia utilización del centro de acopio, ya que la comunidad de la UCIM lleva ahí sus residuos domiciliarios, maximizando así su uso.

También vale la pena detenerse en la información que arroja esta tabla sobre las entidades más grandes del campus, el IBT y el CCG, que por su complejidad muestran un rezago significativo en los resultados del programa. Esto podría indicar que en dichas entidades académicas se está implementando parcialmente el Programa, es decir, sí se están utilizando los dispositivos de separación de residuos instalados, aunque no de manera óptima, por lo que los residuos no son correctamente depositados en las islas de separación, de tal suerte que no es posible aprovechar dichos residuos.

4. Conclusiones

Un campus universitario puede ser considerado un complejo ámbito de gestión, por sus niveles de consumo de energía, agua, papel y otros recursos, así como por la cantidad de residuos que genera.

En este sentido, el programa Basura Cero demuestra el compromiso del Campus Morelos por aceptar su responsabilidad institucional, al ser un esfuerzo por aplicar medidas técnicas y organizacionales por disminuir los impactos de sus instalaciones y operaciones cotidianas con el medio ambiente.

Por las colaboraciones y sinergias que el programa ha desarrollado (Diplomado en Gestión Medioambiental, colaboraciones con Planta Universitaria de Compostaje y Nosotros Reciclamos A.C) afirmamos que esta experiencia ha fortalecido la extensión académica y la vinculación comunitaria, más allá de la consecución de un objetivo de gestión medioambiental al interior del campus universitario.

El Programa “Basura Cero” también ha sido un motor de la sustentabilidad en el campus. Al requerir una importante participación continua de todos los miembros del campus, su implementación ha propiciado el surgimiento de nuevas estrategias de sustentabilidad universitaria en otros rubros, como son agua, energía,

materiales, etc. En consecuencia, tres de las siete entidades del campus Morelos recibieron en 2017 el Distintivo Oro a la sustentabilidad otorgado por el EcoPuma de la UNAM (cabe señalar que son las únicas entidades universitarias en todo el país que han alcanzado las calificaciones necesarias para ello).

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de residuos. Diario Oficial de la Federación, México.
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015.) Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Módulo 6. Residuos Sólidos Urbanos.
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013.) Residuos Sólidos Urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2013. Tabulados básicos preliminares.
- [4] Armijo de Vega, C. Ojeda-Benitez, S. Ramírez-Barreto, M.E. (2003) “Mexican educational institutions and waste management programmes: a University case study”. *Resources, Conservation and Recycling* No. 39, Pp. 283-/296.
- [5] Secretaría de Educación Pública (2006) OECD Thematic Review of Tertiary Education Country Background Report for Mexico, México. Disponible en <http://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/37746065.pdf>
- [6] Tecnológico de Monterrey, (2007) Sustentable Campus. Campus Operations. Wastes and Recycling. Disponible en <http://campus-sostenible.mty.itesm.mx/ingles/operacion/residuos.html>
- [7]Lozano, F. Huisinigh, D. Delgado, M. (2006) “An Integrated, Interconnected, Multi-disciplinary Approach for Fostering Sustainable Development at the Monterrey Institute of Technology, Monterrey Campus”. Holmberg, J. y Samuelsson, B. (Editores) *Drivers and Barriers for Implementing Sustainable Development in Higher Education*, UNESCO, Education for Sustainable Development in Action, Technical Paper No. 3, Pp. 37-47.
- [8] Espinosa, RM. Turpin, S. Polanco, G. De la Torre, A. Delfín, I. Raygoza, I. (2008) “Integral urban solid waste management program in a Mexican university”. *Waste Management* 28, Pp S27–S32.
- [9] Maldonado, L. (2006) “Reduction and recycling of urban waste at higher education institutions: a case study”. *Revista Ingeniería* No. 10 (1), Pp. 59–68.

SECCION 2

GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

De basura a residuos sólidos urbanos, su representación social desde el espacio residencial

¹Jesús Salvador Bautista Magallón

¹Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, Avenida San Pablo Xalpa, 180, Colonia Reynosa Tamaulipas, 02200, Ciudad de México. Teléfono: 53825822. Correo electrónico: jsbautista.magallon@gmail.com

Resumen

La investigación en curso analiza el proceso de cambio del concepto de basura a residuos sólidos en tres espacios residenciales diferenciados donde se implementa el programa de separación de basura en la Ciudad de México. El análisis, desde las representaciones sociales, parte de que aspectos poblacionales, así como el espacio residencial, son determinantes en la construcción de representaciones e influyen en las prácticas asociadas a tirar la basura o separar residuos. Se espera, como resultado, entender cómo definen la basura y los residuos sólidos la población, la influencia del programa de separación en las representaciones y el papel de factores territoriales y sociodemográficos en ellas.

Palabras clave: *Basura, espacio residencial, programas de gestión integral, representaciones sociales, residuos sólidos urbanos.*

1. Introducción

1.1 ¿Basura o residuos sólidos urbanos?

Ambos conceptos, tan relacionados y tan lejanos al mismo tiempo, involucran una discusión que desde el punto de vista de los gestores y expertos del manejo de lo que se descarta, por diversas razones, debería estar zanjada hace tiempo, todos esos “materiales, productos y subproductos que se descarten o desechen y que sean susceptibles de ser aprovechados o requieran sujetarse a métodos de tratamiento o disposición final” [1] deben reconocerse como residuos sólidos. Sin embargo, para buena parte de las personas eso sigue llamándose basura (baste sólo decir que se espera que pase “el camión de la basura” o se dice “tira o saca la basura”, aun cuando esos hayan sido separados). Los medios de comunicación usan ambos términos indistintamente, periódicos, programas televisivos o en la radio, pasan de un concepto a otro sin problema alguno. Incluso, para un grupo particular como lo es el de los llamados pepenadores, involucra algo de ambas ideas, revisan la basura para rescatar materiales que son utilizables o comercializables.

Detrás de esas acciones hay maneras de operación o esquemas de actuación de los individuos para vincularse de diferentes formas con los objetos, el espacio y el tiempo para transformarlos de acuerdo a sus intereses [2], esas formas de operación o artes de hacer [3], son conocidas como prácticas sociales. Todas ellas conllevan marcos estructurales que de una u otra manera permean esas formas de relacionarse con los objetos, el espacio y el tiempo. No quiere decir, tal como Bourdieu señala, que determinen tajantemente la acción; hay un espacio donde el individuo tiene absoluta libertad e interactúa con esos marcos referenciales. Es decir, sujeto y objeto, de una manera u otra se relacionan, teniendo esa relación un margen de libertad pero a su vez acotada por ciertos marcos que moldean (si se permite la palabra) el vínculo que el sujeto establece con el objeto.

Entonces, bajo este razonamiento, tirar la basura o separar los residuos involucra, por un lado, una forma de hacer las cosas (una práctica) y por otro un marco estructural que se ve formado por diversos elementos que determinan esa forma de operar (familia, religión, sexo, condición social, lugar de residencia o de trabajo,

educación, por mencionar algunos). Ahora bien, esos marcos y maneras de actuar no son estáticos (unos cambian de lugar de residencia, se accede a mejores niveles educativos, se envejece), cambian en el tiempo, transformando así también las concepciones y las acciones que se realizan frente a las diversas circunstancias que la vida va imponiendo.

Así pues, las prácticas de las personas de tirar la basura o separar residuos sólidos, y en su caso, la definición propia de cada uno de esos conceptos, están determinadas por esos marcos estructurales que congregan y circulan información sobre la basura, los residuos sólidos urbanos y cómo se debe actuar ante y con ellos en el espacio y el tiempo.

1.2 La política pública de gestión de residuos sólidos

Desde la esfera de la gestión pública, para intervenir en la problemática del continuo aumento del volumen y la composición de la basura, se ha ido desarrollando desde hace ya varios años la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, que nace primero del manejo propio de la basura y posteriormente se le van incorporando diversas operaciones donde aspectos económicos, institucionales, políticos y tecnológicos se combinan para ofrecer mejores respuestas ante el problema que plantea la generación de residuos urbanos y su disposición .

Uno de los puntos críticos señalados en los diversos diagnósticos hechos para el sector es el de modificar la idea de basura por la de residuos sólidos, es decir, cambiar, a través de una práctica, una concepción para así poder manejar y gestionar mejor el problema de la basura. Para ello se han instrumentado los programas de separación de residuos y programas de educación para intentar cambiar la actitud, acción y respuesta ante la basura. Este aspecto es muy complejo, pues no sólo se trata de saber qué hacer con lo que queda de las actividades diversas en las que se generan desechos. Involucra también entender que diferentes ámbitos del que-hacer humano están involucrados previamente al acto de descartar un objeto. Formas de producción, de consumo y de acceso a los distintos satisfactores de la vida diaria están de por medio. De cualquier manera, los programas de separación y de educación ambiental (centrados en la basura) se enfocan principalmente en la manera de distinguir entre materiales susceptibles de ser reintegrados a las cadenas productivas y a campañas de concientización.

Existen algunas evaluaciones ante estos programas que han señalado que se tienen éxitos parciales a ciertos niveles, pero lo que prácticamente todos indican es que existen diferentes percepciones y actitudes ante la basura y los residuos sólidos urbanos. Es decir, no cambian profundamente la percepción y la actitud ante la situación. Este fenómeno lo identifica muy bien Susana Garavito (2011) cuando señala que “hay que mirar más a fondo en qué medida la política pública incide en el comportamiento ciudadano, y cómo estos ciudadanos interiorizan e interpretan estas políticas” [4].

1.3 Factores a considerar

Se indicó que hay elementos que determinan las formas de construir conceptos y de operar ante ellos, ya sean esos objetos, personas o eventos. Esos factores son de corte sociodemográficos y territoriales. Entre ellos están la edad, el sexo, la religión, el nivel educativo, la condición social y el nivel de ingresos, por un lado; por el otro, lugar de residencia, expresión urbana y tipología de poblamiento pueden ser condicionantes de cómo se relacionan las personas con los objetos, su conceptualización y sus prácticas con ellos y ante ellos.

Estudios sobre residuos sólidos urbanos, especialmente desde un punto de vista económico, señalan que la edad es un factor importante a considerar, principalmente por los picos de generación de desechos, que se da principalmente entre los 18 y 49 años; así mismo y aspectos relacionados con la edad como el crecimiento demográfico (formar familias, estabilidad laboral, incremento de ingresos) también tiene impacto en la generación de basura. De hecho, Beede y Bloom señalan que un incremento poblacional del 1% aumenta en 1.34% la generación de residuos [5].

Por otra parte, también el nivel de ingresos (que está asociado a edad, sexo y nivel educativo), es importante considerarlo ya que un incremento en él generalmente se asocia a mayores gastos y consumo y en consecuencia en mayor generación de desechos; nuevamente Beede y Bloom (1995) informan que un crecimiento de 1% en el ingreso aumenta en 0.34% la cantidad de basura [5].

El nivel educativo también es apuntado como factor de cambio de actitudes o al menos de mejora en la disposición hacia conductas ambientales, Fullerton y Kinnaman (1999) indican que aquellas personas que tienen título universitario muestran mayor disposición a prácticas de reciclaje [6], si bien no se aclara que eso necesariamente se traduzca en buenas prácticas, si puede ser un ingrediente importante en el proceso de cambio de conceptos y prácticas. Juana Salgado (2012), también enfatiza que las personas de mayor nivel educativo se muestran más críticos ante los servicios públicos de recolección de basura en general aunque no siempre se ven traducidos en cambios de actitud y percepción [7].

El sexo juega papel importante en las percepciones sobre la basura y algunas prácticas e ideas asociadas a ella, Juana Amalia Salgado así lo expone en su estudio hecho en una unidades habitacionales en Tlalpan, Ciudad de México (2012), donde sexo y edad hacen una interesante combinación de actitudes y disposiciones ante los desechos y la práctica de la separación. Mujeres con familia tienen mejor actitud ante las prácticas de la separación en vistas al futuro (para los hijos) que aquellas que no tienen hijos, sin embargo éstas últimas muestran más activas en las prácticas de la separación que las primeras simplemente por la disposición de tiempo. En cuanto a los hombres, estos muestran ser más prácticos en sus ideas y más críticos conforme son mayores, especialmente contra el gobierno.

Se pasa ahora a los elementos territoriales, lugar de residencia, expresión urbana y tipología de poblamiento. Esta última engloba, en cierta medida, las primeras dos. Al desarrollarse esta herramienta de planeación urbana e investigación se fueron integrando diversas variables para caracterizar diferentes espacios urbanos que han ido dando forma a la Ciudad de México y su zona metropolitana. Teniendo en cuenta que cada espacio urbano es fruto de fenómenos demográficos, sociales, políticos y económicos, todos ellos interactuando en el tiempo crean zonas con ciertas particularidades; así entonces, el tipo de poblamiento incluye: a) fecha de urbanización, b) formas de producción o acceso a la vivienda, y c) indicadores sociodemográficos (densidad, provisión de servicios e infraestructura, estrato socioeconómico y mezclas de uso del suelo) [8]. Esta herramienta territorial permite comprender el desarrollo de un área urbana particular y acercarse a cada espacio urbano para explicar distintos fenómenos. Por lo que expresión urbana (el diseño y la idea atrás de cada urbanización) y lugar de residencia están ya dentro del tipo de poblamiento, así como incluye datos sociodemográficos que dan cuenta de condición social, densidad, entre otros, que esbozan un perfil urbano particular.

Ante lo hasta ahora expresado, se tiene, entonces, un concepto y práctica arraigados, la basura y deshacerse de ella, así como el conocimiento que se tiene de ella; una nueva práctica, la separación de la misma, con un nuevo concepto (los residuos sólidos urbanos) e información sobre el mismo que viene desde la gestión pública principalmente buscando modificar el estado de las cosas. Así mismo, esto se encuentra en un espacio urbano con particularidades que lo distinguen de los otros donde, la manera de asimilar la información acerca del nuevo concepto y la nueva práctica son distintos debido a las características sociodemográficas de ese espacio, es decir, edad, sexo, nivel educativo, nivel de ingresos y condición social en un determinado espacio con historia y expresión urbana diferentes pueden construir actitudes y percepciones distintas entre ellos.

1.4 Las representaciones sociales, basura y residuos sólidos urbanos

Las representaciones sociales, como esquema cognitivo y de acción de las personas ante los objetos sociales, dan cabida a los niveles individuales y colectivos de acción de la personas, así como a las diferentes estructuras que actúan en la adquisición de información y configuración de conocimiento y entendimiento del mundo de los distintos grupos sociales. “Son una visión funcional del mundo que permite al individuo o al grupo conferir sentido a sus conductas, y entender la realidad mediante su propio sistema de referencias y adaptar y definir de este modo un lugar para sí”[9]. Ponen en juego tanto el conocimiento y la información

sobre cualquier objeto, personas o eventos como la acción ante ellos. Es decir, vinculan la práctica, la manera de hacer las cosas con lo que se sabe y entiende de un objeto social. Permite la acción tanto individual como colectiva enmarcada en los distintos marcos estructurales en los cuales la(s) persona(s) se desenvuelven.

Por lo tanto, las representaciones sociales son una guía de acción y al mismo tiempo es un conjunto de conocimientos organizado, compartido por un grupo (y se forma tanto a nivel individual como colectivo), que permiten actuar, comunicar, interpretar y justificar los comportamientos [10]. Son un saber hacer (práctica) bajo un marco referencial (lo compartido por grupos) ante los objetos, el espacio y el tiempo.

Por otra parte, las representaciones sociales se presentan como el conocimiento de sentido común, es decir, son “las habilidades y sentimientos básicos, así como las formas de comportamiento con las cuales (las personas y sus grupos) pueden trascender sus entornos inmediatos y se vinculan con un mundo más amplio” [11]. Así pues, la configuración de las representaciones sociales se da tanto del conocimiento acumulado (intelectual y práctico) de los diferentes grupos humanos en sus entornos, como de las nuevas estructuras que se van construyendo para responder a los diferentes retos que la vida va imponiendo.

Para tener una representación social se debe tener un objeto social, es decir, un acontecimiento, un objeto cualquiera o un grupo de personas relevante o importante para un conjunto de individuos para que, así, se constituya en una representación social. Así entonces, basura y residuos sólidos urbanos son objetos sociales en el entendido de que son relevantes para distintos grupos sociales, los cuales los entienden y se relacionan con ellos de manera diferente. Un gestor, un poblador, un pepenador o el personal de recolección tendrán conocimientos y recibirán información sobre la basura y los residuos sólidos urbanos diferentes según el espacio social que ocupan y el tipo de interés que tienen sobre ellos. Por otra parte, tanto la basura como los residuos plantean en sí mismos una manera de hacer las cosas (una práctica) a través del conocimiento tanto de sentido común como científico que se difunde a través de diversas estructuras sociales.

De hecho, el cómo la gente transforma sus prácticas e ideas (la parte cognitiva) a partir de lo que el conocimiento científico aporta, es parte sustancial del estudio de las representaciones sociales, por lo que cabe preguntar si la representación social de la basura se ha modificado desde la puesta en marcha de los programas de separación de la misma y de los sistemas de gestión y manejo de los residuos sólidos urbanos.

La investigación, de corte sociológico, se aleja de estudios sobre grupos como los pepenadores o los trabajadores de limpia, busca entender cómo la gente define a la basura y a los residuos sólidos urbanos, cómo construyen o mantienen una representación social a partir de factores socio-territoriales; así como el rol de los programas de separación en ello. Se busca, también, aportar datos que fortalezcan los instrumentos de gestión de residuos.

2. Metodología

A lo largo del desarrollo de este documento se ha ido planteando el analizar si hay un cambio de representación social (y cómo se ha dado) de basura a una de residuos sólidos urbanos en tres distintos (pero contiguos) espacios residenciales donde se implementa el programa de separación. Incluyendo en este análisis el papel que juegan (en el mantenimiento o cambio) factores sociodemográficos tales como la edad, el ingreso, el nivel de estudios y el sexo, por un lado; y factores territoriales, en específico el espacio residencial, por el otro, representado en los tipos de poblamiento. Se parte de que la representación social de la basura es persistente en la actuación de las familias en el espacio residencial y no se ha transformado en una de residuos sólidos, esto debido a que forma parte de las prácticas cotidianas donde la basura se asocia a lo impuro, lo sucio y la enfermedad. Los programas de educación y separación de los residuos sólidos inducen a una acción de contexto (responder ante la autoridad), modificando transitoriamente una forma de hacer las cosas pero no hacia un cambio de representación.

La investigación se lleva a cabo en la Ciudad de México, donde el Programa de Separación se viene implementando desde el año 2004. Para ello en base a los tipos de poblamiento, se han escogido tres de ellos, a saber: Una unidad habitacional, una colonia popular y una colonia residencial de clase media. La

unidad habitacional se caracteriza por ser un espacio semi-cerrado, que generalmente está dotado de todos los servicios e infraestructura urbana y edilicia desde que se empieza a habitar, el productor de la vivienda es el Estado, representado en algunas instituciones como el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) o el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), por mencionar algunos, y dirigido principalmente a sus trabajadores. La colonia popular tiene como característica distintiva la autoconstrucción, es decir, el productor del espacio urbano y de la vivienda es el propio habitante que, por decirlo de una manera, domestica completamente su entorno desde el principio. Los servicios e infraestructura son gestionados ante la autoridad por los nuevos habitantes una vez que la incipiente colonia va tomando forma y pueden tardar años en obtenerlos. Está asociada a gente de escasos recursos o con dificultades para acceder a créditos o apoyos para acceder a suelos y vivienda. Los espacios residenciales de clase media son producidos por agentes privados y/o estatales, la infraestructura y servicios están dotados desde el inicio y detrás de este poblamiento generalmente existe una idea o corriente de cómo deber ser y funcionar ese espacio, es decir, hay un concepto urbanístico detrás de él, por lo que, por lo general, son espacios planeados.

Bajo este tenor, se decidió trabajar en la Delegación Azcapotzalco en la Unidad Habitacional Cuitláhuac, la Colonia (popular) Tlatilco y la Colonia Nueva Santa María (clase media). Estos tres espacios se empezaron a desarrollar (diferencialmente) a partir de la mitad del siglo pasado. Se escogieron estos espacios por las siguientes razones: los tres tipos de poblamiento están contiguos (son fácilmente accesibles a pie el uno de los otros), comparten algunos equipamientos e infraestructura, se tienen datos sociodemográficos y territoriales accesibles y se encuentran cerca del centro de investigación donde se desarrolla el presente trabajo.

Para cada tipo de poblamiento se está configurando un perfil sociodemográfico y territorial para relacionarlo con lo que la literatura sobre residuos dice acerca de su influencia en la generación de desechos, esto en base a los datos sociodemográficos de Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) y el Observatorio de la Ciudad de México (OCIM) así como por investigación documental acerca de la historia urbana de cada espacio. Esto tiene el propósito de saber que se puede esperar en cuanto a las representaciones sociales (en lo relativo a actitud y percepción) de acuerdo a la información que la literatura sobre residuos indica. Además, ya con datos del trabajo de campo se podrá comparar contra el perfil construido y comprobar si cumple con lo esperado.

Por otra parte, se ha hecho un análisis del Programa de Gestión Integral de Residuos de la Ciudad de México bajo tres perspectivas: 1.- En base a lo que la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) propone como componentes ideales de una política pública sobre residuos sólidos; 2.- Con elementos de la estrategia basura cero (novedad que incorpora el mismo Programa); y 3.- Bajo la mirada de las representaciones sociales.

Para acceder a las representaciones sociales se está utilizando la técnica de asociación libre de términos, muy usada para entender cómo la gente define un objeto social y poder analizar el cambio de representación a partir de las palabras usadas centrándose en los difuso o concreto del núcleo central de la representación. Para ello se ha construido una encuesta con cuatro grandes rubros donde las preguntas relacionadas con la asociación de términos consisten en que escriban o enlisten todas las palabras o frases que le vengan a la mente que el término inductor les provoque, en este caso, los términos inductores son “basura”, “residuos sólidos urbanos” y “separación de residuos”. En el mismo instrumento están preguntas para conocer la actitud de los pobladores ante el fenómeno de la basura, de la práctica de la separación y el concepto de los residuos sólidos urbanos. La encuesta incluye el proporcionar los datos sociodemográficos que se mencionan a lo largo de esta presentación, edad, sexo, nivel de estudios (el nivel de ingreso se está trabajando con los datos de las encuestas de “ingresos – gastos” de INEGI, las bases de datos del OCIM por tipo de poblamiento) y el dato territorial consiste en mencionar la colonia donde se vive. Se complementa la encuesta con preguntas relativas a los programas que el gobierno delegacional y central llevan a cabo en materia de residuos sólidos como el de separación o el de trueque, entre otros, esto para tener datos sobre cómo adquiere información y conocimiento la población.

Cabe señalar que la encuesta ya ha sido piloteada ante una población de estudiantes de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa. Se corrigieron y suprimieron algunas preguntas dejando el instrumento con treinta nueve reactivos incluyendo opción múltiple, preguntas abiertas y cerradas. La encuesta se diseñó para ser llevada a cabo vía electrónica a través de los grupos vecinales de “Facebook” de los poblamientos involucrados. Se pensó hacerse así ya que, en primera instancia, se quiso trabajar con los grupos de participación ciudadana. Sin embargo, el establecimiento de contacto con esos grupos no se pudo llevar a cabo ya que muchos de ellos dejaron de funcionar, sus oficinas están cerradas, tiene baja participación y, bajo la ley de protección de datos, no fue posible establecer algún enlace. Por otro lado, reflexionando en que el anonimato animaría la participación y por recomendación de un especialista en el tema de representaciones sociales se optó por las redes sociales como mecanismo para alcanzar un mayor número de personas en menos tiempo.

Los administradores de esos grupos vecinales mostraron interés en colaborar y dieron el permiso de publicar la convocatoria y la encuesta en el muro de publicaciones de la red social. Se hicieron dos convocatorias en esos espacios electrónicos durante el mes de diciembre de 2017.

Se han tenido pláticas con funcionarios públicos que están involucrados en la materia para conocer la implementación del programa de separación (bajo la nueva norma de separación NADF-024-AMBT-2013) y cómo se está llevando a cabo en los espacios bajo estudio. Se esperan concretar entrevistas de corte semi-estructurado con estos y otros funcionarios tanto a nivel delegacional como del gobierno central (se están organizando justo en las fechas que se escribe este documento).

Se han hecho recorridos en las tres colonias viendo como interactúa la gente con el personal de limpia, si la basura se entrega separada y el trabajo mismo del personal de recolección. Se ha propuesto (falta el permiso de las autoridades que se acaba de solicitar) de acompañar a los trabajadores en sus rutas para ver su trabajo, ver cómo entrega la gente sus desechos (separados o mezclados) y conocer sus opiniones del programa de separación.

Por último, se plantea tener entrevistas con pobladores que hayan contestado la encuesta para complementar la información obtenida por medio de esta última.

3. Resultados

3.1 Análisis del Programa de Gestión de Residuos de la Ciudad de México

El análisis hecho del Programa de Gestión de Residuos de la Ciudad de México tiene como principales hallazgos los siguientes: Conjuga todos los elementos que CEPAL propone para tener una integralidad en la gestión de los residuos sólidos, reconoce actores principales, instituciones participantes, sus atribuciones y las acciones que cada uno de ellos debe cumplir a través de los distintos instrumentos que el programa establece para su cumplimiento. Le da continuidad a los programas anteriores, especialmente en las actividades de separación y la actualización de diagnósticos, así como establece nuevas metas en base a la idea de basura cero. Por otra parte, los elementos tecnológicos plantean dos problemáticas, que si bien son resueltas con ingenio, no dejan de inquietar. Primero, la instalación y puesta en marcha de nueva infraestructura para tratamiento de residuos. A nivel territorial, social y económico pone cuestionamientos, el Distrito Federal (ahora Ciudad de México) puede no tener espacios para ellas, ya en sí, el cierre del relleno sanitario de Bordo Poniente puso al gobierno de la ciudad en un predicamento pues no tenía lugares alternos de disposición final en su propio territorio, esto llevó a una situación límite al mismo por unos días resolviéndolo con acuerdos de transferencia de sus residuos a rellenos situados en localidades de otras entidades, donde esos acuerdos debieron llevarse a cabo con gobiernos estatales y municipales, además del pago a las empresas que maneja esas instalaciones. A nivel social, nueva infraestructura genera resistencias, si bien el programa establece que se harán los estudios sobre los mejores lugares para ello, será difícil que sean aceptados por la población afectada, más si tenemos en cuenta los efectos que la basura tiene en el entorno a la instalaciones de manejo de la misma, malos olores, población no deseada (mercado informal

de residuos), imagen de suciedad. Por otra parte, el costo de estas plantas suele ser caro, más si se incorpora la tecnología de punta, de allí que el relleno sanitario siga siendo lo más utilizado (es lo más barato en este tipo de instalaciones). Se mencionan los mecanismos público/privados como formas de costearlos, la transparencia será fundamental para la aceptación social de los mismos.

En segundo lugar tenemos los elementos políticos involucrados. Como se mencionó, el gobierno resolvió con acuerdos con otras entidades la disposición final de sus residuos “violando” el principio de autosuficiencia pero solventándolo con la idea de tener una visión territorial más amplia de corte metropolitano. La situación es delicada en el sentido que se está transfiriendo a otra entidad un pasivo ambiental importante, lo que la Ciudad de México genera se “entierra” en otro lado, siendo el Estado de México o Morelos los que lo paguen. Por otra parte, si se señala la necesidad de tener una visión megalopolitana sería conveniente, entonces, proponer un programa megalopolitano de gestión de residuos, compartiendo así infraestructura, tecnologías, presupuestos, visión y enfoques; sin duda esto conlleva una negociación política compleja difícil de llevar a cabo. No es imposible, hay asociaciones de municipios interestatales que hacen esto con planes y programas más allá de los periodos de gobierno municipales y dejaron partes del manejo en manos privadas, el esquema es interesante, con la acotación de que son municipios chicos y poco poblados.

El uso de los diferentes instrumentos propuestos (la norma, planes de manejo, licencia ambiental) articula a los demás elementos analizados, pero pone énfasis en lo que a educación e información se refiere. El que toda la población sepa llevar a cabo la práctica de la separación de manera correcta y entienda la razón de ello toma mucho tiempo, no es un cambio fácil pues detrás de ella está una práctica que se arrastra de tiempo atrás, simplemente sacar la basura (separada o no) para que se la lleven. Campañas de difusión y que el personal de limpia sea promotor y educador no basta para cambiar una práctica que tiene tanta semejanza con la nueva ya que al final, lo que le interesa a la población, es que su basura o residuos sean recolectados y puestos fuera de su vista.

Esto nos lleva a poner la vista a los indicadores de cumplimiento del programa, todos son de orden cuantitativo, muy al estilo gerencial, tantas campañas de difusión en tanto tiempo, cumplido o no cumplido, tantos planes de manejo recibidos, cumplido o no cumplido; esto provoca que los actores institucionales encargados de cumplimiento de las metas cuantitativas se preocupen de ello, olvidando aspectos cualitativos importantes, sobre todo si un programa se basa en un cambio de práctica.

Bajo la mirada de “Basura cero” y comparando lo que programas con esta estrategia en otras ciudades de mundo proponen, hay que mencionar que ninguna ciudad ha logrado alcanzar las metas que el paradigma propone (un 90% de reducción en generación y reducción de infraestructura de tratamiento), sigue habiendo resistencias en la población, muchos intereses económicos involucrados y gobiernos acotados por distintas circunstancias. Estos utilizan los instrumentos que su legislación e instituciones les otorgan pero siguen teniendo frentes de batalla que obstaculizan el ideal de basura cero. Se tiene que señalar que las iniciativas ciudadanas a nivel barrial, unidad habitacional o departamental llegan a ser más eficientes, establecen un lugar como centro de acopio y distintos desechos son puestos en circulación para su reuso, reparación, reciclaje y compostaje, teniendo éxito. Esto pone de manifiesto que las iniciativas basura cero que parten de la población pueden tener más impacto que la estrategia inmersa bajo un programa de basura cero gubernamental.

Por otra parte, las metas propuestas por el Programa de Gestión no tienen componentes del paradigma en cuestión. No se establecen cambios en volúmenes, composición, integración a economías, o nueva legislación, por mencionar algunos. Falta la visión a largo plazo de un programa basado en basura cero, es decir, las metas que establece el programa de la ciudad de México se plantean cumplirlas al año 2020, cuando una estrategia basada en el nuevo paradigma propone, al menos 15 años para cumplirlas.

El programa [12], visto desde las representaciones sociales, establece cuatro líneas estratégicas (“Prevención y minimización” inciso 7.1.3, “Separación” inciso 7.2.1, “Recolección” inciso 7.3.1 y “Protección Ambiental” inciso 7.8.1) que tienen por objetivo incidir en la actitud, percepción y acción ante la basura,

ello en base a la difusión de conocimientos e información. Estas líneas estratégicas establecen campañas de difusión de cómo hacer la separación (en base a la norma) y de concientización, así como programas de capacitación para personal de limpia y mando medios del gobierno delegacional y del gobierno central. En este sentido, falta hacer una revisión de los medios de comunicación, es decir, contraponer lo que la Secretaría de Medio Ambiente y la Secretaría de Obras Públicas y Servicios difunden en sus campañas y documentos, contra lo que medios impresos, electrónicos dicen sobre el programa. Esta actividad es importante ya que los medios pueden estar difundiendo información contradictoria que afecte lo que las instituciones quieren transmitir.

Sobre los perfiles sociodemográficos y territoriales se puede decir que en términos generales, la población de la unidad habitacional y la colonia popular tiene un nivel de escolaridad de bachillerato o preparatoria trunca, mientras que la otra colonia cuenta con un nivel de licenciatura trunca. El rango de edad dominante en los tres tipo de poblamiento es el que va de los 19 a 59 años (está en el pico de generación), seguido por el rango de 0 a 18 años y por último el rango de 60 y más. En este último rango, la colonia de clase media tiene un porcentaje ligeramente mayor de población que los otros dos espacios. La colonia popular aglomera la mayor cantidad de población, seguida de la residencial de clase media y por último la unidad habitacional. El sexo femenino es el mayoritario en los tres poblamientos. Se está trabajando el aspecto histórico así como la construcción completa de los perfiles. Bajo esta información, se puede establecer que probablemente la población de la colonia de clase media tenga mejor actitud o disposición a la práctica de la separación. Bajo aspectos demográficos, la unidad habitacional y la colonia popular, con mayor densidad por unidad de área, tendrán una generación mayor y menor actitud hacia la nueva práctica, aunque esto está por verse una vez aplicadas las encuestas.

4. Comentarios finales

La investigación está en curso y se encuentra justo bajo los ajustes del trabajo de campo, en este importante rubro se ha topado con mucha resistencia ciudadana, aunque administradores tanto de redes sociales como de la unidad habitacional han sido, al menos empáticos, con el trabajo.

El Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 – 2020, muestra una continuación de lo que se ha hecho en los programas anteriores (sexenios de Andrés Manuel López Obrador (2000 – 2006) y Marcelo Ebrard (2006 – 2012). Reconoce también que la práctica de la separación tuvo una caída a partir del 2013 y que esta práctica, en base a la nueva norma, es la clave para el éxito del Programa. Su gran innovación es incluir la visión “Basura Cero”, la cual, más que una visión es una estrategia que desde principios del presente siglo se ha venido implementando en diversas ciudades del mundo.

Sobre este particular, basura cero en el documento no abona nada nuevo ya que requiere, como estrategia, cambios profundos tales como depender menos de cierta infraestructura, visión de cambio con metas a mediano y largo plazo, donde se busca reducir la generación en al menos 90%. Otro objetivo claro es pasar de la visión de basura a que ésta no existe, es más, al residuo se le ve como una falla de diseño; en otras palabras, se busca una circularidad de materia completa. Finalmente, se requieren modificaciones en la legislación profundas (ley de envases y embalajes, sobre responsabilidad del productor, entre otras) para que el nuevo paradigma funcione. Así entonces, el Programa está inmerso en la gestión integral de residuos tradicional, por llamarle de una manera, pero está lejos de incorporar la estrategia y visión de basura cero.

Finalmente, el estudio de las representaciones sociales de fenómenos de tipo ambiental es muy importante ya que, los distintos grupos humanos e incluso, instituciones, según su espacio social tendrán conceptos, actitudes y percepciones distintas del mismo, aportando información valiosa para el desarrollo, implementación y evaluación de las políticas públicas ambientales y sus instrumentos.

Estos estudios, también, permiten analizar cómo los diferentes grupos sociales construyen, a partir de lo que escuchan, viven y comparten, conceptos como sustentabilidad, medio ambiente o desarrollo sustentable, y en consecuencia, cómo los viven y asumen en su vida diaria como práctica social.

Referencias Bibliográficas

- [1] Asamblea Legislativa del Distrito Federal (VII Legislatura). (2003) *Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal*. Gaceta Oficial del Distrito Federal, Ciudad de México. En línea: <http://www.aldf.gob.mx/archivo-2cdc95f688b0f9cdc82b670897acdd22.pdf> Recuperado el: 19/01/18
- [2] Cuamea Lizárraga G. (2012) Micro-producciones: La transformación de prácticas comunicativas y sociales en Youtube en: Gloria Magdalena Cuamea Lizárraga y Anajilda Mondaca Cota, editoras. Cartografía de las prácticas sociales. Actores y espacios en proximidad. Universidad de Occidente y Juan Pablos Editor. Los Mochis. pp.185 – 204
- [3] de Certeau, M. (1996) La invención de lo cotidiano. 1 Artes de hacer. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente; Universidad Iberoamericana. Ciudad de México.
- [4] Garavito Duarte, S. (2011) Análisis de la incidencia del comportamiento ciudadano en la implementación de las políticas públicas sobre recolección de residuos sólidos en Bogotá. Periodo 2004 – 2008. Tesis de maestría. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Bogotá. En línea: <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/2481/52994330-2011.pdf;jsessionid=B359B7D91878251384A605A8F7EDF881?sequence=1> Recuperado el: 22/01/18
- [5] Beede, D.; Bloom, D. (1995) Economics of the generation and management of municipal solid waste. Working paper number 5116. National Bureau of Economic Research. Cambridge.
- [6] Kinnaman, T.; Fullerton, D. (1999) The economics of residential solid waste management. Working paper 7326. National Bureau of Economic Research. Cambridge.
- [7] Salgado López J. (2012) “Residuos sólidos: percepción y factores que facilitan su separación en el hogar. El caso de estudio de dos unidades habitacionales de Tlalpan”. Quivera. Revista de Estudios Territoriales. Volumen 14, (Número 2012 – 2). pp. 91 – 112.
- [8] Connolly Dietrichsen P. (2005) Tipos de poblamiento en la Ciudad de México. Observatorio Urbano de la Ciudad de México. Serie metodológica. Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco. Ciudad de México.
- [9] Abric J.C. (2001) Prácticas sociales y representaciones. Ediciones Coyoacán. Ciudad de México.
- [10] Araya Umaña, S. (2002) Las representaciones sociales: ejes teóricos para su discusión. FLACSO. San José.
- [11] Wagner, W.; Hayes N. (2011) El discurso de lo cotidiano y el sentido común. La teoría de las representaciones sociales. Anthropos; UNAM; IPN. Ciudad de México.
- [12] Secretaría del Medio Ambiente. (2016) Programa de gestión integral de residuos sólidos. PGIRS 2016 – 2020. Secretaría del Medio Ambiente. Ciudad de México. En línea: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf> Recuperado el: 29/01/18

Programa piloto de separación y valorización de residuos sólidos urbanos en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco

¹Gerardo Bernache Pérez y ²Fernanda Velázquez Lujano

¹Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Unidad Occidente
Ave. España 1359, Colonia Moderna, Guadalajara, Jalisco, México 44190, (33) 3268-0600 ext 3003,
gerardo.bernache@gmail.com

²Universidad de Guadalajara, CUCEA. Licenciatura en Economía y Gestión Ambiental

Resumen

El ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga es el municipio de la zona metropolitana de Guadalajara que más ha crecido en términos de población en la última década, tan solo en el periodo 2010-2015 su población creció un 31.9%, alcanzando un total de 549,442 habitantes. La generación de residuos sólidos urbanos en el municipio es de unas 375 toneladas diarias. El Programa Piloto de Separación de Residuos en el Corredor López Mateos Sur comenzó el 5 de junio de 2017, con una estrategia de recolección domiciliar separada en una zona que alberga 35 fraccionamientos, cotos y colonias, así como 3 pueblos tradicionales. Esta zona tiene un total de 17 mil viviendas que generan diariamente unas 85 toneladas de residuos sólidos urbanos. El Programa incorpora 12 rutas de recolección de residuos que realiza la empresa concesionaria, la separación es primaria con tres tipos de residuos: orgánicos, sanitarios e inorgánicos. A nueve meses de inicio del programa los principales resultados han sido positivos y se pueden clasificar en tres apartados: la logística de la recolección separada; la educación ambiental y la participación social en el programa; y la valorización de residuos orgánicos.

Palabras Clave: *composteo, participación ciudadana, recolección separada y valorización de residuos.*

1. Introducción

Este municipio que se ubica al sur de la Zona Metropolitana de Guadalajara, con la tasa más alta de crecimiento población en el estado de Jalisco, ya que en el periodo 2005-2010 fue de 89% y del 2010-2015 fue de 32% [1]. Tiene un problema relacionado con el aumento exponencial de la generación de residuos sólidos urbanos (RSU). Los 549.4 mil habitantes del municipio [1] generan diariamente unas 375 toneladas de RSU, lo que suma las 140 mil toneladas anuales [2], [3].

En Tlajomulco el servicio de recolección, transferencia y disposición final de RSU está concesionado a una empresa, misma que brinda un servicio domiciliario tres veces por semana a los usuarios en las colonias y fraccionamientos del territorio municipal.

El ayuntamiento 2015-2018, encabezado por la Presidencia Municipal y la Dirección General de Ecología, Medio Ambiente y Cambio Climático, ha impulsado una serie de políticas públicas y programas ambientales innovadores porque tienen una visión integral y una articulación transversal en las acciones. Entre ellos el Programa Piloto de Separación de Residuos en el Corredor López Mateos Sur (en adelante Programa Piloto). El Programa piloto residuos empezó el 5 de junio 2017 con la intención de involucrar a los residentes de zonas habitacionales a lo largo de la Avenida López Mateos Sur. Esta avenida es el principal eje vial para acceder a 38 espacios habitacionales que van desde fraccionamientos de familias de ingresos altos y medio alto, hasta unidades de departamentos habitacionales para familias de ingresos medio bajo y bajos. Un total de 17 mil familias son residentes de esta zona con una generación de RSU de 85 toneladas diarias [2].

El Programa Piloto tiene tres componentes principales: recolección domiciliaria de residuos separados en orgánico, inorgánico y sanitario; la producción de composta con los residuos orgánicos; y la separación de residuos inorgánicos reciclables para su comercialización.

El Ayuntamiento de Tlajomulco tiene la intención de llevar el Programa Piloto de Separación a todo su territorio municipal, pero primero quiere consolidar el modelo de gestión en esta zona del municipio. Se considera que para finales de 2018 el programa podría incorporarse la zona urbana ubicada alrededor de la Laguna de Cajititlán.

A principios del año 2017 el Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga empezó a preparar una serie de acciones de gestión ambiental municipal que se estructuran alrededor del Programa Piloto. En este trabajo presentaremos los avances de la recolección separada después de 9 meses de operación. También abordamos el trabajo en otros tres frentes: la valorización de residuos orgánicos en la Planta de Composteo de Agua Ancha; el uso de composta en el Huerto Orgánico de Lomas del Sur; y el trabajo de los Guardianes de la Tierra y las escuelas sustentables.

En los dos meses previos al inicio del programa, la Dirección de Participación Ciudadana (DPC) y la Dirección General de Gestión Ambiental, Cambio Climático y Sustentabilidad (DGGACCS) realizaron una campaña de visitas a los fraccionamientos y colonias para socializar el programa, tuvieron reuniones con asociaciones de colonos y se acercaron a las familias para explicarles el detalle del programa y dejarles material impreso con información detallada. Además, se realizó una campaña de comunicación en los medios masivos (Radio y TV) y se contrataron anuncios espectaculares sobre Ave. López Mateos.

Se negoció con la empresa concesionaria para organizar los cambios necesarios en el servicio de recolección con las 12 rutas que están involucradas en la zona [3]. La propuesta fue recolección de orgánicos dos días por semana, recolección de inorgánicos y sanitarios un día por semana. Es importante señalar que la normatividad mexicana identifica los residuos orgánicos como aquellos que producen seres vivos y sus desechos que se degradan biológicamente (residuos de alimentos, de poda de jardines y otros). Mientras que los residuos inorgánicos son aquellos que pueden ser valorizables cuya composición química puede contener materiales inertes o elementos orgánicos (residuos de vidrio, papel, plásticos, metales y otros) [4].

La Dirección de Aseo Público es responsable de que la empresa recolectora pase por las colonias correspondientes, coordina las rutas y los días de recolección. La DPC trabaja para promover la aceptación del programa entre la población residente, su personal se acerca a las zonas habitacionales a través de representantes vecinales dar a conocer el programa y son el canal para aclarar dudas y trabajar situaciones específicas con los vecinos. Otro actor clave es la Fiscalía Ambiental que se encarga de verificar que se tenga una correcta separación de residuos y tiene el poder de sancionar al ciudadano que no cumpla con la correcta separación. El ayuntamiento asigna a un supervisor por cada ruta de recolección, mismo que registra la participación de los residentes de cada vivienda. La Fiscalía también supervisa y puede sancionar a la empresa recolectora sino realiza la recolección separada o si no cubre sus rutas de recolección de forma completa.

Los residuos orgánicos separados se llevan a la Planta de composteo se ubica en la localidad de Agua Ancha (conocida coloquialmente como La Guancha) ocupa un predio de unas 5 hectáreas, de las cuales una hectárea se encuentra cubierta con una lona tensada que se soporta en postes de concreto. Esta área cubierta sirve para proteger la composta en preparación de la lluvia. Otras áreas de composteo están al aire libre. Aquí se preparan los surcos de materia orgánica con un tractor conectado a un aditamento que tritura y voltea los residuos para propiciar su degradación. Además de los residuos orgánicos domiciliarios, se reciben residuos de poda de parques y jardines que se trituran en un molino especializado. También se incorporan residuos de un pez denominado “popocha” que es una plaga en la laguna de Cajititlán que se

ubica en el municipio, unos 800 a 1, 000 kilos diarios de popocha son capturados y llevados a la planta de composteo.

La producción de composta es una actividad a cargo de personal del mismo ayuntamiento de Tlajomulco. La composta que se produce se utiliza en varios programas municipales, la mayoría de la producción se canaliza a un grupo de productores del campo que están inscritos en un programa de agricultura sustentable. Otros beneficiarios de la composta son los Huertos Orgánicos que promueve el ayuntamiento, en particular el Huerto de Lomas del Sur. También se provee de composta a las escuelas de educación básica (preescolar, primaria y secundaria) que están inscritas en el programa de Escuelas Sustentables. Las escuelas sustentables tienen grupos organizados de estudiantes que se denominan Guardianes de la Tierra y tienen actividades de separación de residuos, producción orgánica de hortalizas y cultivo de plantas medicinales. Los Guardianes de la Tierra reciben una capacitación básica en educación ambiental y acciones específicas relacionadas con sus intereses, así como apoyo logístico y de un asesor especializado en agricultura orgánica.

2. Metodología

Se utilizó una metodología cualitativa con la realización de entrevistas semi estructuradas a los directores de las cuatro dependencias involucradas en el Programa Piloto, a saber: la DGGACCS; la DPC; la Dirección de Aseo Público; y al Fiscal Ambiental municipal.

Se elaboró una guía de entrevista con una serie de preguntas abiertas sobre los temas del programa. Las entrevistas fueron grabadas con la autorización de los entrevistados y luego se transcribieron para tenerlas en un documento.

Se solicitaron datos del programa y sus resultados a la DGGACCS, mismos que fueron proporcionados de manera oportuna.

Además, se hicieron recorridos de observación de la operación de las rutas de recolección domiciliaria, así como una serie de visitas técnicas a la Planta de Composteo municipal en la localidad conocida como Agua Ancha. También se visitaron cuatro escuelas públicas de educación básica y el huerto orgánico en el Fraccionamiento Lomas del Sur que son parte de programas de distribución y uso de la composta.

3. Resultados y discusión

Los resultados se presentan en tres apartados principales: los avances y retos en el desarrollo del Programa piloto de recolección separada en el corredor de la Ave. López Mateos Sur; la producción de composta en la Planta de Agua Ancha; y la participación social en la gestión ambiental con los Guardianes de la Tierra, las Escuelas Sustentables y el Huerto Orgánico.

3.1 El Programa piloto de recolección separada

En un principio el reto mayor fue negociar con la empresa concesionaria del nuevo modelo de recolección domiciliaria. Hubo un periodo de resistencia por parte de los responsables, pero después de una serie de reuniones, quedó claro que el nuevo modelo de recolección se aplicaría o la empresa enfrentaba el riesgo de perder la concesión. De acuerdo con la DGGACCS [2], después de una revisión detallada del Contrato Concesión quedaron claras tres cuestiones: 1) la empresa está obligada a respetar las Normas en todo momento, se le pidió que acatará lo que establece la norma NAE-SEMADES-007/2008 para separación de residuos que está vigente en Jalisco; 2) se ejerció la facultad que tiene el Ayuntamiento para modificar o ajustar la forma de realizar la recolección domiciliaria y la empresa está obligada a aplicar los cambios; y 3) la empresa está obligada, por el contrato, a financiar y colaborar con las campañas de Educación

Ambiental del municipio, por lo que se le solicitó a la empresa su participación en el programa de separación y patrocinar las acciones de educación ambiental.

Una parte importante de la preparación del Programa Piloto fue la estrategia de comunicación y educación ambiental. El personal de la DPC visitaba casa por casa en la zona del Corredor de la Ave. López Mateos Sur entregando un tríptico que explicaba la nueva forma de recolección separada en los tres tipos de residuos y la recolección de cada tipo de residuo estaría asignada a un día de la semana. La Dirección de Gestión Ambiental estuvo a cargo de la capacitación de las personas de la Red Ciudadana a la que asistieron unas 400 personas que a su vez integraron grupos de promotores para ir casa por casa a entregar el tríptico y explicar el programa. El área de la DPC organizó a representantes ciudadanos que visitaron a los administradores de condominios, cotos y fraccionamientos en la zona del programa piloto. En algunos casos se dio capacitación a personal de trabajo doméstico. Se hizo un gran esfuerzo para comunicar la importancia del cambio climático, para que los residentes entiendan la necesidad de un programa de gestión integral de residuos a partir de la separación domiciliaria. Estas acciones fueron parte de la estrategia de educación ambiental y comunicación social que lanzó el Ayuntamiento de Tlajomulco para dar a conocer el Programa Piloto y ofrecer una capacitación de separación durante los meses de abril a julio de 2017.

Actualmente, después de un año de iniciado el programa, la recolección separada ha tenido avances importantes, aunque aún no se logra un 100% de participación. El Ayuntamiento reporta que de las 12 rutas que atienden la recolección en la zona del Programa Piloto, nueve rutas tienen una participación del 80%, tres rutas tienen con 45% y una ruta con 20%. Esto se refiere al porcentaje de los residentes que entregan sus residuos separados los días que corresponden a su colonia. Un supervisor del ayuntamiento viaja en cada camión recolector durante su ruta y va anotando los residentes que entregan o dejan sus residuos separados y los que no lo hacen. En base a estos registros, se reporta que un 80% de las familias residentes del Corredor de la Ave. López Mateos Sur están colaborando con el programa de separación primaria de residuos sólidos.

Para el Director de Aseo Público, los dos principales retos que enfrenta el programa está relacionado con: 1) el cumplimiento de los días y horarios de recolección por parte de la empresa concesionaria; y 2) con el cambio de cultura de los usuarios, con la educación ambiental [3].

La situación con la empresa recolectora es que de los 58 camiones recolectores que dan servicio a todo el municipio, el porcentaje de unidades descompuestas es alto y dichas unidades no son re-emplazadas en el servicio a los usuarios. Entonces una o varias colonias se quedan sin servicio, o solo con un servicio parcial lo cual ocasiona molestias con los usuarios ya que deja en la calle las bolsas de residuos separados. Esto se complica porque un día se entrega orgánicos y otro día los inorgánicos y sanitarios. Por lo que, si no se recolecta un tipo de residuos, en el siguiente día de recolección todo se recolecta de forma mezclada, sin separación [2], [3]. Lo anterior causa descontento de los usuarios y afecta el funcionamiento del programa de recolección separada.

El segundo reto es el cambio de cultura de ciertos sectores de la población, algunos usuarios se niegan a separar. Argumentan que eso es “un trabajo del ayuntamiento” [3], a otros no les interesa el cuidado ambiental o bien no ven un beneficio personal en la separación. Esta situación de baja participación es más común en los fraccionamiento o colonias con edificios multifamiliares y un solo contenedor de residuos por edificio donde los residentes se escudan en el anonimato para depositar sus residuos sin separar.

Es importante notar que el supervisor del ayuntamiento que viaja en cada camión recolector hace un registro de las viviendas que no entregan sus residuos separados. Este registro lo reciben en el área de participación social y en gestión ambiental, por lo que personal del ayuntamiento realiza una visita a dicha vivienda para invitar a los residentes a separar sus residuos. Los residentes que después de varias visitas siguen sin separar sus residuos pueden recibir una multa de parte de la Fiscalía Ambiental.

3.2 La Planta de Composteo de Agua Ancha

Los residuos orgánicos separados en el Programa Piloto se llevan a la Planta de composteo “Agua Ancha”. Esta planta recibe tres tipos de residuos orgánicos: residuos separados del Programa Piloto; residuos de poda de parques y jardines; y residuos de un pez denominado “popocha” que se considera una plaga en la laguna de Cajititlán y que se pesca para controlarlo [2]. Este programa de composteo es operado de forma directa por el ayuntamiento. La empresa concesionaria lleva el residuo orgánico separado a la Planta de Composteo y a partir de ahí toma control el personal operativo del municipio de Tlajomulco. El ayuntamiento tiene un equipo de 5 personas que laboran ahí, un tractor adaptado para el movimiento de las pilas de residuos en proceso, así como una camioneta e implementos necesarios para la operación diaria.

El Programa Piloto genera las 120 toneladas de los residuos orgánicos, más unas 7 toneladas de “popochas” y unas 120 toneladas residuos de poda triturados (en la Planta tienen un acopio de más de 2000 toneladas de de poda).

Para septiembre de 2017 se tenían 1,000 toneladas de residuos orgánicos en diferentes etapas del proceso de composteo. Desafortunadamente una fuerte lluvia azotó la localidad donde se ubica la Planta de Composteo resultando en una inundación. Este evento afectó la infraestructura de la planta y ocasionó la pérdida de la mayoría de la composta en proceso. Para octubre de 2017 ya se había recuperado el proceso de producción de composta.

En el 2016 el ayuntamiento empezó un programa de agricultura sustentable al cual se inscribieron 31 campesinos que cultivan 80 hectáreas. El ayuntamiento les dio una capacitación y asesoría técnica, además les donó 10 toneladas de composta anual por cada hectárea cultivada. Un total de 800 toneladas de composta. Para el año 2017 se inscribieron 81 agricultores con 306 hectáreas, para lo cual se les brindó un total de 3,500 toneladas de composta (parte comprada a una compañía privada y parte de la producción en la Planta de Agua Ancha).

Además, la composta se entrega a las escuelas inscritas en el programa de Escuelas Sustentables y en los cuatro Huertos orgánicos que se tienen en el municipio. También se regala composta a cualquier asociación vecinal o grupo interesado e incluso a particulares que lo soliciten.

Lo importante de la producción de composta es el impacto en la producción agrícola municipal, pero también en el impulso de proyectos ambientales innovadores con una fuerte participación social.

3.3. Participación social en la gestión ambiental

La participación social es un componente esencial en la gestión integral del medio ambiente, en Tlajomulco se promueve en varios programas directamente relacionados con la separación de residuos a partir del trabajo de las áreas de participación ciudadana y de gestión ambiental. Por una parte, la acción básica es explicar y convencer a los residentes de participar en el programa realizando la separación de sus residuos en tres tipos: orgánicos, inorgánicos y sanitarios. También se les da a conocer el itinerario semanal de recolección, identificando los días que corresponden a la entrega de cada uno de los tres tipos de residuos domésticos. Se pide a los residentes colocar una hoja informativa con los detalles de tipos de residuos y días de recolección asignados a su colonia o fraccionamiento.

Por otra parte, se promueve un involucramiento más dedicado por parte de los ciudadanos de Tlajomulco en la gestión ambiental municipal. A continuación, se presentan tres programas que articulan el manejo integral de residuos con la participación social en la gestión ambiental

a) Guardianes de la Tierra

Los Guardianes de la Tierra se conforman de grupos de niños que van en las edades de nivel pre-escolar a sexto año de primaria. Los Guardianes son promotores de la educación y las acciones ambientales básicas a nivel familiar, vecinal y escolar. Ellos llevan la educación ambiental a casa.

En la primera etapa se inscribieron 250 niños. El proceso de inscripción es de cuatro pasos: 1) llenan un formulario con sus datos generales y el consentimiento de sus padres; 2) elaboran un dibujo de su entorno; 3) responden a un cuestionario sobre temas ambientales; y 4) redactan un texto breve en respuesta a la pregunta ¿qué Tlajomulco te gustaría ver cuando seas grande? Con estos documentos se conforma un expediente de ingreso de cada niño [2], [5].

Una vez registrados, toman un curso de inducción. En la primavera de 2017 se impartió un primer curso durante los meses de abril y mayo. El programa dura tres semanas con sesiones los sábados por la mañana, se abordan tres ejes, a saber: prácticas básicas de agroecología; la gestión integral de residuos; y laguna de Cajititlán sustentable.

Durante el verano del 2017 se integraron al programa de Guardianes de la Tierra otros 250 niños. En este segundo grupo además de la inducción como Guardianes de la Tierra, también se ofrecieron talleres ecológicos y culturales, tales como: alimentación sana, nutrición vegetal, consumo responsable, ajedrez, dibujo, baile folclórico, encuadernación artesanal, teatro y cine ambiental.

El programa tiene cuatro sedes: Lomas del Sur, Chulavista, Lomas de San Agustín y San Miguel Cuyutlán. En estas sedes el municipio tiene instalaciones de centros comunitarios con salones para capacitación de personas, aulas de usos múltiples, patio para actividades físicas, área de cultivos orgánicos y oficinas.

El trabajo y la responsabilidad de estos Guardianes de la Tierra se desarrollará principalmente en dos ámbitos: en su hogar y en su escuela. La idea es que ellos sean promotores infantiles para que motiven y orienten a sus compañeros y a sus familiares en la separación de residuos. También participan en actividades de agricultura orgánica en espacios en sus escuelas donde se involucran padres de familia y docentes. En general la intención de formar a los Guardianes Ambientales para promover comportamientos pro ambientales en espacios cotidianos y fomentar la educación ambiental en sus casas y en las escuelas de educación básica.

En particular, tendrán una tarea de apoyar y orientar sobre el Programa de Separación de Residuos, cuando este programa llegue a su colonia. Es decir, actualmente el programa solo está activo en el Corredor López Mateos Sur, y paulatinamente se extenderá a otras zonas de Tlajomulco (como Lomas del Sur). La separación actual se realiza en torno a las escuelas participantes, donde se organizan para recibir residuos separados y hacer su acopio.

b) Escuelas sustentables.

A finales de 2017 el Ayuntamiento lanzó una Convocatoria para premiar proyectos sustentables en escuelas públicas de educación básica. Se registraron proyectos de diferentes niveles escolares: pre-escolar; primaria; secundaria; media superior y universidad. El gobierno municipal muestra su apoyo realizando concursos donde se les dan a los primeros lugares un incentivo económico, lo que impulsa que las escuelas busquen la mejora en la implementación de los proyectos. Una bolsa de un millón de pesos se distribuyó en los tres primeros lugares en las 5 categorías.

Los proyectos de acción ambiental fueron en cinco tipos: reciclaje y composteo; huertos urbanos; eficiencia en el consumo de agua; eficiencia en el consumo de electricidad; y otros proyectos.

Las escuelas han implementado proyectos como separación de residuos, farmacias vivientes (cultivo de plantas medicinales), huertos orgánicos y en algunos casos producen su propia composta. Lo que se busca en estas escuelas es que tengan proyectos sostenibles en los cuales se obtengan recursos.

El ayuntamiento entrega composta, que se produce con los residuos orgánicos separados, a las escuelas sustentables que requieren para sus huertos escolares.

En las escuelas sustentables intervienen tres tipos de actores: uno o varios docentes; padres de familia; y alumnos que forman parte de los Guardianes de la Tierra. Las actividades que desarrollan son organizadas de forma colaborativa y con una asesoría de personal del municipio. Si bien la escala de las actividades es limitada ya que por lo general participan uno o dos grupos de estudiantes de dichas las escuelas, lo importante es que se está impulsando un cambio en la cultura y en la gestión ambiental empoderando a los actores escolares [5].

En la primera semana de febrero, los autores en compañía de personal del ayuntamiento, visitamos cuatro escuelas sustentables ubicadas en la zona de Lomas del Sur.

El pre-escolar No. 681 Evaristo Oropeza que tiene tres actividades: huerto escolar con tres camas de producción de hortalizas; una farmacia viviente en una jardinera donde se cultivan plantas medicinales; y un programa de separación de residuos. Nos recibieron un grupo de madres de familia que son las responsables de apoyar a los niños con el huerto escolar. También reciben residuos separados que las familias de los alumnos traen de su casa, por lo que se dedica un espacio a un pequeño centro de acopio.

La primaria 1269 Agustín Melgar, que tiene un proyecto de huerto escolar que atiende un docente y alumnos de un par de grupos.

La escuela secundaria técnica 175 Ignacia Encarnación, donde se tiene un proyecto de separación de residuos con contenedores especiales y tienen un área designada donde una profesora y un grupo de alumnos cultiva vegetales y hortalizas.

Por último, se visitó la escuela primaria 1206 María Izquierdo. El grupo de esta escuela es sin duda el mejor organizado. Su principal actividad es la farmacia viviente, un espacio donde tienen unas 12 camas para el cultivo de plantas medicinales. Durante la visita, la profesora responsable organizó a los alumnos que participan para que cada uno nos diera una presentación breve de la planta que cultivan, sus cuidados y los beneficios curativos de dichas plantas. También tenían preparadas plantas deshidratadas y empacadas en bolsa para su venta.

El esfuerzo que se ha realizado por parte de las comunidades escolares es importante, aunque por lo general son profesores muy dedicados los que tienen el liderazgo junto con algunos padres de familia que se incorporan para apoyar, especialmente en nivel preescolar y primaria.

Sin embargo, en muchas escuelas solo participa uno de los turnos. Dado que cada turno tiene un Director(a) y personal docente diferente, no todos aceptan participar. Es común que participe un turno y el otro turno no esté interesado.

Actualmente se identifican unas 56 escuelas con proyectos sustentables, de las cuales unas tienen huertos escolares, otras realizan separación de residuos, algunas producen composta, las actividades de reforestación son centrales para otras escuelas, o bien una combinación de acciones.

c) Huerto orgánico Lomas del Sur.

La zona de Lomas del Sur es un fraccionamiento de casas unifamiliares de pequeñas dimensiones que han adquirido familias de trabajadores con ingresos bajo y medio-bajo. Lomas del Sur se conforma con ocho fraccionamientos, con unos 34 mil habitantes para 2017 [5].

La relación del huerto orgánico con el programa de separación de residuos es el uso de la composta que se produce con el componente orgánico de los residuos. Esa composta que se produce en la Planta de Agua Ancha se distribuye a los agricultores y a los huertos orgánicos.

Este espacio fue comprado por el municipio en enero de 2016. El Ayuntamiento empezó su construcción a principios de 2017 y fue inaugurada, con todas sus instalaciones completas, a finales de febrero de 2018.

La sede de Lomas del Sur es un espacio comunitario, un huerto urbano abocado a la producción de vegetales y hortalizas orgánicos para autoconsumo principalmente. También tiene la función de mercado para el intercambio de productos orgánicos, artesanales y típicos. El mercado funciona dos sábados de cada mes. Además, el espacio está acondicionado con salones y un auditorio para talleres de capacitación y reuniones de grupos vecinales. De acuerdo a los funcionarios responsables, este es un espacio para promover la integración del tejido social, para darle herramientas a los niños, un lugar para aprender, crecer y tener una participación en la vida de su comunidad para mejorarla.

El lugar tiene una superficie de unos 7,700 metros cuadrados, se ubica en una esquina de manzana y tiene un ingreso por un portón al centro, luego abre a un patio en forma de semicírculo delimitado por una media luna que forman un techado alto con láminas para ofrecer sombra y una senda de concreto.

Tanto la zona del perímetro del Huerto, como el semicírculo central están acondicionados con camas de cultivo de diferentes tamaños y formas, las más comunes son rectangulares de 1.5 a 2.0 metros de ancho por 3.0 o 4.0 metros de largo. Los cultivos que se tienen son: rábanos, lechuga, calabaza, kale, chile, cilantro, cebolla, maíz, frijol, entre otros. Además, tienen una sección de plantas medicinales que le llaman farmacia viviente. En el límite perimetral del terreno del Huerto se plantaron 200 árboles.

Durante una visita, en el verano de 2017, al Huerto orgánico pudimos observar unos cuarenta niños de diversas edades. Aunque los guardianes de la tierra es un programa para alumnos de quinto y sexto grado de primaria (10-12 años), en el grupo había niños menores de esa edad, incluso uno de 6 años que acompañaba su hermano mayor que sí cumplía con el criterio de edad.

Los “guardianes de la tierra” se pueden identificar por sus camisetas verdes con el logotipo correspondiente y una gorra o cachucha que también tiene el nombre y logo del programa. Quizá la mitad de los niños traían su camiseta y gorra.

En una esquina del terreno había un montón de composta que recién habían traído, se pudo observar un grupo de niños con palas en las manos y con una carretilla, movían y transportaban la composta para aplicarla a las camas de cultivos en el huerto orgánico.

El día 21 de febrero del 2018 el Presidente Municipal y el Director General de Gestión Ambiental inauguraron las instalaciones comunitarias, el huerto orgánico y el mercado orgánico en el que se venden sus productos, también participan otros productores locales y artesanos.

4. Conclusiones

El Programa Piloto de separación y valorización de residuos del ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga es una propuesta innovadora para la gestión de residuos que involucra a la ciudadanía en la separación y en otras acciones pro ambientales a partir de la educación ambiental. La estrategia coordinada de varias

dependencias municipales como son la gestión ambiental, la participación ciudadana, aseo público y la fiscalía ambiental. Se ha logrado avanzar en la separación y valorización de residuos como parte de la gestión integral de residuos sólidos urbanos con el propósito de contribuir al programa municipal de mitigación del cambio climático y disminución de las emisiones de gases efecto invernadero.

La negociación con la empresa concesionaria fue crucial ya que se había manifestado la reticencia para realizar cambios en la forma de trabajar, ya que implica una nueva logística de recolección y una reducción menor, pero significativa, de los ingresos para la empresa ya que no factura la parte de transferencia y disposición final de aquellos residuos separados que tienen otro destino. La aceptación del Programa Piloto por parte de la empresa fue un primer paso firme para la gestión integral de residuos.

La participación social ha sido muy relevante, los responsables reportan una participación activa del 80% de la población residente de las 38 colonias y fraccionamientos del Corredor de la Ave. López Mateos Sur que entregan sus residuos separados en la recolección domiciliaria.

En relación a la valorización del componente orgánico de los residuos, un promedio de 480 toneladas mensuales de residuos orgánicos domiciliarios se deposita en la Planta de Composteo de Agua Ancha para su procesamiento.

Esta composta se utiliza en los programas municipales que impulsan la agricultura sustentable, los huertos orgánicos y las escuelas sustentables. Estos programas llevan la valorización de los residuos a otro nivel, más allá del valor económico tienen un impacto en el desarrollo y consolidación de una cultura ambiental en la población, con una participación importante de grupos de niños y jóvenes.

Se identifica un principal pendiente del Programa Piloto, a saber: completar la instalación de las bandas de separación e iniciar operaciones en la Planta de Separación de Residuos Inorgánicos (por ejemplo: plásticos, papel, cartón, metales, vidrio y otros) que debía instalarse en octubre del 2017 y ahora se prevé que iniciará funciones en el verano de 2018. Esta planta podrá procesar 50 toneladas de residuos inorgánicos por semana. Por lo pronto, los residuos inorgánicos separados no eran procesados por el municipio, sino que se depositan en la Planta de Transferencia “La Cagilota” donde los pepenadores los recuperan y los comercializan por su cuenta.

Este programa es un ejemplo de gestión integral de residuos sólidos, que puede ser replicado en sus partes o en su totalidad por otros ayuntamientos. El principal ingrediente para su consolidación ha sido el firme compromiso del Presidente Municipal, del Cabildo y de las dependencias responsables.

Agradecimientos

Un agradecimiento al Lic. Miguel León Corrales, Director General de Gestión Ambiental, Cambio Climático y Sustentabilidad de Tlajomulco.

Este proyecto fue posible gracias a un apoyo de un Proyecto FORDECYT del CONACYT para el Consorcio de Investigación y Diálogo sobre Gobierno Local (CIDIGLO).

Referencias Bibliográficas

- [1] Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco (2017) Tlajomulco de Zúñiga. Diagnóstico Municipal. Noviembre de 2017. Publicado por el I.I.E.G.J., Guadalajara, Jalisco.
- [2] León Corrales, M. A. (2017), Director General de Gestión Ambiental, Cambio Climático y Sustentabilidad, Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga. Entrevista del 18 de agosto de 2017.

- [3] de la Chica Hernández, J. M. (2017). Director de Aseo Público, Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga. Entrevista del 14 de diciembre 2017.
- [4] NAE-SEMADES-007/2008 (2008) Norma Ambiental Estatal que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo las cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y valorización en el estado de Jalisco. Publicada por el Periódico Oficial del Estado de Jalisco 35, Sección III, del 16 de octubre de 2007. Guadalajara, México
- [5] Delgado, V. (2017), Jefatura de Producción Sustentable y Consumo Responsable, Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga. Entrevista del 17 de agosto 2017.

Residuos domésticos peligrosos en la Ciudad de México

¹ Mariana Jazmín Galindo Rojas ² Malinali Guadalupe Oropeza López ³ Alethia Vázquez Morillas

¹ Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, Av San Pablo Xalpa 180, Reynosa Tamaulipas, 02200 Ciudad de México, 5318-9000, gestiónamb.vrm@gmail.com

^{2,3} Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Resumen

Los residuos peligrosos son regulados con base en la masa generada. La categoría menor está compuesta por los microgeneradores, entre los cuales se encuentran los generadores domésticos. Actualmente, no se cuenta en el país con algún instrumento jurídico ni un plan de manejo eficiente para este tipo de residuos. Los residuos domésticos peligrosos no son manejados adecuadamente y terminan por mezclarse con los residuos sólidos urbanos debido a la falta de educación ambiental. En este estudio se cuantificó la presencia de residuos peligrosos en muestras de residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México. En las muestras analizadas, representan cerca del 3% de los residuos, lo que equivaldría a aproximadamente 98,911.35 toneladas al año. Es necesario tomar acciones que permitan darles una gestión integral y evitar el impacto que se genera por su mezcla con los residuos sólidos urbanos.

Palabras Clave: *residuos sólidos urbanos, competencia jurídica.*

1. Introducción

En la Ciudad de México, se emitió la norma NADF-024-AMBT-2013 que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y el almacenamiento de los residuos. Ésta fue publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 8 de julio de 2015 y entró en vigor el 8 de julio de 2017.

En ella se promueve, como parte de la separación primaria avanzada, la selección de los residuos domésticos peligrosos (RDP), definidos como aquellos residuos generados en los hogares, unidades habitacionales, oficinas, instituciones, dependencias y entidades, que posean por lo menos una de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad (CRETIB), en una cantidad igual o menor a 400 kg al año, y que son provenientes de fuentes distintas a los establecimientos comerciales, industriales o de servicios [1].

La norma enuncia los RDP que deben ser entregados de manera diferenciada y conforme a lo que dispongan la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) y la Secretaría de Obras y Servicios. La Tabla 1 describe cuáles son estos residuos [1]

Tabla 1. Residuos domésticos peligros que deben ser entregados de manera diferenciada [1]

Material o envase	Productos
Mantenimiento automotriz: contenedor vacío o con residuos, y los subproductos contaminados con ellos, tales como: estopas o trapos impregnados, filtros de gasolina y aceite	Aceite de motor, aceite lubricante gastado, aditivos para gasolina, líquido anticongelante, limpiador de carburador, limpiador de motor, acumuladores o baterías ácido-plomo, combustibles, líquidos de transmisión y líquido para frenos
Productos para limpieza y el mantenimiento del hogar: contenedor vacío o con residuos, estopas o trapos impregnados, brochas, rodillos, esponjas, etc.	Destapa caños, pulidores y limpiadores para metales y recubrimientos, productos para pulir muebles, quita sarro, pinturas base solvente (aceite), solventes (thinner y aguarrás), pegamentos y adhesivos epóxicos, removedor de pintura y barniz, selladores y tintas para madera
Biocidas: contenedor vacío o con restos de producto y los subproductos contaminados con ellos	Conservadores de madera, insecticidas, herbicidas, Naftalina en todas sus presentaciones y raticidas
Salud - Médico asistenciales	Medicamentos caducos para humanos o mascotas y punzocortantes, venoclisis y material de curación
Varios	Pilas y baterías eléctricas a base de mercurio, níquel-cadmio o cinc-plata, asbestos, explosivos (pirotecnia), lámparas fluorescentes, lámparas o focos ahorradores, productos de revelado fotográficos, productos químicos para albercas y tintes para cabello

Sin embargo, los RDP no están contemplados en la clasificación de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF), ya que no están catalogados ni como residuos sólidos urbanos (RSU) ni como residuos de manejo especial (RME).

La mayor parte de RDP son depositados junto con los RSU, a pesar de que la Ley de Protección a la Tierra del Distrito Federal (LPTDF) enuncia en el artículo 169 que durante las diferentes etapas del manejo de RSU se prohíbe la mezcla de residuos peligrosos (RP) con RSU e industriales, porque la mezcla de ellos se considerará como un RP [2].

Esta investigación tuvo como objetivo cuantificar los RP presentes en los RSU de la Ciudad de México.

2. Metodología

El proyecto se desarrolló en tres etapas, las cuales se describen a continuación.

2.1 Investigación documental

Se realizó una investigación documental bibliográfica de la presencia de RDP en RSU, de la legislación y normativa positiva aplicable a los RDP en la Ciudad de México, y con ello se llevó a cabo un análisis jurídico.

2.2 Aplicación de encuestas

Se aplicaron 385 encuestas en la delegación Coyoacán y 379 en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-Azcapotzalco) con el fin de saber: a) qué sabía la gente sobre los RP, b) si los generaban en sus hogares, c) qué hacían con estos residuos que generaban, d) qué impactos creían que ocasionaba mezclarlos con los RSU y e) qué acciones proponían para darles un buen manejo.

2.3 Cuantificación de residuos peligrosos en los residuos urbanos

Se obtuvo una muestra de RSU en las estaciones de transferencia de las delegaciones Coyoacán y Venustiano Carranza. Después, se realizó un cuarteo y una clasificación de subproductos conforme a las normas mexicanas NMX-AA-15-1985 y NMX-AA-022-1985 [3], [4]. Se calculó la masa de RP en los RSU con la Ecuación (1). Posteriormente, se hizo una clasificación de los RP hallados en la muestra de la delegación Coyoacán utilizando como parámetro lo enunciado en la NADF-024-AMBT-2013 y se calculó su porcentaje con la Ecuación (1) [1], [4].

$$PS = \left(\frac{G1}{G} \right) 100 \quad (1)$$

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

G1 = Peso del subproducto considerado, en kilogramos; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kilogramos).

Finalmente, con los resultados obtenidos se calculó la generación de RSU al año usando la Ecuación (2), la generación estimada de RDP al día usando la Ecuación (3) y al año con la Ecuación (4), y también la generación per cápita de RDP usando la Ecuación (5).

$$\text{Generación de RSU en Toneladas/año} = \left[\text{Generación de RSU en Toneladas por día} \right] \left[365 \text{ días} \right] \quad (2)$$

$$\text{Generación de RDP en Toneladas/día} = \frac{\left(\frac{\text{Generación de RSU en Toneladas por día}}{100} \right) \left(\frac{\text{Porcentaje de RDP obtenido en la muestra}}{100} \right)}{100} \quad (3)$$

$$\text{Generación de RDP en Toneladas/año} = \left[\text{Generación de RDP en Toneladas por día} \right] \left[365 \text{ días} \right] \quad (4)$$

$$\text{Generación per cápita de RDP en kilogramos/día/habitante} = \frac{\left(\frac{\text{Generación per cápita RSU en kilogramos/día/habitante}}{100} \right) \left(\frac{\text{Porcentaje de RDP obtenido en la muestra}}{100} \right)}{100} \quad (5)$$

3. Resultados y discusión

A continuación, se describen y analizan los principales hallazgos de este estudio.

3.1 Análisis de la regulación de los residuos domésticos peligrosos

Por medio de la revisión bibliográfica, se estableció que cada orden de gobierno en México tiene facultades respecto al manejo de residuos conforme a su clasificación [5]:

Es facultad de la Federación expedir reglamentos, normas oficiales mexicanas y demás disposiciones jurídicas para regular el manejo integral de los RP, con el propósito de clasificarlos, prevenir la contaminación de sitios y llevar a cabo su remediación en caso de que esto ocurra.

Son facultades de las Entidades Federativas expedir los ordenamientos jurídicos en materia de manejo de RME, así como de prevención de la contaminación de sitios con dichos residuos y su remediación, autorizar y llevar a cabo el control de los RP generados o manejados por microgeneradores, imponer las sanciones procedentes y promover, en coordinación con el Gobierno Federal y las autoridades correspondientes, la creación de infraestructura para el manejo integral de RSU, RME y RP en las Entidades Federativas y Municipios.

Los Municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de RSU, asimismo participar en el control de los RP generados o manejados por microgeneradores (refiriéndose a los establecimientos).

Las facultades de las Entidades Federativas y los Municipios no incluyen la expedición de normas aplicables a los RP, ya que esta facultad solo se limita a los RSU y RME. Lo establecido en la NADF-024-AMBT-2013 para los RDP no tendría validez jurídica con el supuesto antes mencionado, pues entra en conflicto con las competencias de cada orden de gobierno.

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), el control de los microgeneradores de RP —establecimientos industriales, comerciales o de servicios que generen una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de RP al año— corresponderá a las autoridades competentes de los gobiernos de las Entidades Federativas y Municipios [5]. Sin embargo, las disposiciones de la LGPGIR no son aplicables a los RP generados en los hogares en cantidades iguales o menores a las producidas por los microgeneradores, al desechar productos de consumo que contengan materiales peligrosos, así como en unidades habitacionales o en oficinas, instituciones, dependencias y entidades, los cuales deberán ser manejados conforme lo dispongan las autoridades municipales responsables de la gestión de los RSU y de acuerdo con los planes de manejo [6].

En la actualidad, existen programas privados-públicos para acopiar y tratar algunos RDP en la Ciudad de México:

Ponte las pilas con tu ciudad: la SEDEMA, en colaboración con las empresas Imágenes y Muebles Urbanos (IMU) y Recall Internacional, maneja este programa [7]. Consiste en la adaptación de Columnas Informativas y Turísticas para que las personas depositen sus pilas y celulares usados en ellas. Las pilas (AA, AAA, C, D, CR, cuadradas, de botón y de celular) depositadas en las columnas son trasladadas a una planta de reciclaje para la recuperación de sus materiales aprovechables [8].

Reciclaje de aceite: la SEDEMA puso en marcha este programa para reciclar el aceite lubricante utilizado en los autos, y así disminuir sus impactos al ambiente, principalmente en el agua [9].

Programa Nacional de Medicamentos Caducos: el Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos, A.C. (SINGREM) atiende de manera responsable la problemática generada por los medicamentos que caducan en los hogares mexicanos. La recolección se lleva a cabo por medio de contenedores [10].

Aunque estos programas existen, no mucha gente los conoce o entiende su propósito. Justamente los RDP de la categoría Salud - Médico asistenciales son los de mayor presencia en los RSU, a pesar de contar con un programa [11].

3.2 Aplicación de encuestas

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en coordinación con los gobiernos de las Entidades Federativas y de los Municipios, está facultada para promover acciones tendientes a dar a conocer a los generadores de los RDP la manera de llevar a cabo un manejo integral de éstos [5]. A pesar

de esto, en una encuesta realizada en 2017, en la UAM-Azcapotzalco y en la delegación Coyoacán de la Ciudad de México, se obtuvieron resultados que demostraban incumplimiento de esta disposición [11]:

Del 70% de personas en la Ciudad de México que afirman saber qué es un RP, solo el 9.3% realmente lo sabe —conforme a la definición de la legislación y normativa—, el 28.8% lo relaciona con un daño a la salud o a la vida y un 29.9% con la contaminación.

El 56.2% afirma generar RDP destacando las baterías con un 41% y erróneamente los electrónicos, con un 10.3%.

Solo un 18.9% separa los RDP de los RSU, mientras el 37.1% los tira junto con los RSU.

El 48.8% cree que el mayor impacto de mezclar los RDP con los RSU es la contaminación, en tanto el 20.7% cree que son los daños a la salud o a la vida.

Un 35.1% concordó con que la solución a esta problemática comienza por la educación ambiental.

4. Presencia de residuos peligrosos en residuos sólidos urbanos

En la estación de transferencia de la delegación Venustiano Carranza, de un total de 53045.6 gramos, se hallaron 1595.6 gramos de RDP potenciales, lo que representó el 3.01% de la muestra (Figura 1) [11].

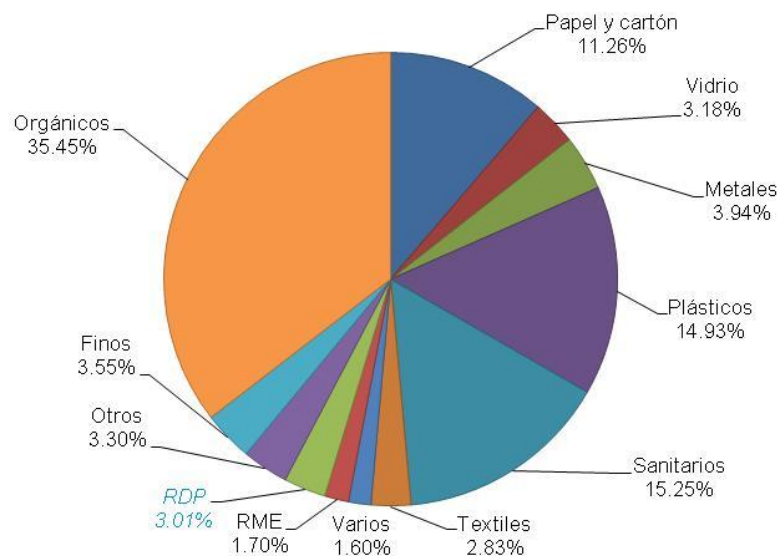


Figura 1. Distribución en porcentaje de los subproductos clasificados de la estación de transferencia de Venustiano Carranza [10]

En la estación de transferencia de la delegación Coyoacán, de un total de 31227.1 gramos, se hallaron 453.6 gramos de RDP potenciales, es decir, el 1.45% de la muestra (Figura 2) [11].

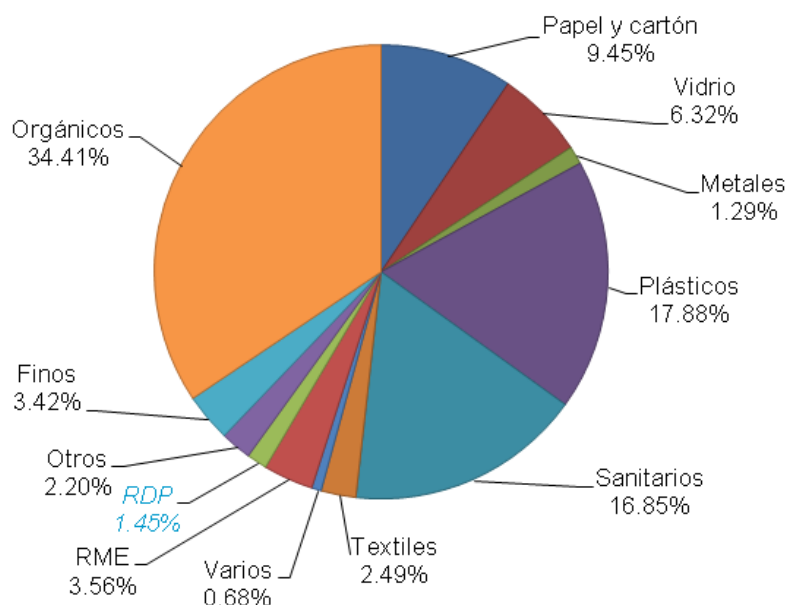


Figura 2. Distribución en porcentaje de los subproductos clasificados de la estación de transferencia de Coyoacán antes de determinar los residuos domésticos peligrosos potenciales [11]

La masa total de los residuos fuera de clasificación, después de determinar si contenían sustancias CRETIB, fue de 219.4 gramos. Por lo tanto, la masa de los RDP encontrados en total fue de 377.31 gramos, equivalentes al 1.21% de la masa total de residuos [11]. La Tabla 2 muestra la proporción de las subcategorías de los RDP encontrados en el muestreo.

Tabla 2. Proporción de las subcategorías de los residuos domésticos peligrosos de la estación de transferencia de Coyoacán [11]

Material o envase	Masa (g)	%
Mantenimiento automotriz: contenedor vacío o con residuos, y los subproductos contaminados con ellos, tales como: estopas, o trapos impregnados, filtros de gasolina y aceite	19.4	5.14
Productos para limpieza y el mantenimiento del hogar: contenedor vacío o con residuos, estopas o trapos impregnados, brochas, rodillos, esponjas, etc.	19.0	5.04
Biocidas: contenedor vacío o con restos de producto y los subproductos contaminados con ellos	0	0.00
Salud-Médico asistenciales	61.3	16.25
Varios (tinte en crema para el cabello y batería cilíndrica)	58.2	15.42
Fuera de clasificación	219.4	58.15
Total	377.31	100.00

En la Ciudad de México, se generan 12,843 toneladas al día de RSU, lo que equivaldría a 1.44 kilogramos por habitante, dentro de los cuales no se especifica ni en el Inventario Residuos Sólidos 2015 ni en ningún otro instrumento institucional qué porcentaje ocupan los RDP [8].

En el estudio realizado en 2017, con los datos de cuantificación de RDP en RSU para las delegaciones Coyoacán y Venustiano Carranza, y con la información del Inventario, se calculó el estimado de la fracción de RDP en los RSU de la Ciudad de México. La generación total por día de RSU se utilizó para determinar la aproximada por año. Con la generación de RSU y el porcentaje de RDP en las muestras, se calculó su generación al día, y al año para poder compararla contra la de los RSU. De la misma forma, se empleó la generación per cápita de RSU y el porcentaje de RDP en las muestras para estimar la generación por habitante de RDP al día. Los resultados globales obtenidos se resumen en la Tabla 3 [11].

Tabla 3. Resultados globales de la cuantificación de residuos domésticos peligrosos en residuos sólidos urbanos [11]

Aspecto analizado	Coyoacán	Venustiano Carranza	Estimación del promedio en la Ciudad de México
Generación de RSU (Ton/día)	795 [8]	842 [8]	12,843 [8]
Generación de RSU (Ton/año)	$795 \times 365 = 290,175$	$842 \times 365 = 307,330$	$12,843 \times 365 = 4,687,695$
Generación per cápita de RSU (kg/día/habitante)	1.31 [8]	1.97 [8]	1.44 [8]
Masa de RDP obtenida en la muestra (g)	377.31	1,595.6	-
% de RDP obtenido en la muestra	1.21	3.01	$(1.21 + 3.01)/2 = 2.11$
Generación de RDP (Ton/día)	$(795 \times 1.21)/100 = 9.62$	$(842 \times 3.01)/100 = 25.34$	$(12,843 \times 2.11)/100 = 270.99$
Generación de RDP (Ton/año)	$9.62 \times 365 = 3,511.3$	$25.34 \times 365 = 9,249.1$	$270.99 \times 365 = 98,911.35$
Generación per cápita de RDP (kg/día/habitante)	$(1.31 \times 1.21)/100 = 0.02$	$(1.97 \times 3.01)/100 = 0.06$	$(1.44 \times 2.11)/100 = 0.03$

Inicialmente, el porcentaje de RDP en las muestras no parecía ser tan grande, mas al llevarlo a una escala mayor, se observa que es una cifra significativa. Si se desconoce cuál es su generación, no existe forma de saber qué sucede con esos residuos al llegar a la separación secundaria y menos qué disposición final se les da.

La legislación federal y estatal señala que cuando exista una mezcla de residuos listados como peligrosos o caracterizados como tales por su toxicidad, con otros residuos, aquélla será peligrosa. En *stricto sensu* todos los RSU serían RP por la presencia de RDP. No separar los RDP de los RSU conlleva a graves consecuencias como la reducción de la valorización de los RSU con potencial de ser reutilizados y reciclados, la contaminación del suelo en donde se lleva a cabo su disposición final y el riesgo a la salud de las personas —y en general seres vivos— involucradas en el manejo de RSU.

4. Conclusiones

La regulación para los RDP en la Ciudad de México no ha resultado eficiente, debido entre otros factores, a la controversia de competencias existente. En tanto la Federación es quien regula los RP, la legislación le permite realizar acuerdos con las Entidades Federativas y Municipios a través de planes de manejo, pero no queda claro quiénes son los participantes en éstos a causa de las responsabilidades derivadas:

- La responsabilidad del manejo y disposición final de los RP corresponde a quien los genera, por ello los productores de materiales que pueden llegar a ser un RDP quedarían fuera.
- Si fueran los Municipios o Entidades Federativas quienes se hicieran cargo de ellos, se trataría ya no de microgeneradores, sino de grandes generadores, lo cual implicaría la necesidad de reportar a la Federación.
- Lo ideal sería que los microgeneradores de RDP fueran los responsables, sin embargo, no tienen la educación ambiental suficiente para identificarlos y conocer el riesgo existente al no darles un manejo adecuado. Incluso, hay programas para el manejo de RDP no usados por los microgeneradores, lo que implica una falta de difusión para incentivar la sociedad a participar.

No dar un manejo adecuado a los RDP produce efectos adversos al ambiente vulnerando el derecho humano a un ambiente sano. Asimismo, se pone en riesgo a la salud pública.

El gobierno no ofrece datos oficiales de la presencia de RDP en los RSU, por consiguiente, se desconoce su cantidad de generación. No obstante, hay una porción de RDP mezclada con los RSU, que aunque es pequeña, no disminuye por eso su grado de peligrosidad. La legislación indica que si éstos se mezclan, todos los residuos resultarían peligrosos y eso disminuiría su oportunidad de aprovechamiento. Es necesario realizar un diagnóstico de qué cantidad y tipo de RDP se generan en toda la Ciudad de México y qué parte de los RSU ocupan.

La educación ambiental es parte primordial de la solución a la problemática de los residuos. En lo correspondiente a los RDP, se requiere que la sociedad cuente con la información de qué son los RDP, sus características, impactos y cómo deben ser manejados.

Crear un marco jurídico específico para los RDP, acompañado de política pública, puede ayudar a delimitar las competencias de los tres órdenes de gobiernos, reducir sus impactos por su mal manejo y la valorización de residuos en la Ciudad de México.

Agradecimientos

Agradecemos a las autoridades de la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México por permitirnos tomar las muestras en las estaciones de transferencia de las delegaciones Coyoacán y Venustiano Carranza.

Igualmente, agradecemos a la UAM-Azcapotzalco por apoyarnos con el transporte y al Programa de Manejo Integral de los Residuos Sólidos de la UAM-Azcapotzalco, Separación, por habernos facilitado el material y el espacio para llevar a cabo los muestreos,

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2015). *NADF-024-AMBT-2013, que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal*. Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, Gaceta Oficial del Distrito Federal, 8 de julio. Ciudad de México, México.
- [2] Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2017). *Ley de Protección a la Tierra en el Distrito Federal*. Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, Gaceta Oficial del Distrito Federal, 3 de mayo. Ciudad de México, México.

- [3] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1992). *NMX-AA-15-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método De Cuarteo*. Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de noviembre. México.
- [4] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1992). *NMX-AA-022-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos*. Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de noviembre. México.
- [5] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2015). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación, 22 de mayo. México.
- [6] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación, 31 de octubre. México.
- [7] Concentra Multimedia (2010). *Manejo Responsable Pilas y Celulares Usados en el D.F.* En línea <<https://concentramultimedia.wordpress.com/2010/08/25/manejo-responsable-de-pilas-y-celulares-usados-en-el-df/>> Recuperado el 02/03/2018.
- [8] Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (2016). *Inventario Residuos Sólidos 2015*. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. Ciudad de México, México.
- [9] Transparencia DF (n.d.). *Residuos sólidos*. En línea <<http://www.transparenciamedioambiente.df.gob.mx/>> Recuperado el 03/03/2018.
- [10] Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos, A.C. (2016). SINGREM. En línea <<http://www.singrem.org.mx/index.html>> Recuperado el 02/03/2018.
- [11] Galindo Rojas, M. J. y Oropeza López, M. G. (2017). *Cuantificación de residuos peligrosos en residuos sólidos urbanos*. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Ciudad de México, México.

Estudio comparativo de las políticas públicas en residuos sólidos de Brasil y México en relación a los pepenadores

¹José Antonio Guevara-García, ²María Isabel Castillo Ramos, ³Carolina Valente Santos

¹ Laboratorio de Investigación en Bioinorgánica y Biotecnología (LIByB). Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, México; Carr. Apizaquito S/N. Apizaco, Tlax. Tel 2414172544; e-mail: joseantonio.guevara@uatx.mx

² Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional (CIISDER), Universidad Autónoma de Tlaxcala, México. ³ Programa de Posgrado en Ciencia, Tecnología y Sociedad, Universidad Federal de São Carlos (PPGCTS). Brasil.

Resumen

El trabajo de recolectores de materiales reciclables es un elemento fundamental para el mantenimiento de la cadena productiva del reciclaje, lo que se nota de manera especial en los países en desarrollo. Sin embargo, esta ocupación suele caracterizarse por precariedad e invisibilidad social, lo que ha resultado en la elaboración de algunas políticas públicas nacionales favorables al reconocimiento de su trabajo. De esta manera, se analizan, en el presente trabajo, los casos de Brasil y México, a través del contenido de las principales leyes federales en el contexto de gestión de residuos sólidos. El método utilizado fue revisión bibliográfica, y se puede concluir que, aunque hay similitudes entre estos casos, como la presencia de conceptos semejantes en estas leyes, como "responsabilidad compartida", sólo en Brasil se puede reconocer que la política pública es inclusiva en relación a los recolectores.

Palabras Clave: *materiales reciclables, políticas públicas, recolectores.*

1. Introducción

La fragilidad en las condiciones económicas, sociales y ambientales verificadas en países en desarrollo generan las condiciones favorables para la actuación de recolectores de materiales reciclables a nivel local; de esa manera, países como India, Egipto, Filipinas, Tailandia, Indonesia, además de los países latinoamericanos, se convirtieron en naciones en que los recolectores son imprescindibles en la cadena productiva del reciclaje [1]. Estos trabajadores participan como principales actores responsables de la reinserción de los materiales en esta cadena, pero de manera subordinada y sólo en su fase inicial, lo que limita el acceso a recursos suficientes para una vida digna y caracteriza escenarios de profunda explotación en el trabajo [2].

De esta manera, en algunas localidades, las organizaciones de recolectores fueron creadas para dar viabilidad al proceso de lucha por sus derechos y, también, inclusión de sus aspiraciones en la agenda federal de políticas públicas, que representa el fenómeno que se analiza en este trabajo.

El consumo compulsivo y el tipo de producción industrial que predomina en la sociedad actual son la raíz del problema del desperdicio. La falta de leyes y estándares adecuados, y las prácticas de corrupción hacen que este problema sea especialmente crítico. La sociedad mexicana está inmersa en el fenómeno global del consumo excesivo y un sistema de creencias antropocéntrico [3]. Como en muchos países latinoamericanos y en desarrollo, los grupos sociales marginados que viven en la pobreza extrema han proliferado en México. En estos grupos, las personas recolectan materiales "recuperables" en la calle, obteniendo escasos recursos económicos de esta actividad. Las personas que participan en esta actividad han sido llamadas "pepenadores", recolectores, carroñeros o recicladores [4]. Se estima que 24 millones de personas en todo el mundo participan en actividades de reciclaje: recolección, recuperación, clasificación, clasificación, limpieza, empaque y compactación y procesamiento de residuos en nuevos productos. La gran mayoría -

cerca del 80 por ciento- de ellos se encuentra en la economía informal. Su trabajo reduce la cantidad de residuos en los vertederos municipales, ya que los materiales de desecho se recuperan y se reintroducen en cadenas de valor. Las actividades de reciclado benefician el medio ambiente y la salud pública, y a menudo son la única forma de gestión de residuos sólidos sin costo para el presupuesto municipal.

En años recientes, el desarrollo de las cooperativas de recicladores en la región de América del Sur ha ganado importancia, y muchas de ellas se han creado en Venezuela, Perú, Ecuador, Guatemala y Costa Rica. Brasil ha tenido un éxito relativo en la reducción de esta forma de trabajo infantil, a través de una campaña nacional. Los padres reciben un estipendio mensual, siempre que envíen a sus hijos a la escuela, se vacunen y obtengan atención prenatal. El estipendio compensa a las familias por la pérdida de ingresos del trabajo infantil. Este programa, con el apoyo de los préstamos del Banco Mundial, permite que más de 40,000 niños abandonen la labor de recolectar basura y vayan a la escuela [1].

Desde el punto de vista social, lo que se ha visto en América Latina es que a medida que se formalizan los recicladores informales, se mejoran las condiciones sociales. Existen experiencias de integración y formalización que resultan en emprendimiento y cooperativas [5].

En este sentido, el objetivo de este trabajo es caracterizar las políticas públicas acerca de la gestión de residuos sólidos en Brasil y en México. De manera particular, comprender de qué manera estas políticas públicas impactan en la inclusión de los recolectores de materiales reciclables en la sociedad, y determinar las posibilidades de que en México se pueda dar la integración y formalización de este sector.

2. Metodología

La estrategia metodológica para la recolección de datos en México fue la revisión bibliográfica en tres principales temáticas: gestión de residuos sólidos, trabajo de pepenadores de materiales reciclables y notas hemerográficas estatales y nacionales. En Brasil, se realizó la revisión bibliográfica en cuatro temáticas principales: gestión de residuos sólidos, pepenadores de materiales reciclables, economía solidaria y políticas públicas.

Los datos recogidos fueron analizados, sistematizados en tablas y organizados de acuerdo con categorías de análisis establecidas por los autores.

3. Resultados y discusión

3.1. Políticas públicas para recolectores de materiales reciclables en los países en desarrollo

En relación a las políticas públicas y el trabajo de los recolectores en los países en desarrollo, estas se pueden analizar a partir de los siguientes efectos:

- Represión (fomentado por iniciativas hostiles para los recolectores, que propician visiones preconcebidas en relación a la actividad de la pepena y su evidente relación con escenarios de pobreza – ocurre en ciudades como Colombia, India y Filipinas) [6];
- Negligencia (los pepenadores son ignorados y tratados con indiferencia – ocurre en ciudades de países como África) [4];
- Clientelismo (se establecen relaciones de clientelismo político entre representantes del gobierno y líderes de recolectores – ocurre en la Ciudad de México) [7];

- Fomento (legalización de la actividad de la pepena y estímulo a la formación de cooperativas de recolectores – ocurre en ciudades de Indonesia, Colombia y Brasil) [8]-[10].

A partir de este análisis, podemos considerar que hay un gran potencial económico, de beneficio ambiental y social asociado al mantenimiento de políticas de fomento a la participación de recolectores, contrario a lo que ocasionan las políticas que estimulan la represión y negligencia.

3.2 Políticas públicas en Brasil para recolectores de materiales reciclables

La Ley Federal nº 12.305, que instituye la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) en Brasil, fue aprobada en 2010, después de 21 años de negociaciones [11]. La PNRS incorpora conceptos modernos a la legislación ambiental brasileña, como la responsabilidad compartida por el ciclo de vida de los productos. Entre los demás instrumentos introducidos por esta política, están los acuerdos sectoriales. Firmado entre el poder público y los fabricantes, importadores, distribuidores o comerciantes, esta Ley fomenta la implantación de la responsabilidad compartida" [12], y la logística inversa ("Conjunto de acciones, procedimientos y medios destinados a viabilizar la recolección y la restitución de los residuos sólidos al sector empresarial, para reaprovechamiento (...) u otro destino final ambientalmente adecuado" [12].

Además, la PNRS marca la pauta para la inserción de cooperativas de recolectores en el escenario de la gestión de residuos reciclables y en la cadena productiva del reciclaje. Por lo que se refiere a esta ley, "Son dos las obligaciones que corresponden al Poder Público Municipal: a) promoción de la organización de los recolectores en forma de cooperativas o asociaciones de recolectores; b) fomento a su emancipación económica a través de su contratación para la realización de la colecta selectiva "[13].

3.3 Políticas públicas en México para recolectores de materiales reciclables

La base legal referente a la gestión de residuos sólidos municipales es el Art. 115 de la Constitución del país, según el cual la responsabilidad por los servicios de limpieza urbana recae sobre el municipio [14].

En 2003, se aprobó la Ley para la prevención y gestión de residuos (LGPGIR) [15]; de acuerdo con su contenido, hay tres tipos de residuos sólidos: urbanos, peligrosos, y de manejo especial. La ley también define que los grandes generadores (responsables de la generación de al menos 10 toneladas de residuos sólidos al año) están obligados a elaborar planes de gestión de residuos referentes a sus actividades. Además, la ley también aborda la responsabilidad compartida entre productores, exportadores, importadores, distribuidores y comerciantes, pero no asigna responsabilidades y tareas específicas para cada elemento que participa en el ciclo de vida de un producto, es decir, "responsabilidad extendida"; además de que omite cualquier referencia a los recolectores de materiales reciclables.

3.4 Efecto de las políticas públicas en Brasil

Un modelo de Programa de Recolección Selectiva Solidaria de la Municipalidad de São Paulo se estableció en 2003, basado en la inclusión de organizaciones de recicladores en la gestión de centros de clasificación de reciclables. A fines de 2004, 15 centros de clasificación ya habían sido establecidos en áreas públicas y eran operados por recicladores. La expectativa era implementar 31 centros, uno en cada municipio, previstos en el contrato de concesión, e incrementar la creación de empleos mediante la inclusión de otros grupos organizados de recicladores que trabajaban en la ciudad (más de 70 en ese momento). Esto, sin embargo, nunca ocurrió [16].

En este contexto, y sin los recursos de la tarifa de residuos sólidos, que fue revocada en 2005, hubo un impacto en la capacidad del gobierno municipal para administrar y mantener la calidad de los servicios prestados, y avanzar en la consolidación de la recolección selectiva con la inclusión de recicladores. En 2005 había 94 grupos organizados de recicladores en la ciudad, pero solo el 15 por ciento estaban vinculados a los centros de clasificación del municipio [16].

Las cantidades actuales desviadas del vertedero por el programa oficial de recolección selectiva -el equivalente a 120 toneladas por día- representan aproximadamente el uno por ciento de la cantidad total recolectada diariamente en la ciudad, o el 3.6 por ciento (considerando solo el 30 por ciento de los residuos domésticos como reciclables, que es una estimación conservadora). Y también se debe señalar que, de los 292 camiones contratados para recoger basura en la capital, solo 20 (7 por ciento) se utilizan en la recolección selectiva [17].

El Movimiento Nacional de Recicladores (MNCR) estima que hay 20,000 recicladores y más de 100 organizaciones de recicladores trabajando en la ciudad. De acuerdo con la Secretaría Municipal de Asistencia Social y Desarrollo (SMADS), en 2005 los recicladores representaron el 31 por ciento de la población sin hogar [18]. La mayoría de los recicladores trabajan de forma independiente en malas condiciones de salud y seguridad en las calles de São Paulo. Los residuos domésticos se eliminan en la calle para su recolección en bolsas de plástico, la mayoría de ellas con una capacidad de entre 30 y 100 litros, pero a menudo las personas disponen de materiales reutilizables, como periódicos y cartón por separado. La gran mayoría de los recicladores utilizan carretas o vagones y transportan un promedio de 500 kg, que puede alcanzar hasta 800 kg, y recolectan residuos en áreas residenciales y comerciales que disponen de una mayor cantidad de materiales reciclables. Algunos grupos de recicladores usan camiones para la colección [18].

En São Paulo, ya hay una gran cantidad de recicladores organizados. La expansión de la recolección selectiva es urgente y estratégica y en el futuro, si se realiza adecuadamente, con transparencia y diálogo con las partes interesadas, representa una oportunidad para reducir los costos de la ciudad con estos servicios, crear miles de empleos y promover una mayor corresponsabilidad de los ciudadanos para la limpieza urbana y la sostenibilidad.

3.4 Efecto de las políticas públicas en México

A pesar del fuerte control nacional de los sindicatos y sus líderes, en algunos casos aparecen algunas organizaciones autónomas y los recicladores pueden mejorar sus condiciones de vida. En el vertedero "Peñasco" en San Luis Potosí, la actividad de recolección va más allá de los límites de la mera subsistencia y proporciona a los recicladores una buena cantidad de ingresos extra, aparte de alimentos, ropa y recursos materiales para construir sus hogares. La actividad de pepena es productiva y más eficiente para ellos que el trabajo agrícola o artesanal: es un lugar privilegiado en términos de empleo, por lo tanto, intentan sostener la actividad [19].

La Sociedad de Materiales de Criadores (SOCOSEMA) que opera en Juárez, en la frontera entre Estados Unidos y México en El Paso, Texas, es una de las cooperativas de reciclaje más exitosas en México. Hasta los años 90's, los miembros recuperan 150 toneladas / día de papel, cartón, vidrio, plástico, caucho, huesos de animales, materia orgánica y metales [20]. Pero la falta de incentivos y los intentos de los grupos políticos, especialmente del Partido Revolucionario Institucional (PRI), por desestabilizar la asociación finalmente dieron fruto y para el momento en que se realizó este trabajo, no se encontraron más señales de actividad de esta sociedad.

En México, un gran porcentaje de la recuperación inicial de material reciclable valioso está en manos de recicladores del sector informal [21]-[24]. La falta de una gestión eficiente de los desechos induce prácticas de gestión tales como la quema y el entierro de los desechos [25]-[26], pero la participación de los recicladores mitiga el impacto ambiental de estas prácticas. Sin embargo, los recicladores del sector informal todavía están infravalorados y son víctimas de abuso [7].

3.5 Comparativo de las políticas públicas en México y Brasil y sus efectos

La Tabla 1 hace una comparación entre el papel de los pepenadores en Brasil y México, a partir de aspectos generales que se analizaron en esa investigación.

Tabla 1. Comparación de las Políticas Públicas y de algunas variables características del trabajo de pepenadores en Brasil y México

Categorías	México	Brasil
Presencia de cuestiones referentes al trabajo de pepenadores en leyes y políticas públicas	No hay políticas públicas favorables a pepenadores a nivel federal; a nivel municipal, hay normas que prohíben la pepena (Distrito Federal).	Hay políticas públicas favorables a pepenadores a nivel federal (como la Política Nacional de Residuos Sólidos – PNRS, de 2010) y en diversos municipios hay directrices que favorecen la incorporación formal y el reconocimiento de pepenadores (aunque se perciban fragilidades en su implementación).
Organización política de pepenadores	Hay la formación de sindicatos de pepenadores, que poseen características de cooptación política y actúan para controlar el trabajo de los pepenadores, y no para su emancipación política. Con la excepción de algunas experiencias (como en el municipio de Huajuapán, Oaxaca), no se percibe la organización autogestionaria del trabajo.	Hay la formación de cooperativas y asociaciones de pepenadores por todo el país (con mayor concentración en la región Sudeste); hay el Movimiento Nacional de Pepenadores (MNCR) que posee actuación nacional de base por los derechos de los pepenadores desde 2001 y que posee bases orgánicas por todo el país.
Percepción del pepenador acerca de su propio trabajo	Se percibe que los pepenadores, de manera general, también perciben su trabajo como indigno; cuando pepenadores de los rellenos perciben la importancia de su trabajo y se organizan, se llaman “recicladores” y no más “pepenadores”.	Se percibe una tendencia de que el pepenador de cooperativas o asociaciones reconozca la importancia de su trabajo en la cadena productiva del reciclaje, y, a partir de ahí, se articule para revertir la explotación e invisibilidad característicos de esa ocupación.
Lugares donde se hace la pepena	En los camiones de recolección de residuos de los municipios, en las calles, en estaciones de transferencia de residuos, en tiraderos, en muchos de los rellenos sanitarios (en algunos no se permite). En todos estos escenarios, prevalece la informalidad en el trabajo.	En las calles (de manera informal, como pepenadores autónomos, o formales, como miembros de cooperativas muchas veces contratadas como prestadoras de servicio a los municipios). En general, no se permite su actuación en rellenos sanitarios y hay restricciones en los tiraderos, por cuestiones de salud.
Percepción de la comunidad en general acerca de la pepena	La actividad es intensamente asociada a la invisibilidad social, y es comprendida como trabajo indigno.	Aunque es latente el prejuicio en relación al trabajo desarrollado por pepenadores, se percibe un grado de comprensión mayor en relación a la importancia de su trabajo (lo que también se evidencia por una mayor frecuencia de organizaciones de apoyo -de los sectores público, privado y tercero sector- a grupos de pepenadores).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 1, se percibe que, de manera general, aunque los pepenadores hagan un trabajo fundamental a las iniciativas del reciclaje en los dos países, estos trabajadores desempeñan un papel bastante diferente en los escenarios investigados. En Brasil, se percibe que hay iniciativas de organización de base

de pepenadores, que tuvieron avances en las últimas décadas como la aprobación de leyes favorables a su trabajo (como la PNRS) y la posibilidad de contratación de sus cooperativas y asociaciones por los ayuntamientos como prestadores de servicios. En cambio, en México estos elementos no fueron perceptibles en esa investigación; no hay organizaciones de base de alcance nacional que haga visible e indispensable la importancia del trabajo del pepenador, y tampoco políticas públicas que reconozcan y valoricen su trabajo. Del mismo modo, el apoyo desde otros actores sociales (incluso la sociedad civil) está restringido, inexistente o muestra rechazo al trabajo de los pepenadores, lo que es bastante diferente con respecto a lo que se puede percibir en municipios del estado de São Paulo, en Brasil.

4. Conclusiones

A partir del análisis de las políticas públicas presentadas, se puede concluir que Brasil y México tienen similitudes en el contexto de políticas públicas federales para gestión de residuos sólidos, como el concepto de responsabilidad compartida y la obligatoriedad de elaboración de planes de manejo por parte de grandes generadores – aunque en el caso brasileño la referida política no establezca una definición para "grandes generadores". Sin embargo, en relación a recolectores de materiales reciclables, solo la PNRS de Brasil contempla a este sector, lo que permite que la política pública brasileña sea de fomento en relación a la actuación de recolectores de materiales reciclables; mientras que, en México, su omisión en la LGPGIR, genera negligencia y propicia el clientelismo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Medina, M. 2007. Waste picker cooperatives in developing countries. *Membership-Based Organizations of the Poor*, v. 105, p. 21.
- [2] IPEA -Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2013.Situação Social das Catadoras e dos Catadores de Material Reciclável e Reutilizável - Brasil. Disponível em:<http://goo.gl/c5gHsC>. Acesso em: 01 set. 2017.
- [3] Guevara-García, J.A., Montiel-Corona, V. (2014). Pushing Mexico to a Recycle Culture. En el Libro *Mexico in Focus: Political, Environmental and Social Issues*. José Galindo (Ed.). Nova Science Publishers, Inc. Hauppauge, NY, USA. Capítulo 6, pp. 141-176. Series: Latin American Political, Economic, and Security Issues. ISBN: 978-1-63321-885-7.
- [4] Término adoptado en la Primera Conferencia Mundial de Recicladores en 2008. Recicladores sin Fronteras. Primer Congreso Mundial y Tercer Congreso Latinoamericano de Recicladores. Bogotá, Colombia. Marzo de 2008. Disponible en: <http://www.wiego.org/sites/default/files/reports/files/WIEGO-WastePickers-Conf-Report-2008-espanol.pdf>
- [5] Cohen P., IJgosse J., Sturzenegger G. Desarrollo de Planes de Inclusión para Recicladores Informales: Una guía operativa. Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo. Fondo Multilateral de Inversión y la División de Agua y Saneamiento del Banco Interamericano de Desarrollo, la Fundación Avina y Coca Cola América Latina. Disponible en: https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/697/guia_recicladores_final_espanolLOWweb.pdf?sequence=1
- [6] Birkberck C. Self-employed proletarians in an informal factory: the case of Cali's garbage dump. *World Development*, v. 6, n. 9-10, p. 1173-1185, 1978.
- [7] Berthier, H.F.C. La sociedad de la basura: caciquismo urbano en la Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales, 1990.
- [8] Demajorovic, J., et al. Integrando empresas e cooperativas de catadores em fluxos reversos de resíduos sólidos pós-consumo: o caso Vira-Lata. *Cadernos Ebape. Br*, v. 12, p. 513, 2014.
- [9] Goncalves, R.S. Catadores de materiais recicláveis: estudo de suas trajetórias de vida, trabalho e saúde. 2004. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2004.

- [10] Bortoli, M.A. Catadores de materiais recicláveis: a construção de novos sujeitos políticos. Revista Katálysis, Florianópolis: Edufsc, v. 12, n.1, p. 105-114, jan./jun. 2009. Disponível em: <https://goo.gl/iDHLJb>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- [11] Neto, T. J. P. (2011). A Política Nacional de Resíduos Sólidos: Os Reflexos nas Cooperativas de Catadores e a Logística Reversa. Diálogo, n. 18, pp. 77-96.
- [12] Brasil. 2010. Lei Federal nº 12.305 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília. Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 03/08/2010, p. 2.
- [13] Severi, F. C. 2014. Os catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis na Política Nacional de Resíduos Sólidos/The wastepickersattheNationalSolidWastePolicy. Revista Direito e Práxis, v. 5, n. 8, p. 152-171.
- [14] Bernache Pérez G. (2011) Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental Segunda edición. Publicaciones de la Casa Chata. CIESAS. México, DF.
- [15] México. 2003. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- [16] Pereira, M.C.G., Teixeira, M.A. A inclusão de catadores em programas de coleta seletiva: da agenda local à nacional. Cadernos EBAPE. BR, v. 9, n. 3, 2011.
- [17] Ribeiro, H., Besen, G. Panorama da coleta seletiva no Brasil: desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso. InterfacEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 2, n. 4, 2011.
- [18] MNCR - Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis. [2016]. Disponível em <<http://www.mncr.org.br>>. Acesso em 29/07/2016.
- [19] Guzman Chavez, M., Macias Manzanares, C.H. El manejo de los residuos sólidos municipales: un enfoque antropológico. El caso de San Luis Potosí, México. Estud. soc [online]. 2012, vol.20, n.39, pp.235-262. ISSN 0188-4557.
- [20] Luhrs, M.C., Berthier, H.C., Ziccardi, A. Basura y organización social: el caso de una sociedad cooperativa de pepenadores en Cd. Juárez, Chihuahua. Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México, 1991.
- [21] Arjona, I.G.G. Trayectorias laborales de pepenadores en Mérida, Yucatán: el quiebre laboral como alejamiento de trabajos formales. In: CORTÉS, O. M. et al (Org.). El trabajo que México necesita. Asociación Mexicana de Estudios del Trabajo (AMET). 1 ed. 2015.
- [22] Bernache, G. Basura y metrópoli: gestión social y pública de los residuos sólidos municipales en la zona metropolitana de Guadalajara. Universidad de Guadalajara, 1998.
- [23] Ojeda-Benítez, S., Armijo de Vega, C., Ramiro Barreto, M.E. Formal and informal recovery of recyclables in Mexicali, Mexico: handling alternatives. Resources, Conservation and Recycling, v. 34, n. 4, p. 273-288, 2002.
- [24] Sánchez, T.E. La justicia en la basura. Animal Politico, Agosto de 2016. Disponível em: <http://www.animalpolitico.com/blogueros-verdad-justicia-reparacion/2016/08/22/la-justicia-la-basura/>. Acesso: 10 de marzo de 2018.
- [25] Rodríguez, M.R. Estudio ambiental sobre los efectos que ejercen los subproductos de desechos sólidos de tipo doméstico em el vertedero al aire libre de Matatlán, Municipio de Tonalá, Jalisco. Tesis profesional de licenciatura em Biología, División de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de Guadalajara, México, 1998.
- [26] Atencio Pérez, R.M., Reyes-López, J.A., Guevara-García, J.A. (2013). Environmental risk assessment in a garbage dump with burning. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 29 (SUPPL. 3), pp. 107-117.

Modelo de gestión de residuos municipales en Cantabria, España

¹Ana López Martínez, ²Elizabeth Turcott Cervantes, ³Amaya Lobo García de Cortázar

¹Grupo de Ingeniería Ambiental, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n, +34 94220228, lopezan@unican.es

^{2,3}Universidad de Cantabria

Resumen

En este artículo se describe el modelo de gestión de residuos sólidos urbanos implantado actualmente en la comunidad autónoma de Cantabria, España. Si bien Cantabria es la cuarta comunidad con la generación per cápita más alta de España, también es la segunda comunidad que valoriza más residuos. Esto se logra a través de diversas estrategias enfocadas a cumplir la jerarquía de residuos, que van desde la recolección selectiva de residuos (domiciliarios y puntos limpios), hasta la transferencia y tratamiento de los mismos. Se describe todo el proceso que siguen los diversos flujos de residuos urbanos: envases ligeros (plásticos, metales y bricks), papel-cartón, vidrio, residuos mezclados (fracción resto) y otros flujos especiales. Por último, se describe el destino final en el Complejo Medioambiental de Meruelo, que funciona como una planta de tratamiento integral compuesta por: separación de materiales reciclables, planta de tratamiento mecánico biológico de la materia orgánica, planta de valorización energética, planta de valorización de escorias y recuperación de metales, y el vertedero de residuos no peligrosos (eliminación final) con recuperación de biogás (y producción de energía eléctrica) y tratamiento de lixiviados.

Palabras Clave: recolección selectiva, reciclaje, residuos sólidos urbanos, tratamiento mecánico biológico, valorización energética.

1. Introducción

En España se cuenta con una densidad de población de 92 hab/km² siendo la distribución de la población muy diferente según el grado de desarrollo económico y empresarial de zona. De esta forma Madrid, capital de España, cuenta con una densidad de población 802 hab/km² mientras que la región de Extremadura, cuya principal actividad económica proviene del sector primario, tiene una densidad de 26 hab/km².

La densidad de población en Cantabria es de 109 hab/km², con una población total de aproximadamente 585000 habitantes [1], en una superficie de 5327 km². Esta comunidad autónoma está formada por 102 municipios de los cuales el 80% tiene menos de 5000 habitantes, mientras que casi el 40% de la población se concentra en dos municipios, Santander y Torrelavega. Tanto la distribución de la población como la de las actividades económicas en esta comunidad autónoma está muy influenciada por la actividad turística de la comarca costera, como se puede observar en la Figura 1.

La legislación aplicable a la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) en Cantabria a nivel estatal comprende la Ley 7/1985 que regula las Bases del Régimen Local y la Ley 22/2011 de Residuos y Suelos Contaminados. Además, también tiene que cumplir la legislación a nivel autonómico, esto es, la Ley 8/1993 del Plan de gestión de Residuos Urbanos en Cantabria y la Ley 6/2005 de medidas administrativas y fiscales para la Comunidad de Cantabria.

De la normativa estatal aplicable se extrae que las Entidades Locales son las responsables de realizar el servicio de recolección, transporte y tratamiento de los residuos domésticos de hogares, comercios y servicios. Por su lado la normativa autonómica establece que los centros de transferencia, así como el transporte desde los centros de transferencia a las instalaciones finales, y la gestión final de los residuos urbanos es competencia de la Entidad Autonómica, por su carácter supramunicipal. Además, la Entidad

Autonómica debe hacerse cargo de la recolección y transporte de los residuos domésticos de las Entidades Locales que no tengan capacidad para gestionar estas etapas.

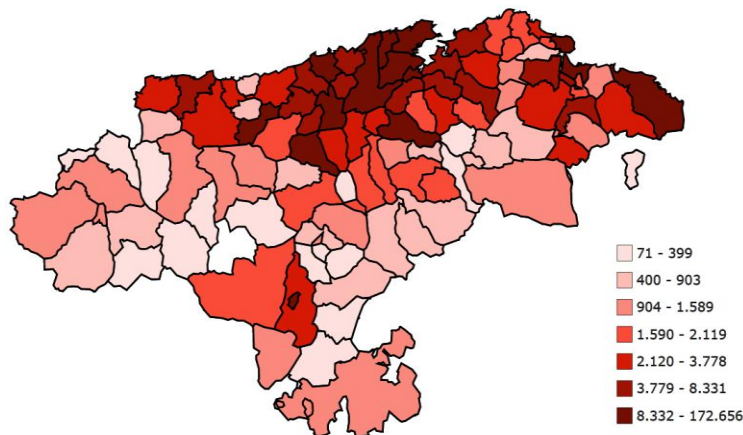


Figura. 1. Distribución de la población en Cantabria (número de habitantes) [1]

2. Modelo de gestión de RSU

El modelo de gestión de los RSU en Cantabria está orientado a favorecer de forma eficiente el mejor aprovechamiento, reciclaje y valorización de los residuos que se generan en esta región.

El sistema de recolección de RSU impuesto en la Comunidad está basado en cuatro contenedores para recoger selectivamente envases ligeros (plásticos y metálicos), papel-cartón y vidrio, y en otro contenedor la fracción resto (incluida la materia orgánica) [2].

El transporte del RSU hasta las instalaciones de tratamiento se realiza mediante camiones recolectores desde los municipios generadores o mediante camiones portacontenedores desde las estaciones de transferencia hacia el centro de tratamiento.

El residuo recogido comienza su tratamiento en las estaciones de transferencia (en caso de que se generen lejos del centro de tratamiento final) y se completa posteriormente en el Complejo Medioambiental de Meruelo o en los Centros de Recuperación y Reciclaje de El Mazo y Candina. En la Tabla 1 se muestra un resumen de las entidades responsables de cada etapa de gestión de residuos. En la Figura 2 se muestra un esquema del modelo de gestión de RSU en Cantabria.

Tabla 1. Entidades responsables por cada etapa de gestión de residuos en Cantabria

Entidad responsable	Recolección y transporte	Transferencia	Tratamiento	Eliminación (vertido final)
Gobierno de Cantabria	✓	✓	✓	✓
Entidades locales	✓	✗	✗	✗

Fuente: elaboración propia

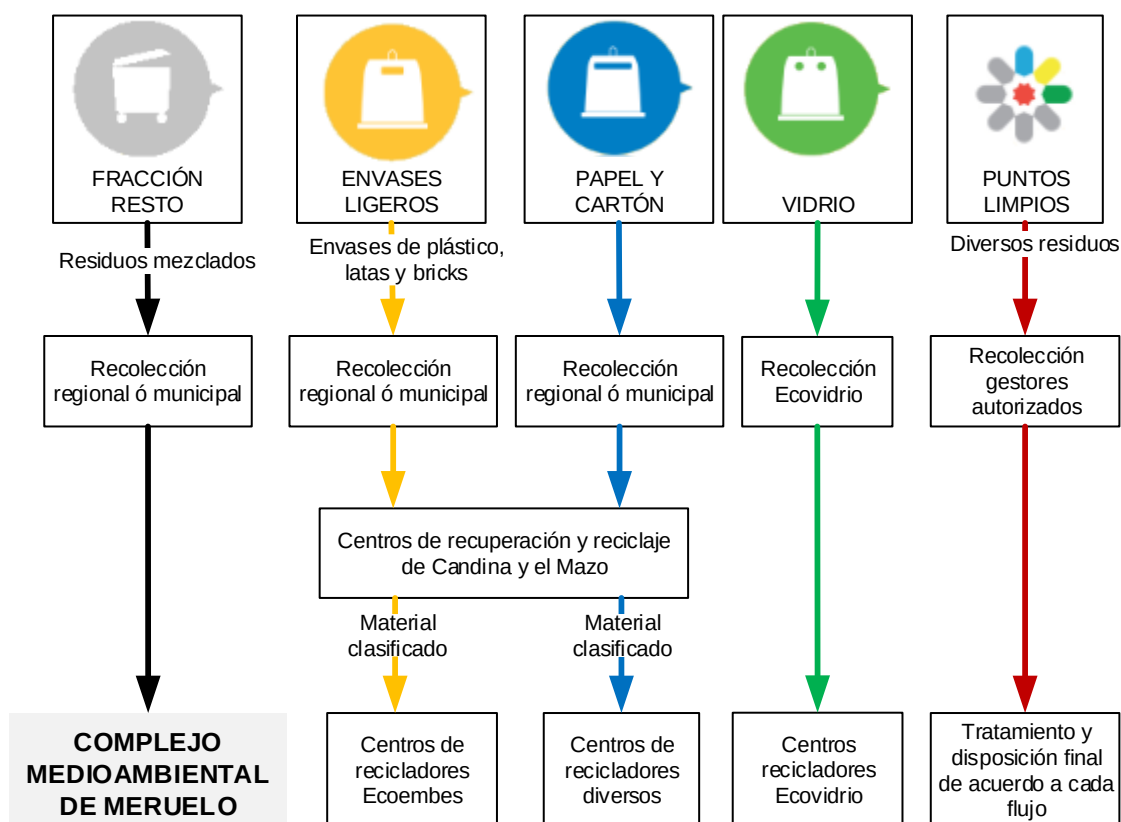


Figura. 2. Esquema del modelo de gestión de residuos en Cantabria.
(Fuente: elaboración propia)

3. Recolección, transporte y transferencia de los RSU

En la Tabla 2 se muestran los datos globales sobre la recolección de las distintas fracciones gestionadas en Cantabria, así como la entidad responsable de llevarla a cabo.

Además de la recogida de RSU en los puntos de generación, a través de contenedor en acera, se cuenta con una red de 36 puntos limpios fijos y 11 puntos limpios móviles¹ distribuidos en distintos municipios para cubrir toda la geografía, en los que se puede depositar diferentes tipos de residuos específicos generados en el hogar, como por ejemplo: aceites vegetales y minerales, ropa, aparatos eléctricos y electrónicos, neumáticos, restos de poda y jardinería, escombros, residuos voluminosos, etc. En el año 2014 se recogieron 41850 T de residuos en estas instalaciones. En la Figura 3 se muestra un esquema de un punto limpio fijo.

El sistema de depósito de residuos en Cantabria es principalmente mediante contenedores que pueden estar colocados en la vía pública o que estén soterrados. Además en dos zonas concretas de la capital, Santander, está implantado un sistema de recogida neumática. Estas zonas tienen calles estrechas con grandes dificultades para el paso de los camiones recolectores y con mucho tránsito.

¹ Aquí no se contabilizaron los puntos limpios móviles que tiene cada ayuntamiento, sólo los que maneja el gobierno de Cantabria a través de MARE [5]

Tabla 2. Datos sobre recolección de residuos en Cantabria en el año 2014

Entidad responsable Fracciones de recogida	Gobierno de Cantabria	Entidades Locales	Otras entidades
Fracción resto	75 municipios 150000 habitantes 55500 T	27 municipios 435000 habitantes 167800 T	-
Envases ligeros	89 municipios 250000 habitantes 1800 T	13 municipios 335000 habitantes 3500 T	-
Papel-cartón	88 municipios 240000 habitantes 3450 T	14 municipios 250000 habitantes 1800 T	-
Vidrio	-	-	Ecovidrio 102 municipios 585000 habitantes 10800 T

Fuente: [2].

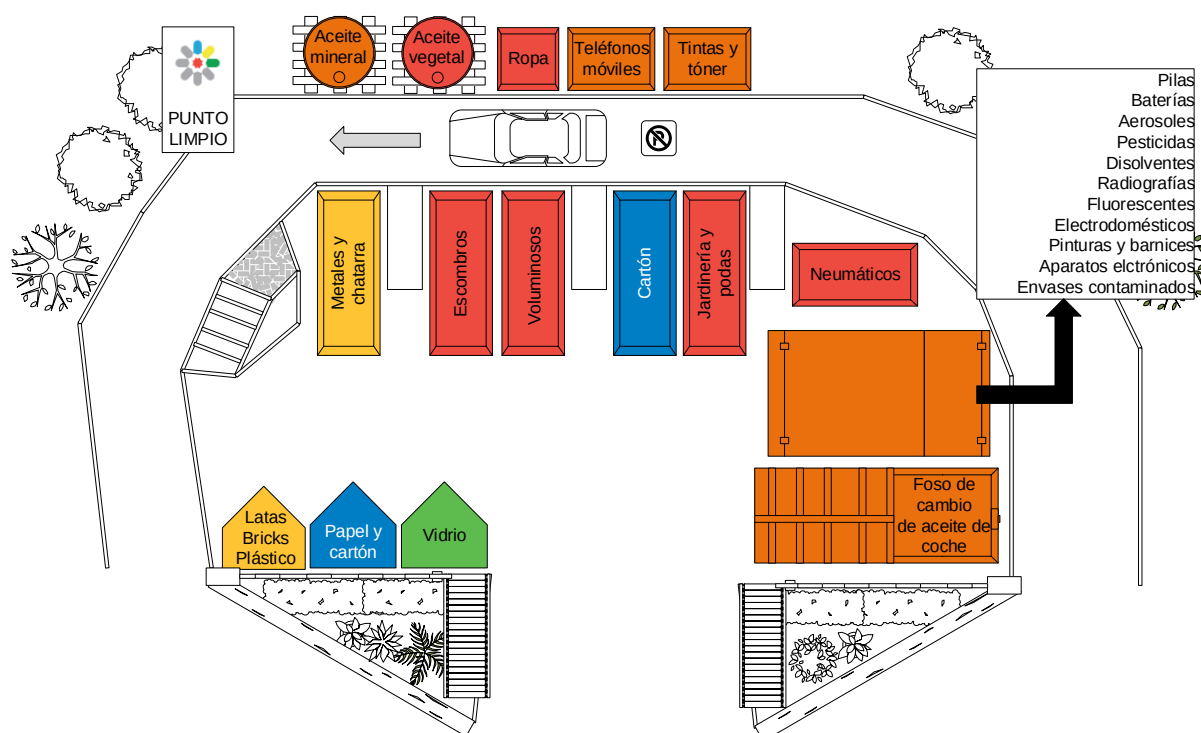


Figura. 3. Esquema tipo de un Punto Limpio fijo de Cantabria

(Fuente: elaboración propia)

En Cantabria existen 8 estaciones de transferencia donde se reciben los RSU generados en comarcas alejadas para optimizar los costes de transporte evitando el desplazamiento de los camiones recolectores hasta el centro de tratamiento. En el año 2014 se transfirieron 79200 T de residuos en estas instalaciones. En la Figura 4 se muestra la distribución de las estaciones de transferencia (puntos grises) dentro de la provincia con respecto al Complejo Medioambiental de Meruelo (punto rojo).

4. Tratamiento

4.1. Centros de recuperación y reciclaje

Existen tres centros de recuperación y reciclaje (CRR) en Cantabria [2]; Candina, El Mazo y el ubicado dentro del Complejo Medioambiental de Meruelo. En el proceso de recuperación y reciclaje del papel-cartón y el vidrio participan también algunos gestores autorizados. El tratamiento de los envases ligeros en los CRR consiste en pasar por una serie de procesos semiautomáticos de clasificación por materiales hasta formar balas que son entregadas a gestores autorizados para su reciclado [1].



Figura. 4. Localización de las estaciones de transferencia en Cantabria

(Fuente: elaboración propia)

En la Tabla 3 se muestra el resumen de los residuos gestionados en cada centro, así como las entidades responsables de operarlos.

La planta de tratamiento integral de Meruelo no sólo incluye la recuperación de los materiales mostrados en la Tabla 3, sino que también realiza un tratamiento de la materia orgánica, valorización energética y la valorización de escorias y recuperación de metales, que se explican en detalle en los siguientes apartados.

El reciclaje del papel-cartón se realiza a través de diversos gestores privados que recuperaron 10821 T en el año 2014. Por otro lado, el encargado del reciclaje de los envases ligeros procedentes de los CRR de la comunidad es Ecoembes (organización nacional autorizada de recuperación de residuos de envases de España, Ecoembalajes España, S.A.) con 3780 T en 2014, mientras que el encargado de la recuperación del vidrio es Ecovidrio (entidad sin ánimo de lucro encargada de gestionar los envases de vidrio en España) con 10236 T de vidrio recicladas en el mismo año [2]

Por otro lado cada flujo de residuos recogido en los puntos limpios (fijos o móviles) se envía al gestor autorizado correspondiente (por ejemplo pilas a Ecopilas (Fundación para la Gestión Medioambiental de Pilas)).

Tabla 3. Datos sobre la recuperación y reciclaje en Cantabria

Centro	Residuos gestionados [1]	Entidad responsable [1], [3]	Residuos tratados [2]
CRR Candina	– Papel-cartón – Envases ligeros	SAEMA/AMICA	4000 T/año
CRR El Mazo	– Papel-cartón – Envases ligeros – Trituración de voluminosos procedentes de vertedero para recuperación de reciclables	MARE	10400 T/año
Planta de Tratamiento Integral de Meruelo	– Papel-cartón – Envases ligeros – Vidrio – Materia orgánica	TIR Cantabria	220000 T/año

4.2. Planta de tratamiento integral de RSU

Esta planta está compuesta por un área de separación de materiales reciclables seguida de planta de tratamiento mecánico biológico de la materia orgánica y una planta de valorización energética complementada por procesos de valorización de escorias y recuperación de metales. Las primeras están en funcionamiento desde el año 2002, mientras que las últimas comenzaron a operar en 2006. En la Figura 5 se muestra un esquema de la planta de tratamiento integral de Meruelo.

4.2.1. Área de separación de materiales reciclables

El tratamiento de los RSU comienza con su recepción en una báscula donde se controla la cantidad y su procedencia. Una vez registrado el peso del residuo, los camiones se dirigen al área de pretratamiento, donde se realiza la descarga en el foso de recepción. Desde ahí, los RSU se envían a los alimentadores de la planta.

El residuo pasa por una primera fase de recuperación de materiales voluminosos mediante selección manual para que impedir que esos materiales interrumpen el buen funcionamiento de las líneas. Posteriormente se transporta por cintas a unos trómeles que separan la parte “orgánica” (< 90 mm) de la “inorgánica”.

La parte “inorgánica” o de tamaño superior a 90 mm se transporta a una cabina de separación manual en la que se retiran los productos reciclables, como papel, cartón, plástico o bricks que son depositados en compartimentos diferenciados. De cada compartimento se transportan mediante un sistema de cintas a la prensa de plásticos y cartón donde son embalados para después almacenarlos antes de su comercialización. Mientras, la fracción no seleccionada se somete a un proceso de separación automática del material férreo por electroimanes, que envían este material a la prensa de férricos para ser empacados.

La fracción restante se incorpora a las dos líneas de tratamiento de la parte orgánica dónde pasa por un proceso de separación mecánica del material férreo y del aluminio (por electroimanes y corrientes de Foucault) antes de su traslado al parque de fermentación.

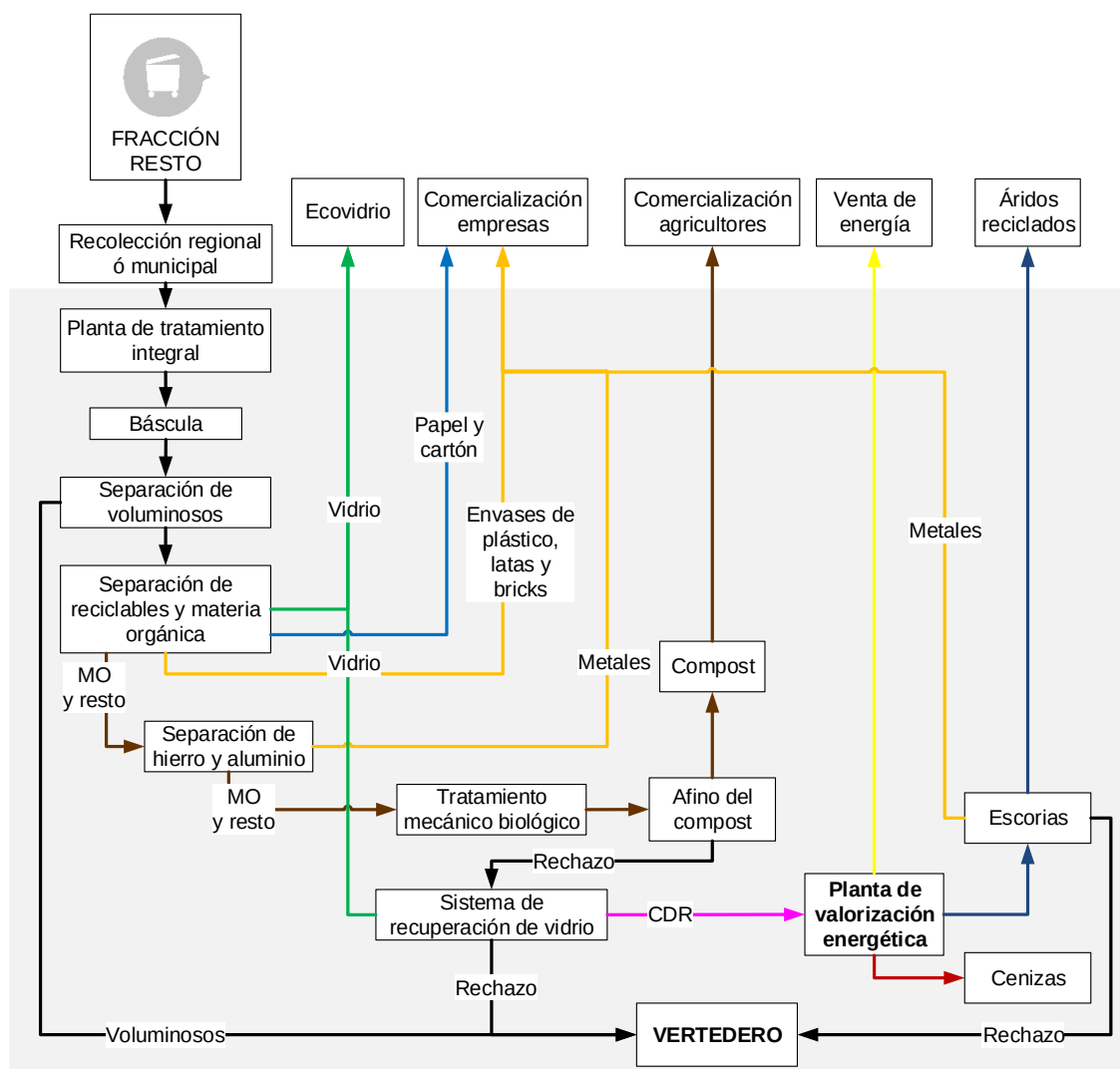


Figura. 5. Esquema de la planta de tratamiento integral de Meruelo

(Fuente: elaboración propia)

La Tabla 4 muestra los materiales recuperados en el área de separación de materiales reciclables en el año 2016.

4.2.2. Planta de tratamiento mecánico biológico (TMB) de la materia orgánica

El parque de fermentación de la planta TMB está formado por dos naves en las que dos máquinas apiladoras y volteadoras se encargan de voltear los residuos para su correcta degradación. El proceso consiste en voltear la materia orgánica semanalmente hasta completar un total de ocho volteos, uno a la semana durante ocho semanas.

Cuando termina el proceso de fermentación, el compost bruto es sometido a un proceso de recuperación de la fracción combustible (> 42 mm) mediante trómel. Esta fracción combustible es la que forma el combustible derivado de los residuos (CDR) que alimentará la planta de valorización energética.

Tabla 4. *Materiales reciclables recuperados en la planta de tratamiento integral de Meruelo*

Material	Cantidad (T) [1]	Recuperación (%) [1]
Papel-cartón	7100	3.22
Férrico	5500	2.50
Plásticos	1000	0.45
Vidrio	5300	2.41
Bricks	200	0.10
Aluminio	700	0.32
TOTAL	19800	9.00

La fracción menor de 42 mm pasa por un proceso de afino que consiste en la separación y eliminación de los elementos de tamaño superior a 15 mm mediante cribado y la separación de los elementos pesados (cerámica, vidrio e inertes) y la eliminación de los elementos volátiles (plásticos). De esta forma se consigue compost que se almacena hasta su comercialización. La cantidad anual de compost recuperado es de aproximadamente 26000 T, lo que supone una recuperación del 12 % de RSU tratado. Este compost se utiliza como abono orgánico y es rico en carbono, nitrógeno y potasio.

Durante la degradación de la materia orgánica, se generan gases y se volatilizan los compuestos más ligeros. Un porcentaje de estos gases es captado por un sistema de aspiración y enviado a la planta de valorización energética, para utilizarlo como aire primario de combustión. El resto de los gases se conducen hasta un biofiltro donde, saturados de humedad y en contacto con el aire y un medio soporte rodeado de microorganismos, se produce su depuración.

Los rechazos procedentes del afino del material compostado constituyen el material de entrada al proceso de recuperación de vidrio. Un proceso que consiste en un cribado primario para la eliminación de materiales finos, una separación de elementos ligeros y pesados, un cribado para la separación de gruesos, y finalmente una separación óptica del vidrio. El rechazo de todo este proceso es el material destinado a depósito final en el vertedero.

4.2.3. Planta de valorización energética

Para completar el aprovechamiento de los residuos esta instalación cuenta con una planta de valorización energética, cuya función es convertir el CDR en energía eléctrica. La entrada media anual de CDR a la planta es de 120000 T: el 93% proviene de la planta de reciclaje, compostaje y afino y el otro 7% de los puntos limpios regionales.

El CDR se deposita mediante una cinta transportadora en un foso con capacidad suficiente para 3 días de almacenamiento. La alimentación del horno se realiza con una tolva que descarga el CDR en el horno según establezca el sistema automático de combustión. En la planta existen dos circuitos: el de gases y el de agua-vapor.

El circuito de gases se inicia en el horno donde se queman los residuos de forma controlada añadiéndole aire suficiente para que se produzca la combustión completa de los residuos. El interior del horno está cubierto de material refractario y dispone de una cámara de combustión de tipo parrilla de rodillos. Las escorias o productos que no pueden ser quemados (unas 16500 T/año), se extraen por la parte inferior del horno y de allí se envían a la planta de valorización de escorias y recuperación de metales. El horno también

cuenta con un sistema de combustión adicional compuesto por dos quemadores de gas natural que aseguran las temperaturas mínimas de combustión establecidas en la normativa vigente. Un primer tratamiento de los gases de escape se realiza mediante inyección de una solución de urea al 40% para eliminar los óxidos de nitrógeno.

Por la parte superior del horno ascienden los gases generados en la combustión de los residuos, que pasan a la caldera de recuperación de calor. Desde ahí son enviados al sistema de limpieza de gases compuesto por un reactor Circoclean, que consiste en un sistema de lecho fluido en el que se añade agua, carbón activo y cal y después completado con filtros de mangas (1500 mangas de 6 metros de longitud cada una). Junto con el reactor Circoclean estos filtros se encargan de absorber los elementos contaminantes logrando así que las emisiones cumplan con el Real Decreto 815/2013 por el que se aprueba el Reglamento de Emisiones Industriales. El 75% de las cenizas generadas en la limpieza de los gases se recirculan al reactor y el resto es evacuado a un silo para su tratamiento como residuo peligroso por Gestor Autorizado (unas 5100 T/año). Una vez que el gas está limpio es evacuado a la atmósfera a través de una chimenea equipada de sistemas de vigilancia y equipos de monitorización en continuo de las emisiones.

El circuito agua-vapor se origina cuando los gases generados en el horno pasan a la caldera donde transfieren su energía calorífica. Este proceso se realiza gracias al agua que circula por los tubos de la caldera que absorbe el calor de los gases y lo convierte en vapor a alta temperatura y presión. Este vapor se envía al turbogruppo donde se genera energía eléctrica suficiente para abastecer el consumo interno de la planta. El resto se exporta a la red eléctrica. La generación eléctrica media en esta planta es de unos 92000000 kWh/año. El sobrante de vapor y condensados a baja presión son conducidos hasta el aerocondensador para ser transformados posteriormente en agua que será enviada nuevamente a la caldera mediante bombas, para reintegrarla al sistema.

4.2.4. Planta de valorización de escorias y recuperación de metales

En esta planta se valorizan las escorias procedentes de la planta de valorización energética, unas 16500 T/año. Tras un proceso de maduración son clasificadas por granulometría en diferentes tamaños obteniendo áridos reciclados.

En esta instalación se recuperan además los metales de las diferentes fracciones de la escoria mediante separadores magnéticos, de inducción para las fracciones de férrico y aluminio y un triaje manual para la fracción de acero inoxidable. Como resultado se obtienen metales (1000 T/año) y áridos reciclados (12500 T/año), el resto se conduce a vertedero (3000 T/año).

5. Eliminación: vertedero de residuos no peligrosos de Meruelo

El vertedero de residuos no peligrosos de Meruelo tiene una superficie aproximada de 178000 m² con una capacidad total de unos 6000000 T y una vida útil aproximada de 17 años.

El vertedero se explota como relleno sanitario con capas de residuo de 4 m de espesor con cobertura intermedia de material limo-arcilloso de unos 0,2 m. Posee una compactadora “pata de cabra” con posicionamiento GPS que supervisa en tiempo real el grado de compactación alcanzado para maximizar la vida útil del vertedero. Además cuenta con un sistema de captación controlada del biogás generado en el vertedero y un sistema de recolección de los lixiviados originados en el mismo.

5.1. Planta de aprovechamiento del biogás

La planta de aprovechamiento del biogás generado en el vertedero comenzó su funcionamiento en 1998. Actualmente cuenta con 70 pozos de extracción activos en el vertedero conectados en 12 líneas que lo

transportan hacia la planta. Estos pozos tienen un radio de influencia de 25 m y una profundidad que varía entre los 4 y los 35 m.

El biogás del vertedero se utiliza como combustible de seis grupos motor-alternador, de 477 kW de potencia cada uno y tres transformadores de 380V a 12000V, que producen energía eléctrica para autoconsumo y exportación a red eléctrica. Cuenta además con una antorcha con capacidad de 700 Nm³/h, el quemador principal con temperatura entre 800 y 900 °C y un sensor para control de la presencia de llama [4].

En 2015 se captaron 4747562 m³ de biogás con una composición de 59 % de metano y con un poder calorífico inferior de 5.80 kWh/m³. En ese año se generó 9498839 kWh de energía [4] de los cuales aproximadamente un 5% se utilizó para autoconsumo (consumo de equipos y pérdidas) y el 95% restante se exportó a la red eléctrica.

El Real Decreto 1481/2001 por el que se regula la Eliminación de Residuos mediante Depósito en Vertedero, estableció que, a partir de julio de 2016, la cantidad total (en peso) de residuos urbanos biodegradables destinados a vertedero no debía superar el 35% de la cantidad total de residuos urbanos biodegradables generados en 1995. Esta limitación provocó que gradualmente, el vertedero de Meruelo recibiera menos cantidad de residuos biodegradables pasando de un 72% en 2006 al 28% en 2015. Este hecho afectó considerablemente la generación de biogás, y por tanto el aprovechamiento y rentabilidad de la planta de tratamiento del biogás. A partir de 2009 la producción de biogás comenzó a descender por lo que en la actualidad la planta funciona por debajo de su capacidad (2862 kWe). Por este motivo está previsto que aproximadamente en 2030 se detendrá completamente su funcionamiento para producción de energía eléctrica [4].

5.2 Planta de tratamiento de lixiviados

La planta actual de tratamiento de lixiviados inició su funcionamiento en el año 2009. El volumen medio anual de lixiviado tratado es de unos 145000 m³ con un caudal medio de unos 650 m³/d con concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) de 5000 mg/L y de nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺) de 2000 mg/L. El lixiviado diario a tratar está muy influenciado por la precipitación que cae en el vertedero, por lo que oscila entre los 250-450 m³/d en época de verano y los 650-850 m³/d en invierno.

El proceso principal de la planta es un tratamiento biológico de alta carga con separación de biomasa a través de ultrafiltración MBR (Reactores Biológicos de Membrana) con el que se obtiene una reducción del 80% de DQO y del 99% en N-NH₄⁺ en el efluente de salida.

El lixiviado generado en el vertedero se bombea hacia 4 balsas de almacenamiento interconectadas con una capacidad total máxima de 25000 m³. Antes de comenzar el tratamiento, el lixiviado es cribado en un rototamiz para separar todo sólido de tamaño superior a 0.5 mm, pretratamiento fundamental para proteger el sistema de ultrafiltración.

El tratamiento biológico está subdividido en cuatro reactores en los que tienen lugar los procesos de nitrificación y desnitrificación. En los dos primeros reactores se produce la nitrificación en el que las bacterias *Nitrosomonas* transforman el nitrógeno amoniacal en nitritos en presencia de oxígeno disuelto y las *Nitrobacter* transforman los nitritos en nitratos. En el siguiente reactor se produce la desnitrificación en ambiente anóxico, aquí las bacterias heterótrofas convierten los nitratos de la fase anterior en nitrógeno gas que se libera a la atmósfera. El fango resultante del tratamiento biológico es conducido al último reactor, de post-desnitrificación, que mejora la eliminación de nitratos en el vertido final. Desde este último reactor el lodo se bombea hasta el sistema de ultrafiltración MBR con membranas externas. En este proceso se consigue una separación total de la biomasa del efluente biodegradado, libre de sólidos en suspensión.

6. Conclusiones

En este trabajo se presenta un ejemplo de gestión mancomunada en el tratamiento y disposición final de los residuos municipales en una región con gran número de municipios pequeños, en la que conviven modelos donde la recolección y el transporte es municipal, en los grandes municipios, con otros donde estas fases de gestión también son mancomunadas.

Al plantear el tratamiento y disposición final conjuntos, se alcanzan economías de escala que permiten disponer de tecnologías avanzadas de separación y aprovechamiento de materiales y de protección ambiental en el vertedero, que no serían abordables por cada uno de los municipios separadamente.

El caso descrito muestra además un ejemplo del estado de aplicación de las tecnologías en gestión de residuos municipales en búsqueda de completar el ciclo de materiales, y maximizar el aprovechamiento de los residuos

Referencias Bibliográficas

- [1] MARE and Gobierno de Cantabria, “Tratamiento de Residuos,” 2007. .
- [2] Gobierno de Cantabria, “Plan de residuos de la comunidad Autónoma de Cantabria 2017-2023.” 2017.
- [3] Divulgación Ambiental SAEMA-AMICA, “Gestión de residuos: SAEMA empleo SLU.” Presentación de la empresa durante la visita a las instalaciones de CRR Candina, 2015.
- [4] MARE and Gobierno de Cantabria, “Valorizar energéticamente los residuos: El caso del biogás del vertedero. La planta de Meruelo.” Santander, España, pp. 1–55, 2016.
- [5] MARE and Gobierno de Cantabria, “Instalaciones MARE. Puntos limpios móviles,” 2007. .

Diagnóstico de la operación del sistema de limpia pública del municipio de Acula, Veracruz

¹Ninfa Dolores Loyo, ¹Elena Rustrián Portilla, ²Abigail Zamora Hernández, ¹Michel Canul Chan, ¹Gloria González-López*

¹Laboratorio de Gestión y Control Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prol. Oriente 6 N° 1009, Col. Rafael Alvarado. Orizaba, Ver. CP 94340. México. Tel. 01-22-88-42-17-00 ext 33303. ²Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana. *glorgonzalez@uv.mx

Resumen

En este trabajo se realizó el diagnóstico del sistema de limpia pública del municipio de Acula, Veracruz, México. Para esto se efectuaron estudios de tiempos y movimientos de barrido y recolección, cuyo propósito fue conocer el desempeño del personal, los tiempos de recorrido, la trayectoria, así como la eficiencia. Además, se diseñaron y aplicaron tres tipos de encuestas dirigidas: a usuarios (de la cabecera municipal y congregaciones), al personal (barrido y recolección) y a las autoridades, con el fin de establecer la percepción del servicio de cada uno de estos actores.

Los resultados de campo comprobaron que el servicio de limpia pública es deficiente. El 45% de la población no cuenta con el servicio de recolección, pero el 35% comenta que pasa cuatro veces a la semana. Respecto a barrido, al 69% de los habitantes encuestados no se les otorga el servicio y solo al 14% le barren la calle cinco días a la semana. En cuanto a la calidad, el 85% de las personas encuestada comentó que el servicio de limpia pública es malo, mientras que el 15% dijo que es regular. Por tal motivo, la mayoría de los encuestados queman los residuos (55%) y el 8% los tiran al río. Finalmente, la autoridad responsable comentó que no cuentan con presupuesto para el servicio de recolección, por lo que la tarea queda a cargo de un particular, que cobra una cuota por recolectar los residuos.

Palabras Clave: *Diagnóstico, generación, indicadores, residuo, servicios.*

1. Introducción

En el año 2014, en el estado de Veracruz se recolectaban más de seis mil toneladas diarias de residuos sólidos urbanos (RSU) [1]. Los cuales pueden provocar contaminación al ambiente, el deterioro de los recursos naturales y puede alterar la salud pública, cuando estos desechos se manejan inadecuadamente. Esta problemática va en aumento como consecuencia del crecimiento acelerado de la población y a los hábitos de consumo, entre otros aspectos [2].

La disposición final de los residuos, su tratamiento, traslados y su recolección son responsabilidad de cada Municipio, tal cual lo declara la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el artículo 115 [3]. Sin embargo, el mal manejo y la disposición final de los RSU son problemas comunes que se presentan en diferentes municipios del Estado de Veracruz, los espacios donde se disponen son habitualmente tiraderos a cielo abierto, y en pocas ocasiones rellenos sanitarios. También existen hábitos inadecuados que adoptan las personas para la eliminación de sus residuos, como la quema, la descarga a barrancas, terrenos baldíos o a las corrientes de agua.

Los municipios del Estado de Veracruz enfrentan diversas problemáticas debido a sus limitadas capacidades técnicas y financieras, pues no cuentan con personal capacitado o recursos financieros que den certeza a las inversiones del sector privado. Debido al corto tiempo de las administraciones, lo que conlleva a la ruptura

de la curva de aprendizaje, y por ende a una falta de continuidad en las acciones y proyectos que garanticen una gestión integral de los RSU [4]. El municipio de Acula, Veracruz, México, ubicado en la zona costera central, conocida como las llanuras del Sotavento, no es ajeno a estos problemas de manejo de RSU. Se observan bolsas de basura en las calles y gran cantidad dispersa en áreas públicas. La disposición final de los RSU se efectúa en un tiradero a cielo abierto cerca de viviendas de la localidad [5]. En este contexto, el presente trabajo tiene como propósito diagnosticar la operación del sistema de limpia pública; aplicar encuestas a los usuarios y autoridades involucradas, con el fin de conocer la percepción del servicio, y determinar la problemática.

2. Metodología

En este apartado se describen las etapas que se desarrollaron para elaborar el presente trabajo, con el fin de analizar la problemática del municipio y generar propuestas de mejora en el servicio.

2.1 Descripción de la situación actual del sistema de limpia pública

Todos los sistemas de limpia pública mexicanos deben incluir cinco actividades: barrido, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos. En este trabajo se analizó la manera cómo se desarrolla cada una de dichas actividades, para lo que se solicitó información a los responsables de Limpia Pública del municipio (Tabla 1).

Tabla 1. Elementos del servicio de limpia pública considerados para realizar el diagnóstico.

Recolección y traslado	Barrido	Tratamiento y disposición final
Cobertura (habitantes atendidos)	Áreas atendidas	Localización del sitio
Número de vehículos recolectores y capacidad	Longitud de calles y avenidas	Área disponible
Turnos	Áreas públicas cubiertas	Situación legal del sitio
Rutas	Rutas	Equipo empleado
Personal involucrado	No. de barrenderos	Separación in situ
Días laborados de la semana	Turnos	Horario de recepción
Equipo para el personal	Operativos especiales	Costo mensual
Tonelaje semanal recolectado	Equipo empleado	-
Presupuesto	Presupuesto	-

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Estudio de tiempos y movimientos de las rutas de recolección y barrido

Las rutas de recolección representa una de las actividades más importantes, porque permite desalojar los RSU que se generan en las diferentes fuentes de Acula. Las rutas son los recorridos específicos que deben realizar diariamente los vehículos en las zonas de la localidad; tiene como fin recolectar los RSU generados como consecuencia de las actividades de la comunidad. Respecto a las rutas de barrido se enfoca en atender áreas públicas y zonas recreativas, como parques, zonas peatonales o de concentración, tales como el panteón, este servicio atiende los cinco días a la semana.

Se desarrolló un estudio de tiempos y movimientos de ambos servicios (recolección y barrido), con el objetivo de conocer el desempeño del personal, los tiempos de recorrido, la trayectoria, así como la

eficiencia y la organización, como principales componentes del sistema. Este estudio se realizó durante una semana para cada servicio, el barrido se presta cinco días de la semana de lunes a viernes; el de recolección lunes, miércoles, viernes y sábado. Previamente se explicó dicho estudio al personal, con el fin de que realizaran sus labores de forma normal para no alterar los resultados. Se emplearon cédulas de campo donde se anotó la información obtenida en los estudios.

2.3 Diseño de encuestas para evaluar el sistema de limpia pública

Con el objetivo de conocer la percepción del servicio, se diseñaron encuestas dirigidas a tres sectores del municipio, involucrados en el sistema de limpia pública. Donde cada una proporcionó información particular, como se describe a continuación:

Usuarios: brindan información de calidad del servicio, frecuencia y costo. El municipio de Acula cuenta con 5,129 habitantes; 2,639 viven en la cabecera municipal, el resto en 11 congregaciones.

Personal de limpia: preguntas para conocer las funciones que desempeña cada uno de los miembros, el equipo utilizado para recolección y barrido, así como el de protección personal, herramientas, inconvenientes encontrados, sueldos y organización.

Autoridades: permitió obtener datos sobre planeación del servicio, costos, problemas detectados, cambios efectuados, nivel de eficiencia, entre otros.

2.4. Aplicación de cuestionarios

Los detalles de la aplicación de encuestas se resumen en la Tabla 2. Debido al reducido número de personas que forman parte de Limpia Pública, se decidió entrevistar a todos. Respecto a los usuarios, se aplicaron 22 cuestionarios en la cabecera, porque el 52% del total de la población se asienta ahí; las 18 restantes se hicieron en las congregaciones; el tamaño de la muestra obedeció a las observaciones previas efectuadas en el municipio, donde la población es homogénea, por lo que la muestra se redujo al aplicar la fórmula correspondiente. El resultado arrojó 15, pero se decidió aumentarlo a 40, lo que permitió incrementar el nivel de confianza inicial, que era de 95%.

Tabla 2. Distribución y número de encuestas para Acula, Veracruz

Usuarios	Personal	Autoridades
22 cabecera	3 recolección	Alcalde
18 congregaciones	2 barrenderos	Regidor

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Diagnóstico del servicio

Considerando todos los datos de gabinete y de los estudios de campo, se realizó el diagnóstico del sistema de limpia pública. Durante esta actividad se desarrollaron los indicadores de desempeño. Se realizaron de dos tipos: cualitativos y cuantitativos. Los indicadores cuantitativos incluyeron los porcentajes de cobertura y eficiencia de recolección y barrido de RSU. Por su parte, los cualitativos se enfocaron a las características de la prestación y organización del servicio; aspecto físico de las instalaciones y calidad.

3. Resultados

3.1. Percepción de los actores involucrados en el servicio

Usuarios

Se realizaron 22 encuestas en casas de la cabecera municipal; en nueve congregaciones se aplicaron 18 cuestionarios, las congregaciones fueron: Cerro de las Flores, San Miguel Xóchitl, Ciénega de los Caballos, Abrevadero, Poza Onda, la Mojarra, San Carlos, el Jotal, Atzizintla y Remolino. En la Figura 1 se señalan las casas encuestadas en la cabecera municipal. La aplicación de los cuestionarios se realizó con el fin de contar con una evidencia física que reforzará la información obtenida en campo y la que proporcionaron los encargados de servicio de recolección, así como los de barrido.



Figura 1. Ubicación de encuestas a usuarios (cabecera municipal).

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los cuestionarios mostraron que al 45% de la población encuestada no recibe el servicio de recolección; Este dato se comprobó al efectuar recorridos en campo con el servicio particular, ya que solo atienden al 55% de los habitantes que se encuentran en la cabecera. El 35% de los encuestados que si reciben el servicio de recolección, manifiesta que pasa cuatro veces a la semana (Figura 2A). Mientras que el servicio de barrido no se otorga al 69% de los encuestados, solo el 14% señaló que barren su calle cinco días a la semana (Figura 2B).

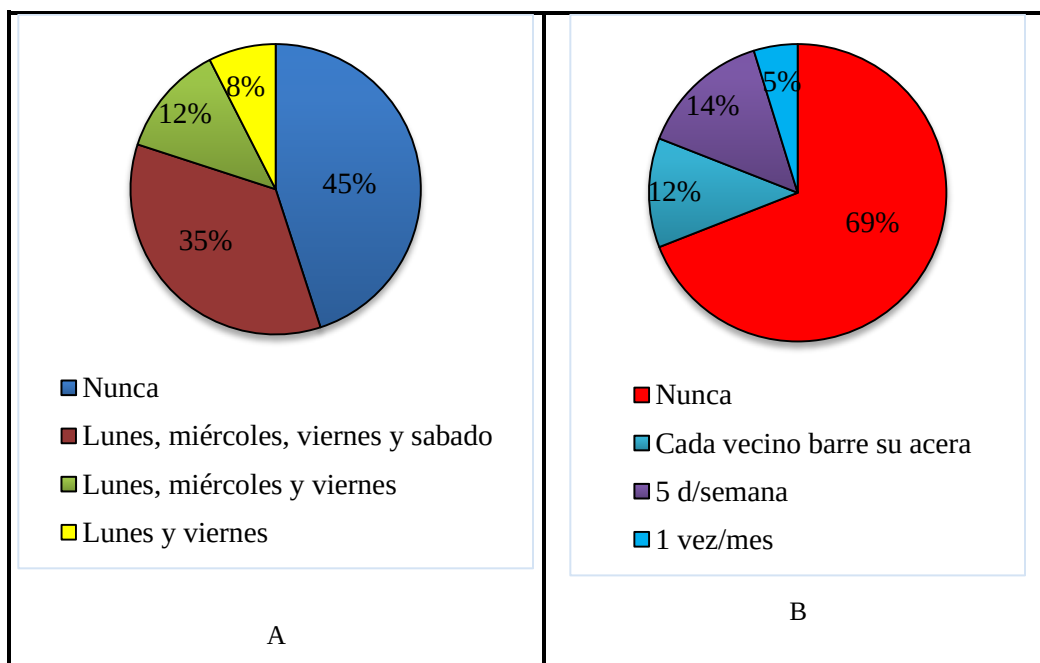


Figura 2. Frecuencia del servicio de recolección en % a los usuarios entrevistados (A). Frecuencia de barrido de RSU en % (B).

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la calidad, el 85% de la población encuestada comentó que el servicio de limpia pública es malo, mientras que el 15% dijo que es regular (Figura 3A). Cuando no se cuenta con servicio de recolección, los habitantes tienen cuatro alternativas, la mayoría queman los residuos (55%), una cuarta parte los tiran en terrenos baldíos; el 12% dice que la almacena y sólo el 8% los tiran al río (Figura 3B).

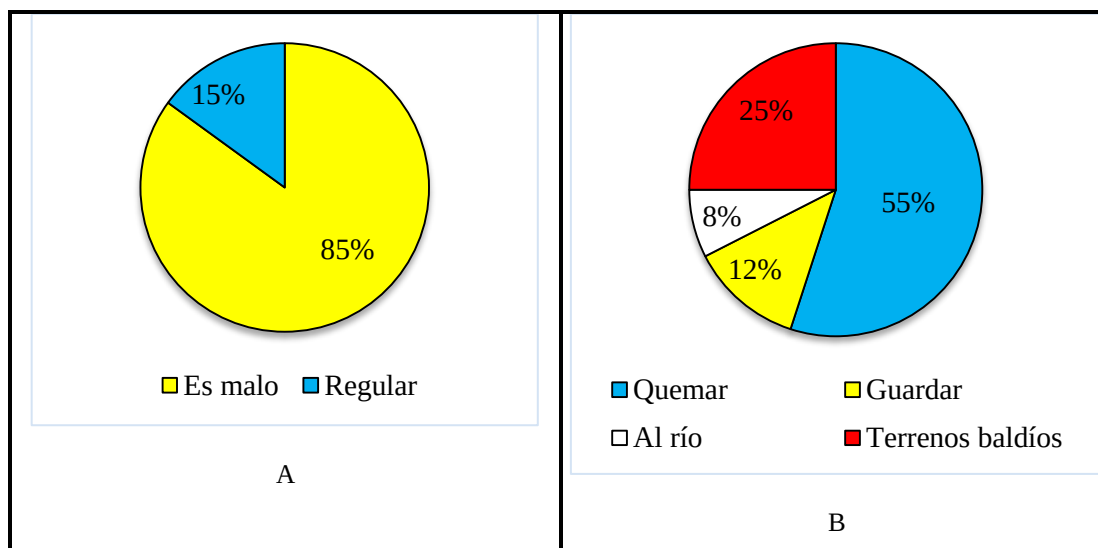


Figura 3. Percepción de la calidad del servicio de limpia pública por los usuarios entrevistados (en %) (A). Disposición de RSU cuando el servicio falla, por parte de los entrevistados en % (B).

Fuente: Elaboración propia.

En lo que se refiere a costos, el 45% de la población encuestada comentó que no pagan por el servicio, porque el carro recolector no pasa; el 40% paga generalmente una cuota de cinco pesos, lo cual depende de la cantidad que generan de residuos, ya que puede ser del doble.

Personal de limpia pública

Después de entrevistar a los encargados del servicio, en la Tabla 3 se muestran los datos que proporcionaron los barrenderos y en la Tabla 4 lo que corresponde a los encargados de recolección (servicio particular).

Tabla 3. Servicio de barrido.

Número de empleados	Turno matutino	Sueldo	Equipo	Ruta
2	Lunes a viernes	\$1,600	- Escoba - Recogedor - Tambo de 200 L - Rastrillo	Variable
		\$2,250 (barrendero-chofer)		

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se realizó el estudio, el servicio de recolección estaba a cargo del señor Inocencio Tolentino Sánchez, que tuvo la iniciativa de recolectar los RSU, junto con dos ayudantes; cuentan con el permiso de las autoridades municipales

Tabla 4. Situación del servicio de recolección.

Número de empleados	Turno matutino	Sueldo diario	Equipo	Ruta única
3	Lunes Miércoles Viernes Sábado	Máximo \$100	• Escoba • Rastrillo • Guantes • Cubre bocas • Botas de trabajo	Cabecera municipal

Fuente: Elaboración propia.

Autoridades

La autoridad encargada del servicio de limpia pública es el regidor Miguel López Guzmán. Comenta que no tienen suficiente personal, solo cuentan con dos barrenderos, por lo que la recolección la lleva a cabo un particular; no disponen de herramientas suficientes. Tampoco tienen rutas fijas de trabajo; las quejas del servicio son frecuentes y no hay presupuesto anual para el servicio de limpia pública.

3.2. Estudios de campo (tiempos y movimientos)

Con el fin de conocer el funcionamiento del sistema, se efectuaron trabajos en campo sobre los aspectos de barrido, recolección y disposición final de los RSU.

Barrido

El personal de barrido está conformado por dos personas, que juntas barren principalmente el parque municipal y calles del centro. No cuentan con rutas establecidas, cada día cambian las calles que atienden, en función de lo que les designe el presidente municipal. El servicio se brinda cinco días a la semana (lunes a viernes), en turno matutino. En lapso del estudio, el día martes solo asistió un trabajador; la Tabla 5 muestra los datos obtenidos.

Tabla 5. Resultados del estudio de tiempos y movimientos de barrido.

Días	Inicio (h)	Fin (h)	Tiempo efectivo (min)	**Tiempo desplazamiento (min)	Disp. final (min)	Tiempos muertos (min)	Tiempo turno (min)	Recorrido (m)
Lunes	9:00	10:55	89	7	15	4	115	403.5
Martes*	8:44	12:23	165	10	22	22	219	1,063.5
Miércoles	8:30	10:25	77	9	12	17	115	1,320
Jueves	8:00	10:16	94	11	19	12	136	770
Viernes	8:00	10:05	70	7	13	35	125	690

*Ruta cubierta por un solo trabajador, el resto de los días lo hicieron entre dos.

**Se refiere al tiempo que emplean para moverse de un punto a otro.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 muestra las cinco rutas de barrido de la semana del estudio. Como se puede apreciar, las calles donde se concentra el servicio son las principales del centro. Esto concentra el servicio en una zona y deja descubiertas las principales vías de acceso, así como las calles alrededor del centro.

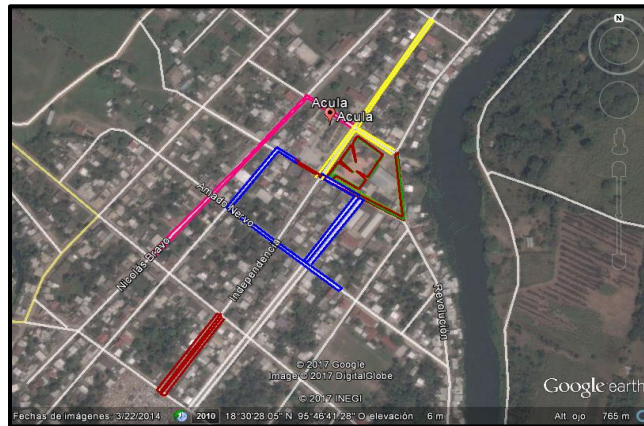


Figura 4. Rutas de barrido de toda la semana.

Fuente: Elaboración propia.

Recolección

El personal está conformado por 3 personas (un conductor y 2 recolectores). Debido a que el municipio no destina presupuesto a este servicio, los particulares establecieron una cuota de \$5 y \$10 pesos, que está en función de la cantidad de RSU que entregan. Esta actividad se lleva a cabo en el turno matutino, cuatro veces a la semana. Al finalizar el turno acuden al tiradero a descargar. La Tabla 6 muestra los datos obtenidos durante los recorridos de este servicio.

Tabla 6. Información sobre el estudio de tiempos y movimientos de recolección

Días	Inicio (h)	Fin (h)	Tiempo efectivo (min)	Tiempo desplazamiento (min)	Disp. final (min)	Tiempos muertos (min)	Tiempo turno (min)	Recorrido (m)
Lunes	7:56	11:23	76	96	26	15	207	8,750
Miércoles	8:05	11:00	82	183	14	1	180	8,020
Viernes	7:58	11:56	90	96	22	28	236	7,980
Sábado	7:54	10:18	40	79	18	0	132	6,012

Fuente: Elaboración propia.

A manera de ejemplo se presenta la ruta de recolección del día lunes en la Figura 5. El recorrido inició en el centro de la cabecera del municipio, recolectando en la mayor parte de las calles, marcadas en color naranja; finalizaron en el tiradero a cielo abierto, que se encuentra en el sureste (Figura 6A y 6B). El tiempo efectivo de recolección llega a ser hasta una tercera parte del tiempo total del turno (Tabla 6). Lo anterior porque destinan bastante tiempo a solicitar la entrega de los residuos, pero pocos habitantes acuden al camión, debido a que deben pagar por cada recolección.



Figura 5. Ruta de recolección del día lunes 17 de julio

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Disposición final

El municipio cuenta con un tiradero a cielo abierto, donde se depositan los residuos del servicio de recolección. Se encuentra al sureste de la comunidad, cuenta con un área de 3,797 m²; no hay control en el acceso. Cerca del sitio se encuentran viviendas y un río llamado Tres ríos, que se cruza con el río de la Rivera (Figura 6A).



Figura 6. Tiradero a cielo abierto de Acuña, Veracruz, México. Vista aérea y terrestre

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de barrido, la disposición final se realiza en un terreno baldío a la orilla de la Rivera del río, también existen viviendas alrededor; hay un segundo tiradero localizado en el Centro del municipio, cerca está el IMSS, el parque central y la iglesia.

3.4 Diagnóstico

Una vez efectuado el procesamiento de los datos obtenidos en los estudios de gabinete y campo, se obtuvieron los resultados que se listan a continuación.

Barrido

- La duración de cada turno es de 2 h en promedio; solo un día trabajaron casi 4 h.
- El área atendida se enfoca solo en las calles del Centro.
- La longitud por turno por trabajador va de 200 m hasta 660 m máximo. Sin embargo, cuando el turno fue cubierto por un solo trabajador, alcanzó 1,063 m.
- El 85% de la población encuestada está insatisfecha con el servicio; el 15% restante comenta que es regular.
- Los residuos sólidos generados en la limpieza de las áreas públicas se dispone en un tiradero a cielo abierto.

Recolección

- La duración de cada turno es entre 2 y 4 h.
- Debido a que el municipio no destina recursos económicos, el servicio tiene una cuota obligatoria.
- La recolección solo se lleva a cabo en la cabecera.
- Las congregaciones se encuentran alejadas de la cabecera y sus accesos están en malas condiciones.
- La longitud recorrida por turno va de 6,012 m a 8,750 m.
- Aproximadamente en la mitad del recorrido los usuarios no entregan RSU.
- Los residuos recolectados se disponen en un tiradero a cielo abierto, ubicado al sureste de la cabecera municipal.

4. Conclusiones

Los resultados de las encuestas y el trabajo de campo realizado muestran que el servicio es deficiente, ya que el 85% de los habitantes encuestados opinó que es malo. La cobertura de recolección es de 51%, el servicio de barrido atiende al 33.53% de la población, esto significa que apenas se cubre una tercera parte.

La obligatoriedad del servicio de limpia pública por parte de los municipios se estableció en el artículo 115, fracción III inciso c, de la Constitución Política Mexicana. El diagnóstico del sistema de limpia pública se convierte en la base para la elaboración de propuestas para la mejora del servicio. Por eso es importante que todos los municipios cuenten con un plan municipal para la prevención, gestión y manejo integral de los Residuos Sólidos Urbanos.

Referencias Bibliográficas

[1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2014). Asentamiento y actividades humanas. RSU, Promedio diario de RSU recolectados según método de obtención del dato por entidad federativa, 2014. En línea <<http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx>> Recuperado el 25/05/2017.

[2] González L. G. I. (2017). Comunicación oral.

[3] Secretaría de gobernación. Diario Oficial de la Federación del jueves 23 de diciembre de 1999. Decreto por el que se declara reformado y adicionado el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

[4] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT (2017). Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial. Introducción al tema de manejo residuos. En línea <www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-sólidos-urbanos-rsu> Recuperado el 30/05/2017.

[5] Dolores L. N. (2017) Observaciones en campo en Acula, Ver.

Aplicación del análisis FODA para determinar la eficiencia del servicio de recolección en municipios del Oriente de Michoacán

¹ Heriberta Ramírez Hernández, ²Otoniel Buenrostro Delgado, ³ María del Consuelo Mañón Salas, ⁴José Wilfrido Velázquez Antonio

¹ Bióloga. Facultad de Biología. Facultad de Biología, Edificio "R" Planta Baja. Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México. 4435281808. herybety15@gmail.com

² Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Edificio U. Ciudad Universitaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. ^{3,4} Instituto Tecnológico de Toluca, Tecnológico Nacional de México.

Resumen

Alcanzar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU), de manera eficaz y eficiente es un reto muy grande para México. Este estudio se realizó en nueve municipios del Estado de Michoacán de Ocampo, colindantes con el Estado de México; el objetivo del trabajo fue analizar la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) para determinar la eficiencia de los servicios de aseo municipal. Se aplicó una encuesta cara a cara y entrevista telefónica a los encargados de aseo público. La información se capturó en hojas de Excel y se utilizó la matriz de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) para analizar las variables e información del servicio de recolección en cuanto a la cobertura a los municipios. Los principales resultados dicen que el municipio de Angangueo es más eficaz en recolección de los RSU dentro de sus localidades; logrando aprovechar las fortalezas con las que cuenta, no así con su eficiencia debido a la falta de una buena administración, coordinación, infraestructura e interés por parte de los encargados de aseo público. Zitácuaro es el municipio que es más eficiente para la GIRSU ya que cuenta con mejor infraestructura y organización, normatividad; esto indica menor cantidad de amenazas en el municipio, no obstante, solo cubre el 52% de sus localidades para la recolección de los RSU. Se concluye que equilibrar la eficiencia y eficacia de la GIRSU es importante para que los municipios logren una GIRSU y se refleje en mejores niveles de vida y menores impactos al ambiente.

Palabras clave: *cobertura, gestión, residuos, sistema, sólidos*

1. Introducción

En años recientes ha cobrado especial interés el tema de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en diversos sectores de la sociedad mexicana, debido al creciente impacto ambiental por la disposición inadecuada de éstos.

México al igual que otros países en vías de desarrollo adolece de efectos derivados de la mala planeación del desarrollo económico, como lo es la producción de RSU; el no hacer una gestión adecuada de los RSU ha ocasiona un deterioro de la calidad ambiental, ya que la producción de estos RSU ha aumentado notablemente y el pasivo ambiental por la disposición inadecuada se refleja en mayores niveles de contaminación de los mantos freáticos y aire [1].

En México, al igual que en muchos países, los RSU es responsabilidad de los municipios, la gestión de éstos se divide en las siguientes etapas; barrido de vías y áreas públicas, recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final. Por lo tanto, la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU), son todas las acciones que desarrolla la autoridad municipal para manejar y gestionar adecuadamente los RSU y RME en sus circunscripciones territoriales [2].

La optimización de un sistema ambiental, por ejemplo, la GIRSU puede ser facilitada mediante el análisis de su eficacia y eficiencia; ambos criterios son importantes en la administración de los sistemas ambientales.

El tener una mejor eficiencia se asocia con la optimización de los recursos económicos empleados, en vez de centrarse en cómo hacer mejor los procesos empleados o el servicio entregado. Un proceso puede ser eficaz, pero puede tener malos rendimientos debido a una gestión ineficiente. Por el contrario, un proceso puede ser eficiente, pero si carece de eficacia, no podrá mantenerse en el tiempo y mucho menos tener éxito. Tener una mejor eficiencia por lo general se asocia con la optimización de los recursos económicos empleados, un proceso puede ser eficaz, pero, puede presentar malos rendimientos debido a una gestión ineficiente, por el contrario, puede existir un proceso muy eficiente pero no eficaz y este no podrá tener éxito [3].

Por lo tanto, la eficiencia es la base del éxito en la gestión de los sistemas ambientales y es la condición mínima para mantenerla después del éxito alcanzado. De lo anterior, eficacia se refiere a hacer las cosas bien; eficiencia a hacer las cosas correctas [4].

En el año de 2014, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), reportó una generación de RSU diaria en México de 102,887 Toneladas [5]. Para Michoacán la forma de recolección para los residuos sólidos es de manera mixta sin ninguna separación, ni tratamiento previo, solamente un 5% de los pobladores entregan sus residuos por separado, además menciona que se encuentran con un 60% de TCA y con un 30% de RESA, esto debido a la falta de infraestructura y planeación adecuada de los sistemas de aseo público. Los municipios del oriente del Estado de Michoacán, quienes afrontan la misma problemática por cuestiones presupuestarias en la mayoría de los casos, para poder llevar una gestión adecuada con el servicio de aseo público, solo destinan y planifican la gestión de los RSU a corto plazo, por lo que asignan recursos económicos básicamente a la recolección y muy poco o nada para el tratamiento, ni la disposición final adecuada de los RSU.

2. Metodología

2.1 Recopilación de información de los municipios del área de estudio

Se utilizó el censo de población y vivienda 2010: Tabulados de Cuestionario Básico [6] de la plataforma de INEGI para conocer el nivel socioeconómico, y los datos demográficos de cada uno de los nueve municipios que se contemplan dentro del área de estudio.

2.2 Selección y visita a los municipios del área de estudio

Los municipios seleccionados son los del Oriente de Michoacán y Estado de México colindantes. Se realizaron recorridos por la zona de estudio y de esta manera establecer contacto directo con las autoridades y encargados de los servicios de aseo público. Se presentó el equipo de trabajo a los encargados de los servicios de aseo público y se les expuso los motivos y finalidades de la investigación.

2.3 Aplicación de la encuesta

Se aplicó una encuesta a cada encargado de aseo público, la encuesta contenía 14 preguntas que se desglosan en diferentes opciones, con temas de organización administrativa y operativa, estado, actual en que se encuentra los sistemas de recolección y limpia, planeación, recolección, infraestructura, cobertura de tratamiento y disposición final de los RSU. Simultáneo a la aplicación de la encuesta, se utilizó la entrevista vía telefónica para obtener y complementar la información.

2.4 Análisis de los datos

Los datos se capturaron en hojas de cálculo Excel. Se utilizó el enfoque propuesto por [7] para el análisis de los sistemas de aseo público en los municipios. La información se procesó con la aplicación del análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) [8].

3. Resultados y Discusión

3.1. Recopilación de información de los municipios del área de estudio

Se obtuvo datos totales de localidades, el total de habitantes, comunidades con servicio de recolección de los RSU de los municipios contemplados en el área de estudio (Tabla 1).

Esta eficacia (cobertura) se debe al escaso número de camiones recolectores con los que cuenta; un municipio tan extenso y con el alto grado de dispersión de las localidades, debería contar con al menos el doble de las unidades de recolección para incrementar la eficacia del servicio al 92%. Susupuato tiene una eficacia de recolección del 59% en las comunidades; sin embargo, este municipio solo cuenta con dos camiones recolectores, esto indica que a las 48 localidades que logra cubrir, solamente le brinda el servicio cada 8 o 15 días y esto sugiere que la eficiencia con la que se realiza la recolección de RSU no es la más adecuada; en el mismo caso se encuentra el municipio de Senguio, ya que el responsable del servicio de aseo público reportó que de 55 localidades con las que este municipio cuenta, se brinda el servicio a 49 localidades, por lo que su eficacia es de un 89%, pero no así su eficiencia, ya que solo cuenta con tres camiones recolectores. Tuzantla y Contepec se encuentran en la misma situación que los municipios de Susupuato y Senguio; pocos camiones para lograr brindar un servicio eficaz. La gestión adecuada de los RSU es un reto muy grande para todos los municipios, ya que todos los municipios brindan en promedio el servicio de recolección a las localidades una vez por semana, ocasiona que los habitantes quemén los RSU, o los tiren en lugares no adecuados para su disposición.

Tabla 1: Datos demográficos de los municipios del área de estudio

Municipio	Localidades	Número de Habitantes	Comunidades con Servicio de recolección de residuos sólidos urbanos	Eficacia del servicio (%)
Angangueo	22	10,768	20	91
Contepec	74	32,954	55	86
Ocampo	40	22,628	33	83
Senguio	55	18,427	49	89
Susupuato	81	8,704	48	59
Tiquicheo	209	14,274	96	46
Tlalpujahuá	64	27,587	55	86
Tuzantla	193	16,305	162	84
Zitácuaro	161	155,534	84	52

3.2 Selección y visita a los municipios del área de estudio

Conocer la organización interna de cada uno de los municipios, fue uno de los puntos importantes para este trabajo, debido a que de ahí infiere el punto de partida, para una buena gestión de los RSU. En la tabla 2 se presenta el organigrama administrativo de cada uno de los municipios y la normatividad. En la mayoría de los municipios la responsabilidad del servicio de aseo público recae en el Oficial Mayor, los cuales no cuentan con una capacitación adecuada para desempeñar todas las obligaciones que les asignan, debido a que a pesar de encargarse de las obligaciones de la Oficialía deben también encargarse de servicio de aseo público de los RSU.

Tabla 2. Organización del servicio de aseo público y Normatividad para la gestión de los residuos sólidos urbanos en los municipios del área de estudio.

Municipio	Nombramiento del responsable	Cuentan con Departamento de Ecología	Reglamento	Programa
Angangueo	Oficial Mayor	No	Si	No
Contepec	Oficial Mayor	Si	No	No
Ocampo	Oficial Mayor	Si	No	No
Senguio	Oficial Mayor	Si	No	No
Susupuat	Responsable de Manejo De RSU	Si	No	Si
Tiquicheo	Director de Servicios Públicos	Si	No	No
Tuzantla	Director de Servicios Públicos	No	Si	No
Tlalpujahu	Director de Servicios Públicos	Si	Si	No
Zitácuaro	Responsable de Manejo De RSU	Si	Si	Si

La generación total de RSU, en los diferentes municipios varia proporcionalmente, éstos dependen de la cantidad de habitantes con los que cuenta el municipio; influye también el nivel socioeconómico en el que se encuentre, al igual que las costumbres y tradiciones de los habitantes [9]. De los nueve municipios Zitácuaro generó 110 Toneladas al día la cantidad mayor de RSU ocupando el 69% del 100% de los RSU generados en la zona de estudio. El municipio de Ocampo fue el municipio que reportó la cantidad mínima de 4 Toneladas por día, contribuyendo con el 2% del total de RSU generado en el área de estudio (Figura 1). Cabe mencionar que el resto de los municipios reportó cantidades no mayores a 10 Toneladas, dicha cantidad, puede variar dependiendo de las estaciones del año, días de fiesta, cantidad de localidades que deban cubrir y cantidad de camiones que estén en servicio, es por eso que se debe mantener un control adecuado de los RSU para su confinamiento.

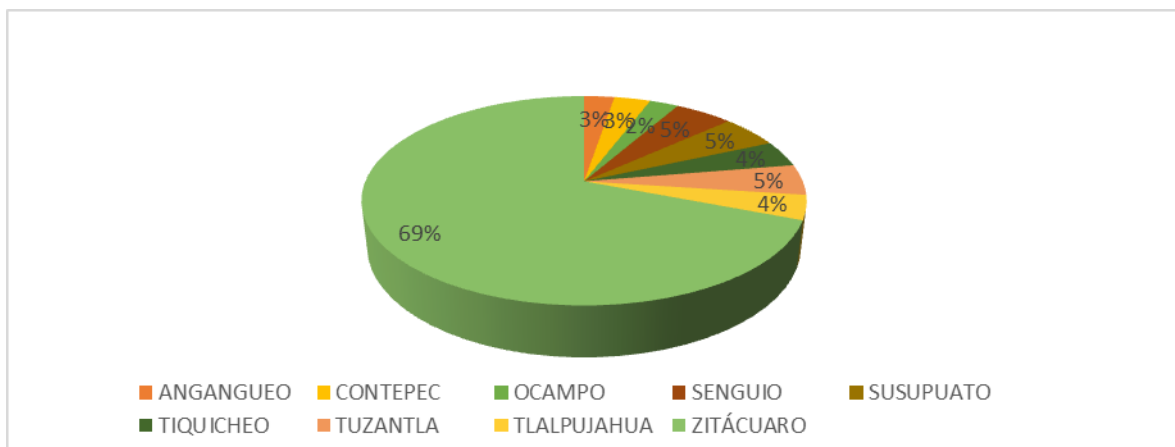


Figura 1. Contribución (%) de cada municipio a la generación total de residuos sólidos urbanos en el área de estudio

La eficacia del sistema de limpia municipal influye en todos los parámetros de la investigación, es por ello que como primera fase se analizó la gestión de los RSU en cada uno de los municipios del área de estudio, en la figura 3 se muestra el porcentaje de los habitantes y las comunidades, a las que se les brinda el servicio de limpia en cada municipio.

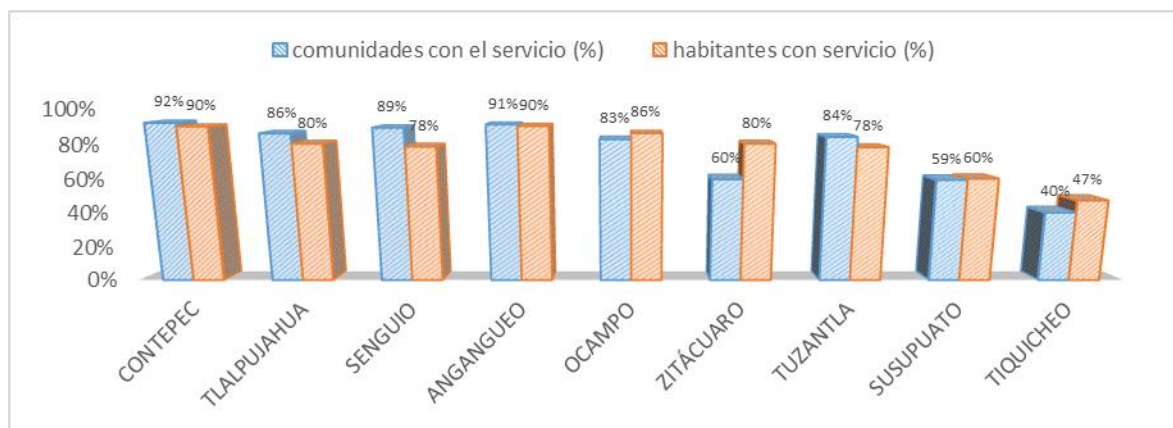


Figura 2. Porcentaje de eficacia en comunidades con servicio y el porcentaje de habitantes beneficiados del programa de aseo público.

3.3 Análisis de los datos por medio del FODA

El FODA es un análisis sistemático que facilita la identificación y comparación entre las amenazas y oportunidades externas con las debilidades y fortalezas internas de la organización. Debido a que es una herramienta de análisis que sirve para estudiar las distintas variables que influyen en la realidad y entorno, en un momento concreto de cualquier sistema. De lo anterior, se decidió probar este método para analizar la gestión de los RSU en el área de estudio propuesta, resultando de gran utilidad pues es un método sencillo que permite identificar con relativa facilidad los factores que pueden favorecer u obstaculizar el logro de los objetivos planteados con anterioridad para el programa de manejo o gestión de los RSU, por parte de los municipios.

En las siguientes figuras se presentan los diagramas con las variables y parámetros identificados en cada uno de los municipios para la gestión de los RSU.

3.3 Análisis de los datos por medio del análisis FODA

Tabla 3. Análisis FODA del municipio de Angangueo

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Contar con un responsable de manejo Contar con reglamento de limpia La recolección de RSU son 6 días a la semana Los trabajadores cuentan con seguro médico No generan mucho RSU al día Cubren un 90% de recolección en las comunidades	Poder concesionar la recolección Lograr cubrir todas las localidades Que los salarios fuesen más justos Que lograrán obtener ingresos por el manejo de los RSU Que el habitante pudiese brindar una pequeña cuota por el servicio Que el servicio aparte de ser eficaz, fuese eficiente
DEBILIDADES	AMENAZAS
No contar con programa de prevención y manejo	No tener un presupuesto anual

No contar con un sitio de disposición final No contar con departamento de ecología No contar con un sitio de transferencia A muchas de las comunidades solo pasan una vez por semana recolectar RSU	No realizar un tratamiento previo a los RSU No contar con centros de acopios El gasto que implica trasladar los RSU a el SDF No contar con una planeación a largo plazo

El municipio de Angangueo cuenta con 22 localidades, de los cuales brinda el servicio de recolección a 20 de ellas, eso lo convierte en un municipio eficaz para realizar dicha actividad, lamentablemente cabe mencionar que es uno de los municipios pocos eficientes debido a que a muchas de las localidades a las que brinda el servicio solo acuden cada 8 o 15 días.

Tabla 4. Análisis FODA del municipio de Contepec

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Cuenta con contabilidad separada Cuentan con responsable de ecología y de RSU Solamente generan 5 toneladas de residuos al día Los recolectores recuperan reciclables Contar con barrido manual y recolección	Contar con un presupuesto anual para gestión de RSU Obtener ingresos por un buen manejo de RSU Contar con más camiones recolectores para cubrir más localidades Cuentan con un sitio de transferencia provincial Contar con toda la maquinaria y personal necesario, para mejorar el servicio
DEBILIDADES	AMENAZAS
No contar con reglamento de limpia Los trabajadores no cuentan con seguro médico Solo cuentan con 3 camiones para la recolección No tener un SDF No cuentan con un sitio de transferencia Invertir muchos recursos económicos para la transferencia de los RSU	No contar con programa de prevención y gestión integral de RSU No contar con un centro de acopio No contar con un plan de manejo a largo plazo El desgaste de trasferir los RS de un lugar a otro No cuentan con un sistema de tratamiento para los RSU

El municipio de Contepec es uno de los que invierte muchos recursos económicos al momento de trasladar los RSU a su sitio de disposición final, debe tener mejor planeación estratégica para un mejor servicio de recolección, e incluir en su proyecto lograr una GIRSU, además poder contar con mejor infraestructura.

Tabla 5. Análisis FODA del municipio de Ocampo

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Cubre un 86% de recolección en las comunidades Los trabajadores cuentan con seguro médico Se cuenta con recolección y barrido manual No producen más de 5 toneladas al día de RSU	Poder concesionar algunos servicios para el municipio Poder contar con un presupuesto anual Poder tener una contabilidad separada de los demás rubros Poder contar con un plan de manejo a largo plazo
DEBILIDADES	AMENAZAS
No contar con reglamento de limpia municipal Solo contar con 4 camiones para la recolección	No tener estudios acerca de la gestión integral de los RS

No cuenta con sitio de transferencia No tener un SDF en el municipio No tener un ingreso previo a la recolección o separación	No tener un programa de prevención y gestión No darle un tratamiento previo a los RSU El costo de transportar los RSU de un lugar a otro La falta de infraestructura

El municipio de Ocampo es eficaz al momento de realizar algunas de las actividades que brinda a sus localidades, lamentablemente existe una falta de eficiencia, es uno de los municipios que no cuenta con un SDF, lo que implica invertir un mayor recurso económico para el traslado, existe también una cantidad pequeña de camiones recolectores, además de no contar con reglamento de limpia, a pesar de todo esto cubre a un 86% del total de sus localidades.

Tabla 6. Análisis FODA del municipio de Senguio

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Cubre un 89% de las comunidades en recolección Cuenta con responsable de manejo y ecología Cuenta con barrido manual y recolección Cuentan con buzón de quejas Cuenta con estación de transferencia, en la cabecera municipal Los salarios que indican los administrativos son justos	Lograr concesionar alguno de los servicios Que los trabajadores contaran con seguro médico Que los horarios de trabajo fuesen más flexibles Que pudiesen tener ingresos mediante la separación de los RSU Poder tener un plan de manejo a largo plazo
DEBILIDADES	AMENAZAS
Que los trabajadores no cuenten con seguro médico Cuentan con 5 camiones recolectores No tener un SDF Invierte más recursos en barrido que en recolección No contar con reglamento de limpia municipal Falta de infraestructura	No tener un programa de prevención y gestión El municipio no tiene estudio sobre gestión y manejo de RS No tener centros de acopio Invertir una fuerte cantidad económica en el traslado de los RS recolectados No tener un sistema de tratamiento previo a los residuos

Senguio es un municipio con 55 localidades de las cuales les brinda el servicio a 49 de ellas, solamente cuenta con 5 camiones recolectores y no son suficientes para brindar un servicio eficiente, debido a que a mayoría de las localidades o rutas que cubren solamente acuden cada 8 o 15 días.

Tabla 7. Análisis FODA del municipio de Tiquicheo de Nicolás Romero

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Cuenta con responsable de manejo y ecología Cuenta con barrido manual y recolección Cuenta con un SDF La generación total que producen es poca Los trabajadores cuentan con seguro médico El terreno del SDF es perteneciente al municipio Cuentan con ingresos por el manejo de los RSU	Poder concesionar los servicios Poder cubrir un mayor número de localidades Poder obtener ingresos por el manejo de RSU Poder tener una planificación a largo plazo Que los encargados le diesen la importancia necesaria a la gestión Mejorar la infraestructura
DEBILIDADES	AMENAZAS
Brinda un 40% de recolección de RSU en las comunidades	No cuenta con programa de prevención y gestión Aun no realizan estudios de gestión o manejo de RSU

No tienen reglamento de limpia No cuentan con ingresos por los RSU No tienen una contabilidad separada El municipio no recupera reciclables Solo cuentan con 5 camiones recolectores	No cuentan con estudio de generación No darle un tratamiento previo a los RSU No cuentan con la infraestructura suficiente

Tabla 8. Análisis FODA del municipio de Susupuat

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Cuenta con responsable de manejo de RSU Cuenta con reglamento de limpia municipal Cubre un 84% de recolección en las comunidades Cuentan con estudio sobre gestión y manejo de RSU Cuenta con un SDF Los trabajadores cuentan con seguro médico	Contar con presupuesto anual Podrían concesionar algunos servicios Poder brindar los servicios con mayor eficiencia Contar con una planificación a largo plazo Poder tener ingresos por medio de la separación de los residuos
DEBILIDADES	AMENAZAS
De 81 localidades, cubren solo a 48 en recolección Solo tienen dos camiones recolectores No tienen una contabilidad separada No tienen un presupuesto anual No tener una planta de tratamiento No cuentan con reglamento de limpia Solo cuentan con 10 empleados para la recolección y el barrido	No contar con programa de prevención y gestión de RS No tener los camiones adecuados para la recolección de RSU No contar con centros de acopio No darle tratamiento a los RS No contar con estudios sobre gestión y manejo

Tabla 9. Análisis FODA del municipio de Tuzantla

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Tienen encargado de limpia y ecología Cuentan con barrido manual y recolección Tienen un SDF Los trabajadores cuentan con seguro médico Cuentan con ingresos por el manejo de los RSU El terreno del SDF pertenece al municipio	Logar concesionar algunos servicios Se podría brindar una pequeña cuota por el servicio Poder invertir más en la infraestructura Poder cubrir más localidades con el servicio Los horarios de trabajo deben ser los justos
DEBILIDADES	AMENAZAS
De 81 localidades, cubren solo a 48 en recolección Solo tienen dos camiones recolectores No tienen una contabilidad separada No tienen un presupuesto anual No tener una planta de tratamiento No cuentan con reglamento de limpia Solo cuentan con 10 empleados para la recolección y el barrido	No contar con programa de prevención y gestión de RS No tener los camiones adecuados para la recolección de RSU No contar con centros de acopio No darle tratamiento a los RS No contar con estudios sobre gestión y manejo No tener una planeación de manejo a largo plazo

Tabla 10. Análisis FODA del municipio de Talpujahu

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Cuentan con responsable de manejo de RS y de ecología El ayuntamiento cuenta con reglamento de limpia Brindan el servicio de recolección a un 90% de las localidades Tienen ingresos por el manejo de los RS Tienen dos turnos de barrido de plazas Cuentan con un SDF	Poder tener una planeación anual Poder contar con mejor infraestructura Poder concesionar algunos de los servicios Poder contar con programas de prevención y manejo de residuos
DEBILIDADES	AMENAZAS
Cuentan solamente con 6 camiones recolectores No tienen una contabilidad separada El salario de los trabajadores es muy bajo Los trabajadores no cuentan con seguro médico El SDF no está cercada en su totalidad	Poder tener una planeación anual Poder contar con mejor infraestructura Poder concesionar algunos de los servicios Poder contar con programas de prevención y manejo de residuos

Tabla 11. *Análisis FODA del municipio de Zitácuaro*

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Cuenta con responsable de manejo de RS y ecología El ayuntamiento cuenta con reglamento de limpia Tienen ingresos por el manejo de RS Cuentan con un SDF Tienen un gran número de empleados Los trabajadores cuentan con seguro médico El municipio recupera reciclables	Lograr concesionar más servicios Lograr cubrir todas las localidades Mejorar los servicios hacia los habitantes
DEBILIDADES	AMENAZAS
Invierte mucho recurso económico en barrido No cuentan con un sitio de transferencia A muchas localidades se le brinda el servicio cada 8 días Reciben residuos de manejo especial y residuos peligrosos	No cuenta con estudios sobre gestión o manejo de RSU No le dan tratamiento a la laguna de lixiviados El sitio de disposición final se encuentra relativamente cerca de una presa

Zitácuaro es uno de los municipios más eficientes, con el servicio que logra proporcionar a sus localidades, a pesar de no cubrir todas sus localidades.

4. Conclusiones

El análisis FODA, como su nombre lo dice nos sirve para identificar, las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, es así como se clasificó cada una de estas variables con las que cuenta cada uno de los municipios antes mencionados, lamentablemente mayoría no cuenta con un SDF adecuado, para el confinamiento de los residuos.

Los SDF reciben residuos de todo tipo, ya sea de manejos especiales o peligrosos, esto arriesgando la salud de las personas encargadas de la recolección de los RSU, por lo que brindan un servicio de recolección eficaz, pero no así en eficiencia

Es importante que los análisis para determinar la gestión de los RSU se realicen con visitas de campo y análisis *in situ*. Ya que se observó que los administradores no brindan información actual o certera con respecto a la gestión de los RSU de sus municipios,

Lamentablemente existe un escaso conocimiento del tema, limitando una gestión adecuada, en muchos casos se relaciona a las personas o encargados del área de residuos, debido a que cada tres años se realizan cambios de administradores de los municipios, truncando la continuidad de los programas de gestión, por lo que se torna complicado el seguimiento para poder llevar una secuencia en el manejo de los RSU.

Aún existe mucha falta de organización de parte de los administrativos para lograr mejores resultados, debido a que nadie logra brindar una GIRSU, debido a la falta de conocimientos previos de la normatividades con las que cuenta nuestro país.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bernache. G. (2006). Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental 36-40.
- [2] SEMARNAT & GTZ (2004). Guía de Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Agencia de Cooperación Técnica Alemana. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.
- [3] Drucker, P. F., 2011. Management: tasks, Responsibilities, Practices. Taylor & Francis Group, New York. ISBN: 0-7506-4389-7
- [4] Munizaga, J.A. (2016). Metodología para la evaluación integral de sistemas de gestión de residuos domésticos. Tesis de doctorado en ingeniería ambiental. Universidad de Cantabria. Santander España. 266pp.
- [5] INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015
<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/censosgobierno/municipal/cngmd/2015/>
- [6] INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2011). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda 2010: Tabulados de Cuestionario Básico de la Plataforma de INEGI.
- [7] Martínez, L. E. (2002). Análisis de los sistemas de aseo público y gestión de los residuos sólidos en los municipios de la cuenca de Cuitzeo, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán. 78pp.
- [8] Ramírez, J. L. (2009). Procedimiento para la elaboración del análisis FODA como una herramienta de planeación estratégica en las empresas. Instituto de investigaciones y estudios superiores de las ciencias administrativas (IIESCA). Universidad Veracruzana. (2) 54-61.
- [9].Díaz-Archundia, Laura Verónica, Otoniel Buenrostro-Delgado, María del Consuelo Mañón-Salas, María del Consuelo Hernández-Berriel. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de residuos sólidos urbanos en dos diferentes sitios de disposición final en México. Ingeniería Investigación y Tecnología, XVIII, 02, 149-159.

Un aprovechamiento de los residuos como materia prima para las empresas

¹Juan Jorge Rodríguez Bautista, Juan Jorge y ²Stephany Pérez Noé

¹ Profesor Investigador de la Universidad de Guadalajara. Dirección: Periférico Norte 799 Núcleos los Belenes en Zapopan Jal. CP 45000. Tel. (33)37703404. Correo electrónico: jorge.rodriguez@cucea.udg.mx.

²Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas

Resumen

Este trabajo hace una revisión sobre las nuevas tendencias del desarrollo sustentable, entendiendo que no basta en pensar que la conservación y el cuidado de los recursos naturales son suficientes para resolver los problemas ambientales. Estos tienen que ver con la contaminación de suelo, agua y aire, el cual se produce por la manera en que generan los procesos productivos. Por lo que es necesario hacer un cambio de paradigma, donde la forma de consumo y de producción tiene que modificarse.

La economía circular y la eco-eficiencia plantean un uso racional de los recursos, procurando que los residuos que se generan por el consumo de productos y servicios sean reutilizados, eliminando la generación de basura y, por lo tanto, la reducción en el uso de recursos naturales, ello atendería el problema de sobre explotación de la biodiversidad y la generación de centros de confinamientos, que tienden a ser fuentes de contaminación del suelo, aire y agua. De la misma manera se plantea el uso de energía limpia y el reciclado de aparatos electrónicos y tecnológicos, donde se reduzca el consumismo que se vive a raíz de la producción flexible y la globalización. En México, ese proceso es viable desarrollarlo, siempre y cuando se tenga una cultura de la recolección selectiva de los residuos, el buen funcionamiento de los centros de acopio registrados y el compromiso de las empresas en utilizar materiales reciclados, considerando que eso ayudará a ser más productivas y competitivas.

Palabras Clave: *Centros de Acopio, Eco-eficiencia, Economía circular, Recursos Naturales, Residuos.*

1. Introducción

Como humanos se ha adoptado un enfoque lineal, tomamos, hacemos y desechamos, aparece un nuevo teléfono, por lo que se decide que el anterior no funciona y se desecha, deja de funcionar el microondas y se adquiere uno nuevo. Cada vez que se hace esto, se entra a un suministro finito de recursos y, a menudo, se producen desechos tóxicos, por lo que necesario buscar un modelo cíclico.

¿Qué pasaría si los bienes de hoy se convirtieran en los recursos del mañana? Se tiene que repensar en operar de una manera distinta, cambiar la cultura de las personas de tirar y reemplazar por el diseñar productos para que regresen al fabricante, con la intención de que los materiales técnicos se reutilicen y que los residuos biológicos aumenten el valor agrícola.

Con esto se tiene una oportunidad para abrir nuevas perspectivas, nuevos horizontes por medio de la ayuda de la creatividad y la innovación, en lugar de quedar atrapados en las frustraciones del presente. Lo que llevaría a repensar y rediseñar un futuro más amigable con el medio ambiente.

Lo anterior podría lograrse mediante el paradigma de la economía circular y la eco-eficiencia, donde se procura que los residuos que se generan sean aprovechados con el fin de reducir al máximo el uso de recursos naturales y la eliminación de confinamientos de residuos que impactan al medio ambiente. Además de generar productos de larga duración procurando que existan repuestos para mantener el que se tiene en uso y no comprar uno nuevo.

En México existen centros de acopio de residuos que pueden ser una parte del proceso, pero definitivamente no es suficiente si no existe una cultura de la recolección selectiva y que las empresas se adapten al manejo de materias primas reciclables, entendiendo que eso reduciría costos en la producción, lo cual ayudaría alcanzar mayor productividad y competitividad.

En este trabajo, se inicia por enlistar los principales problemas que vive el planeta en términos medioambientales, después se hace una breve explicación del paradigma de la economía circular y la eco-eficiencia, para terminar con una revisión de las condiciones que existen en México para implementar estas estrategias, donde los residuos pueden ser aprovechados para generar nuevos productos, evitando el uso de recursos naturales.

Un resultado preliminar de esta investigación encontró que algunas entidades federativas, entre ellas Jalisco, podrían estar en condiciones de implementar este proceso de economía circular y la eco-eficiencia. Siempre y cuando se lleve a cabo la recolección selectiva en todos los municipios metropolitanos y algunas otras ciudades medias. Además, de que exista un compromiso de las empresas por el aprovechamiento de estos residuos, para reducir del uso de recursos naturales como materias primas o la generación de insumos que utilizan recursos naturales y energía contaminante.

2. Un acercamiento a la problemática ambiental

Desde la reunión de Río de Janeiro de 1992, donde se revisaron las tendencias ambientales en el mundo, se plantearon nueve problemas que estaban afectando a la sociedad mundial y limitarían lograr un desarrollo a largo plazo que cuidara el medio ambiente, por el bien de las nuevas generaciones [1]:

1.- *Protección atmosférica*, donde se identificaron serios problemas como el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono y contaminación que rebasa los límites administrativos nacionales, por lo que ha sido una principal preocupación dentro de las tendencias para lograr una vida más saludable.

2.- *Preservación de los recursos de la tierra*, como es el caso de la deforestación, pérdida de suelo y desertización, lo cual impacta fuertemente en la generación de alimentos y demás recursos naturales que son útiles en la fabricación de diversos productos necesarios para la satisfacción de las necesidades.

3.- *Conservación de la biodiversidad*, la cual es necesaria para la sobrevivencia de todas las especies, procurando alcanzar un equilibrio en el ecosistema y así obtener recursos necesarios para alcanzar el desarrollo sustentable. El gran problema es que diversos grupos sociales que dependen de esa biodiversidad se ven afectados por la desaparición y la sobreexplotación de sus recursos.

4.- *Protección de los recursos de agua dulce*, considerando que es un recurso vital para vida, varias actividades la requieren para generar bienes que demanda la población. Este recurso es prioritario conservarlo y limpiarlo cuando se use, con el fin de lograr un equilibrio ecológico y mantener la vida en la tierra.

5.- *Conservación de mares y océanos, así como el uso racional de los recursos vivos*. En este tema es necesario resaltar la contaminación que se está generando en estos espacios del planeta, donde los desechos que produce el hombre han llegado hasta allí, afectando el agua que es vital para la sobrevivencia de los recursos vivos, pero además el mantener esos recursos para poderlos aprovechar como alimento y lograr el equilibrio de la biodiversidad.

6 y 7.- *Manejo ambiental de los desechos biotecnológicos y residuos tóxicos*, los cuales afectan enormemente al medio ambiente, provocando afectaciones a la salud de la sociedad, alterando el nivel de

vida de la población, lo que implica un deterioro en su bienestar, comprometiendo los recursos existentes para las generaciones futuras.

8.- *Mejora de calidad de vida y de salud humana.* Cada uno de los problemas antes mencionados tienen un efecto en la calidad de vida y la salud humana, sobre todo la población que vive o está expuesta en los lugares contaminantes, debido a su trabajo o su actividad económica. De igual manera, en determinados lugares donde se están perdiendo recursos naturales, existe población que vive de esos recursos y los ven perdidos afectando sus ingresos y deteriorando su nivel de vida.

9.- *Elevación del bienestar y de las condiciones de trabajo de los estratos pobres de la población.* Con relación a esta problemática debe considerar el alcanzar un desarrollo sustentable, el cual conlleva conservar el medio ambiente y la biodiversidad, el cual debería ser la base para generar un mayor bienestar y mejorar las condiciones laborales de la población más vulnerable.

Es así como estos problemas llevan a considerar una nueva forma de alcanzar el desarrollo sustentable, mediante el aprovechamiento de los residuos, que de alguna manera ayudara a cuidar el medio ambiente, reduciendo la basura y cuidando que las empresas los aprovechen, por medio del reúso y del reciclado [2].

Para Leff, la problemática ambiental en los últimos años surge por la forma de crecimiento que se ha implantado en las economías, así como la dinámica comercial global que se ha impulsado en las últimas décadas [3]. Esta situación que vive el mundo muestra que las formas de producir y consumir no es lo más adecuado para mantener un desarrollo sustentable, más cuando se pretende aprovechar de manera eficiente los recursos naturales y materias primas que se usan para obtener bienes y servicios que son demandados por actores locales en una economía cada vez más globalizada.

Por lo anterior, es necesario entender que la problemática ambiental es tan amplia que no se limita a los aspectos meramente ecológicos, sino que tiene que ver la manera en cómo se produce y cómo se consume, provocando una expansión cada vez más global y agotando los recursos naturales de una extensión cada vez más amplia.

A más de 50 años del informe de Brundtland, los procesos productivos de la mayoría de las economías en el mundo han avanzado a pasos acelerados, por lo que la generación de residuos es considerada un grave problema que deben enfrentar las nuevas generaciones, procurando alcanzar nuevos niveles de desarrollo donde estos residuos se conviertan en materias primas para varias empresas, en vez de utilizar los recursos naturales que cada vez son más escasos y limitados [1].

Esta visión de aprovechar los recursos de una manera más eficiente empezó a impulsarse desde la década de 1980, donde las grandes empresas gestaron variaciones técnicas a fin de adaptarse a las limitaciones de los recursos naturales. Además de implementar cambios de carácter institucional, donde aparecieron determinadas regulaciones y normas que deberían cumplir las compañías, así también se conformaron diversos organismos públicos y privados que servirían para implementar esas regulaciones y normas. Por otro lado, se crearon programas de investigación y capacitación para adecuar a las empresas a las nuevas estrategias para el cuidado del medio ambiente, [4].

Ante estos escenarios, las empresas generaron una reconversión ambiental, donde determinados procesos tecnológicos y organizativos se fueron adaptando a las nuevas ventajas competitivas, buscando la eficiencia, la limpieza, la flexibilidad y la compactación. Esto permitió que algunas compañías y sus plantas de producción incorporarán algunas tendencias que se analizarían posteriormente como la eco-eficiencia o la economía circular, las cuales buscan un aprovechamiento más adecuado de los recursos, procurando alcanzar una competitividad productiva y ecológica que alcance aspectos como la economía verde.

3. Las nuevas tendencias al desarrollo sustentable

Las empresas cada vez más incorporan nuevas estrategias que ayuden a alcanzar mayores niveles de productividad y competitividad dentro de los mercados globales. Dichas estrategias van desde una reducción de los costos de producción, para producir más con menos o para posicionarse en el mercado desplazando a sus competidores. El problema es que estas estrategias van encaminadas en sacrificar el salario de la mano de obra o el precio de los insumos de sus proveedores.

Estas estrategias llevan a las empresas lograr en el corto plazo mejores niveles competitividad y productividad; sin embargo, es necesario mantenerlos en el largo plazo, por lo que es necesario considerar otras estrategias que puedan ayudar a las empresas mantenerse sus niveles en un mayor periodo de tiempo.

Definitivamente la productividad y competitividad deben ir de la mano con el desarrollo sustentable, considerando que las empresas buscan producir más con menos, la tecnología y las innovaciones deben de ir hacia la dirección en aprovechar de manera más eficiente los recursos. Así también, si se busca que las empresas sean más competitivas, es necesario innovar en el producto procurando que sea diferente al de los competidores, o incluso alcanzar nuevos mercados que no están siendo atendidos, ofreciendo bienes que están ayudando a conservar el medio ambiente o que se utiliza material reciclado o de reúso, que pueda tener algunas propiedades que posiblemente los recursos naturales los tengan [5].

Con base en esta visión, se ha planteado la eco-eficiencia, la cual consiste en reducir la explotación de recursos naturales para lograr un uso más sostenible de los recursos y disminuir la contaminación asociada a los procesos productivos. Para ello se propone una serie de elementos que deben buscar las empresas como incrementar la productividad sostenible de los recursos naturales, reducir los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de los productos y generar una producción más limpia [6].

La tendencia de producir más con menos, se ve reflejada en esta nueva tendencia corporativa de producción, donde a menor utilización de recursos naturales se pueden alcanzar mayores niveles de productividad y a la vez menores impactos ambientales, lo que se ha identificado como solución al problema que se vive sobre al actual crecimiento económico.

Diversos organismos internacionales como el BID, considera que la eco-eficiencia es una forma de producir de manera más limpia, además de impulsar prácticas de gestión ambiental. De igual forma, esta estrategia de producción puede ser implementada en las pymes, las cuales pueden alcanzar una reducción de costos, mejora en su situación competitiva, menor dependencia de los recursos naturales y una elevación en sus utilidades [6].

Es así como esta tendencia productiva puede ayudar a al descenso en la intensidad de material utilizado, una disminución en el uso de energía para la producción de bienes y servicios, reducción de material tóxico y un uso sostenible de los recursos naturales. Estos aspectos deben ir de la mano con la durabilidad y calidad de los productos.

Cuando una empresa implementa la eco-eficiencia para producir sus bienes, deben de tomar en cuenta la innovación tecnológica, procurando generar maquinaria que pueda manejar productos reciclables o de reúso para el aprovechamiento más eficiente de los recursos naturales. De la misma manera los mercados deben estar abiertos a recibir este tipo de productos, los cuales ayudarán a proteger al medio ambiente y reducir los riesgos ambientales, procurando que los recursos naturales no se agoten con el actual ritmo de crecimiento, pero sobre todo reducir las cantidades de residuos que en ocasiones contaminan agua y suelo, los cuales deben de tener un tratamiento especial para no afectar el medio ambiente.

Finalmente, la eco-eficiencia busca generar ciclos productivos cerrados tal y como nos ofrecen los diseños biológicos naturales, donde los desechos sirven como insumos para generar nuevos productos sin que se

utilicen más recursos naturales. Es así, como la eco-eficiencia se convierte en una estrategia que permite mayores rendimientos económicos y con responsabilidad ambiental. Además de que no es exclusiva de las grandes empresas, sino que es una oportunidad para que las pymes logren ser productivas, mediante soluciones creativas a problemas puedan diseñar nuevas oportunidades de negocio, logrando una competitividad dentro del mercado donde participan.

Otra tendencia que tiene que ver con el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales y que impacta al medio ambiente, es la economía circular. Este tiene como objetivo generar prosperidad, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación facilitando el desarrollo sustentable. Este paradigma se apoya en el principio de las tres R (reducir, reusar y reciclar) aplicable a todo el ciclo de vida del producto y estrategias de diseño sostenible [7].

Es claro que, durante las últimas décadas, el consumo de materias primas ha alcanzado un ritmo que compromete la capacidad del planeta si no se consigue frenar o cambiar el modelo lineal de producción y consumo. Debido a su creciente productividad de las empresas, suele venir de la mano con un aumento en la explotación de los recursos naturales, lo cual amenaza con la sostenibilidad de la vida de los ecosistemas naturales.

La economía circular responde al cambio desde el punto de vista científico, empresarial y político, procurando desarrollar una estrategia para enfrentar la sustentabilidad sin afectar los retos sociales y económicos actuales. En ese sentido, se procura extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar materiales y energía que sean usados para obtener productos y servicios que demanda la población y lograr una economía estable.

La economía circular se plantea a través de tres niveles, los cuales tiene influencia en los diferentes grupos de interés y su nivel de integración: En el *nivel micro o individual*, donde las empresas se centran en la mejora de sus procesos, procurando un uso de energía limpia, un consumo eficaz de las materias primas y un diseño ecológico de sus productos. En el *nivel meso* las empresas empiezan a interactuar en red para compartir recursos, revalorizar o reutilizar residuos. Finalmente, a *nivel macro*, se dan iniciativas de carácter regional o nacional, impulsando eco-ciudades o eco-regiones, donde los residuos se convierten en materia prima de las empresas locales, procurando eliminar el uso de recursos naturales que pueden afectar el ecosistema de los espacios locales.

Los impulsores de este paradigma son Mc Donough y Braugart quienes propusieron tres principios: *Basura=alimentos*, donde se refiere a que los productos que hoy se consideran basura después de su uso, pueden ser nutrientes biológicos que alimenten la tierra o un elemento técnico valioso que se reincorpore en procesos productivos o materias primas para generar otros productos. *Usos de energías renovables*, ello implica que se debe hacer uso de energía natural que está a nuestra disposición en vez de recurrir a fuentes contaminantes. Finalmente, el *principio de la diversidad*, donde hay que hacer un cierre del ciclo de los productos, en el cual los distintos agentes que participan en la economía deben de valorar la diversidad, procurando aprovechar de manera eficiente los recursos, no explotarlos de forma irracional, sino más bien aprovechar el uso de estos al máximo con la intención de no agotar los recursos naturales disponibles [7].

La propuesta de estos autores fue denominada *de la cuna a la cuna* (Cradle to Cradle) también conocido como C2C, propusieron que los productos deben de tener una vida más durable, así como prevenir la producción de residuos. Es por ello por lo que se plantea un cambio de una economía lineal (producir, usar a tirar) a una circular y regenerativa tal y como ocurre en la naturaleza [2].

Esta propuesta pretende que las empresas diseñen productos que faciliten el desmonte y la reutilización en la fabricación de nuevos artículos y acomodarlos en el mercado. Es así como se pueden identificar que la clave de la economía circular es el diseño de los productos, en los cuales debe buscar el reemplazo de piezas

y no desechar todo el producto. Además de que el diseño de los nuevos productos sea aplicable el reciclado de materias primas e insumos que podría determinar un costo menor de producción.

Con base en lo anterior, los principios de la economía circular van de la mano con la desaparición del concepto basura para nombrarla materia prima o insumo para los procesos productivos, reconceptualización de modelo de propiedad y el uso de energías renovables, por lo que se vincula con la eco-eficiencia, en el que ambos casos buscan la protección del medio ambiente y la reducción de contaminantes. Por lo que es necesario establecer lugares donde se agrupen empresas para el reúso y reciclado de materiales, aprovechando la aglomeración donde se plasme una circulación de recursos con el fin de diseñar un sistema de intercambio de materiales, insumos y desechos.

Para ello, es necesario generar un sistema de recolección, almacenaje, procesado y distribución de materiales que fueron desechados, para ser reutilizados por las empresas cercanas que puedan impulsar el sistema de las tres R, para la reducción del uso de materiales naturales. Lo anterior, ayudará a las empresas a disminuir los costos de producción, aumentar la vida útil de los productos y materiales, minimizar los costos de manipulación de los residuos, además de reducir los impactos ambientales del entorno, provocando una mejora en la calidad de vida de la población.

En resumen, se puede identificar una serie de factores que ayudan a lograr un desarrollo sustentable mediante la reducción, el reúso y el reciclado de materiales, pero que esto lleve a una estrategia territorial, donde determinados sectores económicos aprovechen este sistema, cuidando el buen uso de recursos naturales,

En ese sentido, es importante identificar cuáles estrategias hay que generar para aprovechar un mejor manejo de estos residuos considerando un sistema de separación, con el fin de rescatar aquellos que puedan ser utilizados por empresas que usan recursos naturales, además de no haber una preocupación de dónde almacenarlos para que tengan un efecto al medio ambiente.

En el siguiente apartado se analizará la distribución de las empresas que funcionan como centros de acopio con el fin de identificar los lugares que estén en condiciones de impulsar un modelo de eco-eficiencia y de economía circular. De igual manera se hará una revisión de que estados están impulsando el proceso de recolección selectiva el cual es un primer paso para poder aprovechar desechos en un proceso de tres R.

4. Condiciones para impulsar las nuevas tendencias del desarrollo sustentable

Para adentrarse al tema de la economía circular y la eco-eficiencia es necesario describir de una forma sucinta el tema de los residuos. Este es un material cuyo propietario o poseedor (empresa, casa, oficina, etc.) desecha. Para esto se hará referencia a dos clasificaciones de residuos: peligrosos y residuos sólidos urbanos [8].

El caso de los residuos peligrosos tiene como característica que son corrosivos, explosivos, tóxicos, inflamables o que tienen agentes infecciosos. Entre ellos se encuentran el aceite automotriz, acumuladores de autos, lámparas fluorescentes y medicamentos caducos. Estos impactan enormemente al medio ambiente, por lo que debe considerarse un tratamiento especial antes de confinarlos [8].

En referente a los residuos sólidos urbanos, son aquellos generados en las viviendas y se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos. En el caso de los primeros se encuentran los desechos de origen biológico como el cuero, fibra vegetal residuos alimenticios, hueso, residuos de jardinería, madera y aceite comestible. El caso de los inorgánicos son todos que no es de origen biológico, como el papel y cartón, plásticos, vidrio, envases multicapa, metales, pilas y baterías [8].

La composición de los residuos en México se estima en un 53% como orgánicos biodegradables, 14% de papel y cartón, 6% vidrio, 4% plástico, 3% metales, 1% textiles, el resto (19%) corresponde a otros tipos de materiales [8]. Esta información es interesante, ya que se puede observar los tipos de desechos que pueden aprovecharse como insumos o materias primas para otras empresas. Sin embargo, según datos de la SEMARNAT sólo se recuperan entre el 10 y 12% y el resto se convierten en basura debido a que se mezclan entre ellos y se dificulta su recuperación.

Con la intención de hacer un análisis de los lugares donde se almacenan estos desechos, se revisó la distribución de los centros de acopio por entidad Federativa, para después hacer un comparativo de la generación de estos desechos a nivel estado, con la intención de revisar si existe alguna correlación. Este ejercicio servirá para identificar en donde se podrían aprovechar más estos residuos para la implementación de una económica circular y el de eco-eficiencia.

De los centros de acopio registrados para el 2010, cinco estados acaparan más del 40%, siendo Nuevo León el que cuenta con el mayor número, le sigue Jalisco, después la Ciudad de México y finalmente el Estado de México y Aguascalientes. Llama la atención este último, ya que es un estado pequeño, aunque seguramente estos centros de acopio atienden a otros estados como Guanajuato, en donde la ciudad de León está en su área de influencia, así como los estados de San Luis Potosí y Zacatecas, sin dejar de lado la región de los Altos que tiene una mediana concentración poblacional.

Tabla 1. Distribución de los centros de Acopio de materiales provenientes de residuos, por Estado.

Estado	Establecimientos	%
Nuevo León	163	11.42
Jalisco	146	10.23
Ciudad de México	138	9.67
Estado de México	80	5.61
Aguascalientes	79	5.54
Sub total	606	42.47
Total	1427	100.00

Fuente: Elaboración propia con base en SEMARNAT (2010). Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México, 2010.

Con relación a los centros de acopio con base en los tipos de materiales de residuos que reciben, sobresalen los establecimientos de varios, los cuales recogen diversos materiales como cartón, papel, plástico, metales, entre otros. Le siguen los negocios que reciben metales y finalmente los de plásticos. Este tipo de establecimientos que reciclan estos residuos, concentran más del 66% de los centros de acopio, por lo que se da una idea de lo importante que pueden ser estos materiales para ser recuperados, reusados y reciclados.

Tabla 2. Distribución de los centros de Acopio de materiales por tipo de residuos.

Tipos de Residuos	establecimientos	%
Varios	456	31.96
Metales	284	19.90
Plástico	212	14.86
Sub total	952	66.71

Total	1427	100.00

Fuente: Elaboración propia con base en SEMARNAT (2010). Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México, 2010.

El caso de los establecimientos que recolectan varios residuos, diversos estados del país (10) aparecen con el mayor número de este tipo de establecimientos, concentrándose principalmente en Nuevo León, Morelos y la Ciudad de México. En el caso de los centros de acopio que reciben metales se concentran en los estados de Jalisco, Querétaro y Veracruz. Finalmente, para el caso del plástico se tiene el mayor número en Jalisco, Nuevo León y Baja California.

Lo anterior muestra que los estados más representativos, en cuanto al número de centro de acopios totales y la concentración de centros de acopio por tipo de residuos se da en Jalisco, quien ocupa el segundo lugar con mayores centros de acopio y acapara el mayor número en la recolección de metales y plásticos; Nuevo León quien es el que tiene más centros de acopio, además de que muestra una importante participación en la recopilación de plástico y varios; la Ciudad de México que es la tercera ciudad en contar con el mayor número de centros de acopio, así como de concentrar un número importante de los que reciben varios desechos.

Otros estados relevantes son: Aguascalientes y el Estado de México, que están en los primeros cinco que tienen el mayor número de centros de acopio, además de los estados de Morelos, Baja California, Querétaro y Veracruz, que tienen una participación significativa en algunos de los centros que recolectan metales, plásticos o varios.

Una vez descrita la distribución de los centros de acopio, se hace una revisión de las condiciones en que se generan los desechos a nivel estatal; así también se identifican cuales estados tienen una estrategia de implementación bajo una recolección selectiva, con el fin de identificar quienes estarían en condiciones de impulsar una estrategia de eco-eficiencia y un modelo de economía circular.

Es claro que el volumen de la producción de residuos va de la mano con la concentración demográfica y el proceso de urbanización. Con base en el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, las zonas metropolitanas son las que más generan residuos, seguidos por las ciudades medias y en menor medida las localidades rurales o semiurbanas y las ciudades pequeñas. Sin embargo, estas últimas han incrementado el mayor número de toneladas en un periodo de 15 años, ya que entre 1997 y 2012 tuvieron un aumento en la generación de residuos del 84%, mientras que las zonas metropolitanas, en ese mismo periodo lo hicieron en un 61% [9].

Lo anterior lleva a que las entidades federativas que concentran a las zonas metropolitanas o las que tienen el mayor número de ciudades medias son las que acaparan el volumen de generación de residuos, tal es el caso de los cinco estados que generaron el 45% del total nacional en el 2012: Estado de México con el 16%, La Ciudad de México con el 12%, Jalisco con 7%, Veracruz y Nuevo León con el 5% cada uno [9].

De estos cinco estados prácticamente todos aparecen como los más relevantes en la concentración de centros de acopio, por lo que de alguna manera estos se instalan donde se tiene la producción de residuos. Sin embargo, sería importante revisar el porcentaje de residuos que se recolectan, con el fin de evaluar la viabilidad de desarrollar una economía circular y la eco-eficiencia, considerando que varias cantidades de estos residuos son mezclados y difícilmente no se pueden aprovechar si no existe una cultura de la separación.

El reúso y el reciclaje de estos materiales son fundamentales para tener un desarrollo sustentable, es por ello indispensable encontrar estrategias que ayuden a un aprovechamiento de estos, mediante una recolección ordenada de los residuos. En ese sentido, se tienen estudios donde indican que los países desarrollados

recolectan un mayor porcentaje de residuos generados (98%), mientras que los países de economías atrasadas apenas y recolectan el 41% [10].

A pesar de los datos anteriores, estudios de la SEMARNAT afirman que, en el 2012, México recolectó el 93.4%, siendo los estados de Aguascalientes, Baja California, Nuevo León, Oaxaca, Baja California Sur y la Ciudad de México, los de mayor porcentaje. Sin embargo, el sistema de recolección no asegura que pueda darse el reúso y el reciclado, por lo que es necesario conocer la cobertura que se tiene con un tipo de recolección selectiva.

Para el caso del reciclado, existen algunos materiales que son buscados por estos centros de acopio, los cuales son muy demandados por el mercado del reciclaje, tal es el caso del papel, cartón, vidrio, algunos metales y el PET, los cuales pueden ser reusables en algunos procesos productivos. Este proceso de reciclado ayuda a reducir el volumen de materiales que requieren ser recolectados, transportados y dispuestos en sitios adecuados, además de que tiende a disminuir el consumo de materias primas y como consecuencia el uso de algunos recursos naturales, así como electricidad y agua.

Sin embargo, en México el volumen que se recicla es muy bajo comparado con los datos referenciados por la OCDE donde Corea del Sur y Alemania reciclan entre el 58 y 47% respectivamente, nuestro país sólo lo hace en un 9.6%. Ello implica un verdadero esfuerzo para que el sistema de recolección selectiva se lleve a cabo en todos los estados y buscar quienes ya lo implementaron, lo aumenten a los estándares internacionales y pueda alcanzarse un porcentaje mayor de estos residuos [11].

Con base en el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y delegaciones, para los 2,013 municipios de 20 estados implementaron una recolección selectiva, las entidades que contaban con mayor porcentaje de municipios fueron: la ciudad de México con el 100% y Jalisco con el 50%; sin embargo, en este último solo tres municipios metropolitanos aparecían (Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque y Zapopan), ello implicaba que la mayoría de estos eran catalogados como rurales [12].

El porcentaje de municipios que manifestaron tener recolección selectiva fue del 17.32%, de los cuales sólo seis estados superaron ese promedio: Ciudad de México (100%), Jalisco (50.4%), Oaxaca (24%), Querétaro (22.22%), Baja California Sur (20%) y Guanajuato (17.39%). Cabe resaltar que en estas entidades sobresalen municipios rurales, porque el volumen de desechos que recogen bajo el sistema selectivo es poco significativo [12].

Es importante resaltar que municipios de doce estados no manifestaron utilizar la recolección selectiva, de los cuales sobresalen algunos que tienen un número importante de centros de acopio de materiales de residuos, como el caso de Aguascalientes y Baja California, pudiendo suponer que, aunque no hacen este ejercicio los municipios, la comunidad y las empresas buscan aprovechar estos centros de acopio.

Finalmente, es necesario mencionar que dentro de este censo se identificaron los porcentajes de recolección por municipio y salvo el caso de la Ciudad de México, que en la mayoría de sus delegaciones recogen los residuos de manera selectiva al 100%, en los demás estados son pocos municipios que tienen esa cobertura, por lo que definitivamente el porcentaje de recolección de forma selectiva es muy bajo tal y como lo manifiesta la SEMADET en su informe de la situación del medio ambiente que no alcanza ni el 10%.

5. Conclusiones

Para poder explorar qué tanto se puede aplicar la economía circular y la eco-eficiencia en México, es necesario examinar las condiciones en que se implementa la recolección selectiva en los municipios, Así como la forma de participación de los centros de acopio; considerando que ellos son los intermediarios para

la reducción, reúso y reciclado de materiales de desecho de las empresas que cada vez buscan ser más eficientes en sus procesos productivos para lograr una mayor competitividad.

La tendencia del desarrollo sustentable no se limita sólo al cuidado y conservación del medio ambiente, sino a un uso adecuado de los recursos, donde el aprovechamiento de los residuos que se generan podría ser una opción para ya no depender de recursos naturales y no generar espacios de confinamientos que en el largo plazo generan una mayor contaminación.

Esta estrategia funcionaria si existiera una cultura de la separación de los residuos; sin embargo, se muestra que en México es deficiente, ya que en las grandes zonas metropolitanas no se hace este proceso, salvo en la Ciudad de México, y se tienen estimaciones que menos del 10% se recicla cuando existen otros países que lo hace en casi un 50%.

Los estados que podrían estar preparados para impulsar una economía circular y la estrategia de eco-eficiencia serían la Ciudad de México, entendiendo que casi todas las delegaciones reciclan el 100% de sus desechos y es una de las entidades que tienen el mayor número de centros de acopio de residuos. Jalisco sería otro estado en condiciones de impulsar la economía circular y la eco-eficiencia, sobre todo por su importante participación en los centros de acopio y en la implementación de la separación selectiva en el 100% de algunos de sus municipios, aunque sería importante que se incorporaran a este proceso todos los municipios metropolitanos.

Querétaro sería otro de los estados que estaría en condiciones para implementar la eco-eficiencia y la economía circular, ya que tiene una participación significativa en los centros de acopio de desechos que reciben metales, además del porcentaje de municipios que implementan la recolección selectiva, adicionalmente podría mencionarse que dentro de estos municipios aparece su capital.

Definitivamente este trabajo muestra un análisis preliminar, por lo que sería adecuado profundizar en algunos casos, además de revisar que tanto realizan la separación de basura, así como el proceso de reciclado. De la misma manera, sería pertinente explorar la situación de los centros de acopio, que tanto lo reciclado se utiliza para generar nuevos productos y cuál es la valorización que se le da a los residuos. Aunque la economía circular no solo se limita al reciclado de residuos, sino a la durabilidad de los productos, donde se busca que determinados productos como los electrónicos puedan tener una mayor vida y no cambiarlos cada vez que sale uno nuevo, eso puede ser redituable para algunas empresas, pero para el planeta no.

Referencias Bibliográficas

- [1] Toache Berttolini, Guadalupe y Vania López Toache 2 (2014) La Sustentabilidad: Hacia la Construcción de un Nuevo Concepto. Ponencia presentada en el Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México, AMECIDER. Zapopan, Jalisco del 11 al 14 de noviembre de 2014.
- [2] Balboa C., Hermida C. y Domínguez M. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. En revista Informador Técnico Volumen 78, No. 1, enero - junio, p 82 – 90. Colombia
- [3] Leff, E. (2012) Discursos sustentables. Siglo veintiuno editores. México.
- [4] Micheli, J. (2000) Fin de siglo: construcción del mercado ambiental global. En la Revista de Comercio Exterior, marzo. Bancomext. México DF
- [5] Romo, D. y Abdel G. (2005). Sobre el concepto de competitividad. En Revista de Comercio Exterior, Vol. 55, Núm. 3, marzo.
- [6] Leal, J. (2005) Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. Serie; Medio Ambiente y Desarrollo, 105, septiembre, Edit.: CEPAL, Santiago de Chile

- [7] Prieto-Sandoval, V., Jaca, C. y Ormazabal, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. Memoria Investigaciones en Ingeniería, núm. 15 ISSN 2301-1092. Universidad de Montevideo. Uruguay
- [8] SEMARNAT. (2015). Separación y aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos. México: SEMARNAT.
- [9] SEMARNAT. (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015. México: SEMARNAT.
- [10] Hoornweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012) What a waste. A Global review of Solid Waste management. Urban Development Series. Knowledge Papers No. 15.
- [11] SEMARNAT. (2012) Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. INECC, SEMARNAT. México.
- [12] INEGI (2013) Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegaciones, 2013. México.

La problemática sobre la disposición de los residuos sólidos en zonas consideradas como vulnerables

¹Mariela Rodríguez Vargas, ²Carlos Alberto González Razo; ³Jessica Gabriela Ochoa Montes.

^{1,2,3} Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, Blvd. Cuitzeo de los Naranjos # 401, Colonia Cuitzeo de los Naranjos, Abasolo, Guanajuato, México. C.P. 36976. Tel: 429-1061300, carlos.gonzalez@tecabasolo.edu.mx.

Resumen

Uno de los criterios fundamentales de los diferentes órdenes de gobierno es incluir en sus programas aquellas políticas sociales que regeneren el tejido social y/o mejoren la calidad de vida de la población en aspectos como el cuidado del medio ambiente, salud o infraestructura. Es así como a principios del año 2016 el gobierno del estado de Guanajuato da a conocer una estrategia denominada Impulso Social, que antepone entre otros criterios las necesidades más apremiantes de la sociedad Guanajuatense y la participación social. Dentro de su plan de trabajo considera la suma de esfuerzos de varias dependencias encabezadas por la Secretaría de Desarrollo Social y Humano, en aquellas Zonas de Acción Prioritaria definidas como *Zonas de Impulso Social*, que se sustentan en el grado de marginación y del deterioro producido por el aumento de los índices delictivos.

La participación social se fundamenta en comités ciudadanos que tienen la atribución de llevar a cabo acciones de desarrollo tendientes a mejorar las condiciones de su entorno, como la preservación de los recursos naturales a través de jornadas de limpieza. En el estado de Guanajuato se incluyen 339 *Zonas de Impulso Social*, una de ellas corresponde a la localidad de la Estación La Piedad, municipio de Pénjamo, donde se desarrolló este trabajo. El presente estudio se enfoca al estudio y problemática de la inadecuada disposición de residuos sólidos en la localidad antes mencionada y de un análisis de la participación de la sociedad en actividades encaminadas a procesos de saneamiento de espacios públicos.

Palabras Clave: Participación, Programas, Recolección, Social, Zonificación.

1. Introducción

Las jornadas de Impulso Social surgen como parte de una política gubernamental estatal, a partir de la concepción de varios documentos relacionados con programas sectoriales en la que se concibe la idea de mejorar las condiciones de bienestar de la población guanajuatense [1,2,3]. A la inquietud de la Secretaría de Desarrollo Social y Humano (SEDESHU), se realiza una suma de voluntades de varias dependencias de gobierno que participan en el proceso sobre dinámicas de apoyo para mejorar la estética del paisaje urbano, construcción de espacios públicos y de viviendas, así como la regeneración del tejido social. De esta manera surgen las Zonas de *Impulso Social* (ZIS) [1] en los que se desarrolla una serie de proyectos encaminados a mejorar las condiciones de vida de la población y en los que se incluyen programas sobre el mejoramiento de las condiciones ambientales. Algunos de los parámetros socio ambientales de las localidades en cuestión, se resaltan en una carencia de una cobertura sobre el servicio de recolección que se traduce en la disposición inadecuada de los residuos en espacios públicos como lo son las barrancas, a las orillas de la comunidad y directamente en la vía pública, lo que trae otra serie de consecuencias como es la proliferación de olores y fauna nociva, inclusive la quema de residuos; práctica que acrecenta la problemática ambiental. En la Estación de la Piedad, al igual que en gran parte de las localidades del municipio de Pénjamo, sus habitantes no muestran el hábito de disponer adecuadamente sus residuos sólidos generados, observándose gran cantidad de estos en espacios públicos, aunado a la carencia en el servicio básico de recolección, la problemática de los residuos sólidos en la vía pública representa un tema primordial a tratar en la gestión integral de los residuos en ZIS.

Es así como inician las jornadas de limpieza que promueven las personas de la localidad junto con algunas dependencias de gobierno del estado de Guanajuato, lo cual es un parámetro medible para la participación de la sociedad en programas de saneamiento de espacios por los que a diario transitan y/o conviven.

2. Metodología

2.1. Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la localidad de la Estación La Piedad esta entre los límites de Guanajuato y Michoacán, pertenece al municipio de Pénjamo. La localidad se encuentra en las coordenadas Longitud 101.995000, Latitud 20.370000, a una altura de 1680 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2010). Se cataloga como una localidad de muy alta marginación con una población total de 1123 habitantes y 266 viviendas particulares habitadas [4].

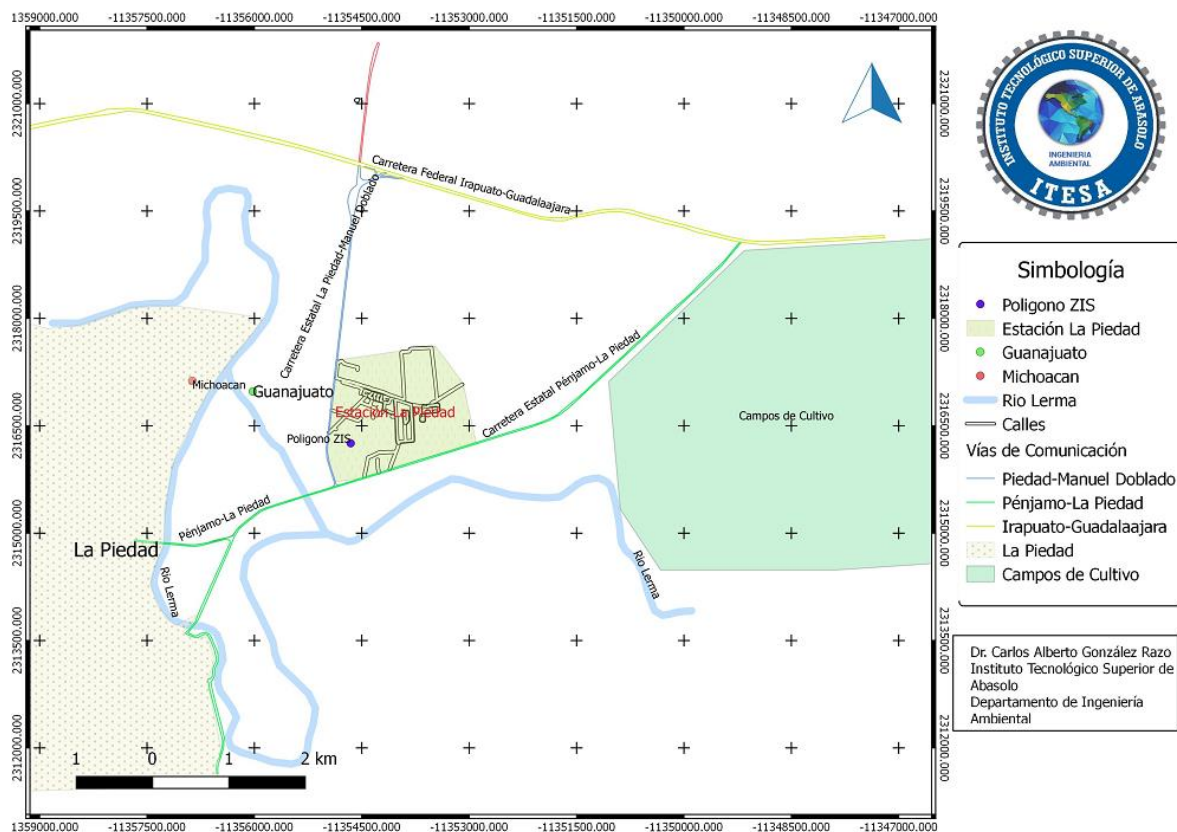


Figura. 1. Localidad de la Estación La Piedad, municipio de Pénjamo, Guanajuato.

De las 339 zonas de Impulso Social (ZIS) declaradas en 2016, para el municipio de Pénjamo se reconocen dos, una de ellas es la correspondiente a la zona de estudio, aunque en la actualidad se han incluido otras localidades al esquema de trabajo [4,5].

2.2. Programa Informativo

Mediante autorización previa del representante de la localidad, se reunió a las personas participantes en un punto en común para dar información de la actividad a realizar. Se les dio una explicación detallada de la importancia de limpiar y mantener espacios públicos limpios y cómo es que se clasifican y se separan los residuos de acuerdo con la NMX-AA-022-1985 [6].

2.3. Cuantificación de Subproductos

Con la organización de la localidad por secciones, se dividió al conjunto de participantes en tres grupos a los cuales se les solicitó el apoyo para que integraran a aquellos espacios públicos que reconocieran plenamente y en los cuales se orientaran fácilmente ya que la localidad no sigue un proceso de urbanización ni de orientación de sus calles de manera coherente para abordar en la medida de lo posible toda la localidad. La iniciativa considerada en el proceso es que junto con la recolección se llevó a cabo la separación de los residuos apegándose en la medida de lo posible a la normatividad.

El procedimiento consistió en realizar la recolección de los residuos dispuestos en calles, parques, a un costado de las vías del tren y/o en caminos de terracería. A la par se fue realizando la separación de estos para ser cuantificados, para este proceso se hizo acompañar a los grupos por un instructor quien los guió en efectuar una separación acorde a las condiciones idóneas al muestreo realizado. La estimación realizada se basó en los subproductos considerados en la Norma de Clasificación NTRS-5, propuesta por la SEDUE e incluida en la Norma Oficial Mexicana Residuos Sólidos Municipales - Selección y cuantificación de subproductos [6,7]. Se realizó el muestreo en dos ocasiones, iniciando a las 8:30 horas, esto con la colaboración de 50 personas promedio. Cabe mencionar que no se pudo llevar a cabo una separación de subproductos como tal por los tiempos de muestreo y la disponibilidad de las personas que apoyaron en la recolección. Como programa de separación y de educación ambiental solamente, no se llevó a cabo un análisis estadístico porque no hay comparación de resultados entre localidades por citar algunos aspectos. Los residuos se almacenaron en bolsas de polietileno de 60 x 90 cm. de 52 gramos aproximadamente dejándose en un sitio específico donde fueron recogidas por el camión recolector.

3. Resultados

En el trabajo realizado participaron en promedio un total de 50 personas que corresponde solamente al 5% de la población, esto debido al poco interés por participar o a las múltiples ocupaciones de la población en general. Sin embargo, la población que se incorporó a la actividad mostró real interés en el proceso de saneamiento de sus espacios.

El proceso de caracterización efectuado durante la recolección consideró adecuarse completamente a la cantidad de subproductos que marcan en la Norma de Clasificación NTRS-5; sin embargo, influyeron varios factores como la disponibilidad de las personas en realizar el proceso completo, el desconocimiento en la identificación de los distintos subproductos, la duración en el proceso y/o las condiciones físicas para realizar las pesadas. Se muestran los resultados a continuación:

Tabla 1. Caracterización de los residuos en la estación La Piedad

Tipo de Residuo	1er Muestreo (kg)	2do Muestreo (kg)
Plásticos	52	30.5
Sanitarios	3	0
Otros Reciclables	10	13
Otros	5	7
Total	70	50.5

Los resultados obtenidos muestran que hubo una reducción de casi un 28% de los residuos de una recolección a otra. Estos resultados son favorables en términos de minimización en la disposición

inadecuada de los residuos en espacios públicos; lo que indica que los pobladores de la localidad mostraron interés en disponer sus residuos en espacios adecuados, más no en procesos de almacenaje y posterior venta del material reciclable y prefieren arrojarlos a la vía pública.

Con respecto a la caracterización, uno de los factores del porque no fue considerada la parte orgánica en el proceso fue que, pese a las recomendaciones realizadas para llevar a cabo una separación adecuada, algunos de los residuos orgánicos fueron quemados, práctica muy común en localidades rurales y en todos los grados de marginación de las localidades rurales, por lo que fue prácticamente imposible considerar este dato.

4. Conclusiones

A principios del estudio, las personas de la localidad de la Estación La Piedad no mostraban un hábito y la buena costumbre de recoger y poner en un sitio adecuado los residuos sólidos generados en espacios públicos, hasta después de su involucramiento en las actividades enmarcadas en la preservación de los recursos naturales a través de jornadas de limpieza, Podremos decir entonces que resulta viable establecer prácticas sustentables a través de las *Jornadas de Impulso Social* que den pauta a la minimización de estos y poder cumplir con uno de los objetivos marcados en la política social que incluyen el mejorar la calidad de vida de la población en aspectos tales como el cuidado del medio ambiente. Se necesita de alternativas en las cuales se involucre a una mayor cantidad de participantes en este tipo de procesos, además de involucrar aspectos de enseñanza como puede ser la separación y minimización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y no quedarse solamente con procesos de saneamiento.

Referencias Bibliográficas

- [1] Gobierno del Estado de Guanajuato (2017). El Surgimiento de Impulso Social. Primera Edición. Agencia Promotora de Publicaciones S.A. de C.V. pp. 11-102.
- [2] Diario Oficial de la Federación del Gobierno del Estado (2018). Programa Sectorial Social y Humano. Visión 2018. Número 41. Tercera parte. En línea <<http://www.portalsocial.guanajuato.gob.mx/documentos/programa-sectorial-social-y-humano.pdf>> Recuperado el 11/02/2018.
- [3] Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato (2012) Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Guanajuato. pp 03-120.
- [4] INEGI. (2015). Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades. En línea <<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/catalogoclaves.aspx>>. Recuperado el 07/09/2016.
- [5] SEDESOL (2018). Catálogo de localidades. En línea <<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/>>. Recuperado el 21/09/2016.
- [6] SECOFI (1985). Norma Mexicana NMX-AA-22-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Método de Cuarteo. Diario Oficial de la Federación. Martes 7 de noviembre de 1985. México. 10 p
- [7] SECOFI (1985). Norma Mexicana NMX-AA-61-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de la Generación. Diario Oficial de la Federación. Martes 7 de noviembre de 1985. México. 16 p

Basura por predial (BYP)

¹Lic. Igor Fidel Roji Lopez

¹H. Ayuntamiento Constitucional de Orizaba, Ver. Avenida Colon Poniente No. 320, Col. Centro, C.P 94300, Orizaba, Veracruz.
Tel. 72 6 22 22 ext. 3223. E-mail: limpiapublica@orizaba.gog.mx

Resumen

Los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Orizaba, son un tema de suma importancia, ya que se tiene una generación diaria promedio de 120 toneladas; lo que genera un impacto significativo al medio ambiente, sobre todo a los rellenos sanitarios en los que son depositados. Partiendo de este punto el H. Ayuntamiento de Orizaba, Veracruz., desarrollo un proyecto denominado *BYP “Basura y Predial”*, con la finalidad de aprovechar todos los *residuos* que tienen la característica de ser *reciclables*, comprándoselos a los ciudadanos para que ellos utilicen ese dinero electrónico en el pago de su impuesto predial. De esta manera se creo una cultura de la *segregación* de los residuos, un apoyo económico a los ciudadanos que lo desarrollaban, disminuyo el volumen de residuos depositados en los rellenos sanitarios y por ultimo el cuidado del medio ambiente. Este programa tiene 4 años que se esta llevando a cabo en la ciudad, y del total de residuos generado el 10% son reutilizados, generando de esta manera un *aprovechamiento* en los RSU. Con este programa se están sumando industrias, comercios y escuelas, los cuales desarrollan programas internos de separación y aprovechamiento de residuos reciclables, originando que no solo en las casas se empieza a generar el habito de separación.

Palabras clave: *Basura Y Predial (BYP), Reciclables, Residuos, aprovechamiento, segregación*

1. Introducción

El aumento de la generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) está ligado con el incremento de la población y la forma de vivir, por lo general existe un mayor consumo de bienes y servicios en la ciudad por la cantidad de habitantes que están dentro de ella [1]. Según el Censo de Población y Vivienda del INEGI 2010 [2], en la ciudad de Orizaba existen 120,844 habitantes, generando un promedio de 120 a 150 toneladas diarias de RSU. Con esta problemática es de suma importancia atender los temas relacionados con la recolección, manejo y disposición final de los residuos. En este sentido, un tema sumamente importante es el adecuado confinamiento, con la finalidad de evitar que los sitios en los que se depositan los RSU no se transformen en focos de contaminación o infección [2] [3].

El H. Ayuntamiento de Orizaba, Veracruz., a través de la Coordinación de Limpia Pública, ante la problemática del mal manejo y disposición de los residuos sólidos urbanos RSU desarrollo un proyecto denominado *BYP (Basura y Predial)*, con la finalidad de involucrar al ciudadano a la separación de origen de residuos que pueden tener una segunda utilidad.

La contaminación generada por los R.S.U. esta provocando que cuerpos de agua y la fauna se vean amenazados., ya que no existe una cultura ambiental ni participación de la sociedad, para segregar los residuos que se consideran como reciclables.

Debido a esta problemática del manejo y disposición final de los R.S.U. el H. Ayuntamiento de Orizaba, Veracruz., implemento el programa “*Basura y Predial*” (*BYP*), con el slogan “*Reciclar te hace ganar*”. Dando como resultado un aprovechamiento de los materiales reciclables y un beneficio a la sociedad con la ayuda de su pago predial.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar y ejecutar el programa BYP (Basura y Predial), para el aprovechamiento de los residuos reciclables, minimizando los impactos negativos al medio., y contribuyendo al pago del impuesto predial de los ciudadanos.

2.2 Objetivos específicos

- Promover la separación de los residuos reciclables, desde origen en los hogares, comercios e instituciones educativas.
- Disminuir los R.S.U. reciclables en el relleno sanitario, dándoles una segunda utilidad a estos residuos y generando para el ciudadano una ganancia que intercambiara al final del año en el pago de sus impuestos.
- Forjar la cultura de la clasificación y aprovechamiento de los residuos reciclables.
- Fundar buenos hábitos en el manejo de los residuos sólidos urbanos, para el cuidado del medio ambiente.

3. Justificación

En la actualidad la educación al cuidado del medio ambiente resulta de vital importancia, debido a que los recursos que nos brinda la naturaleza se han ido deteriorando por la mano del hombre, por ello se implementó el programa BYP, a través del *H. Ayuntamiento de Orizaba*, y *La Coordinación de Limpia Pública* poniendo especial cuidado en la difusión, educación y recolección de los residuos que generan los ciudadanos.

Siendo Orizaba la ciudad mas limpia del Estado de Veracruz, nos vemos comprometidos en minimizar el impacto ambiental de nuestra ciudad a través del proyecto BYP. Siendo pioneros en la implementación de intercambio de materiales que se verán reflejados en el pago de sus impuestos.

Los beneficios que traerá el proyecto son los siguientes:

Ayuntamiento:

Reducción de R.S.U. a los rellenos sanitarios.

Una ciudad limpia y con un aprovechamiento de los residuos valorizables.

Primer municipio a nivel nacional que cuenta con un programa de este estilo, generando un desarrollo sustentable, ya que se beneficia a la sociedad y el medio ambiente.

Trabajadores

Mejorar y administrar de manera eficiente los tiempos de recolección de material reciclado.

Disminuir tiempos y costos en separación de R.S.U.

Optimización de proceso de recolección.

Trabajo en equipo personal confianza y sindicato para lograr una misma meta

Ciudadanos

Fomentar la segregación de los residuos valorizables.

Incentivar al ciudadano/empresas y/o comercios a través del intercambio de material reciclado por tickets que serán válidos para el pago de su Impuesto Predial y Servicios.

Propiciar y crear en la mentalidad del ciudadano la educación ambiental para establecer un bien común para la sociedad orizabeña.

4. Metodología

A continuación, se describirá el proceso que se sigue para realizar el BYP, así como las actividades.

4.1 Proceso de BYP

Proceso: Recolección de material reciclable debidamente separado con la siguiente clasificación: PET, Cartón, Vidrio (Frascos, Botellas), Fierro, Aluminio, Archivo, Tetrapak, Bronce, HDP (Plástico duro), Cobre, Player y PR (Plástico rígido). intercambiándolo por un ticket/vale que será restado al momento que se presenta a pagar su impuesto y sus servicios.

Duración del proceso: Todo el año (ene-dic), de lunes a sábado, presentando en el mes del año posterior (ene-feb) todos sus tickets/vales para el pago de sus contribuciones.

4.2 Lista de actividades realizadas para el BYP

1. Recolección de residuos reciclables: El ciudadano debe de comunicarse a la oficina de la Coordinación de Limpia Pública, para agendar una cita y sean recolectados sus residuos. para ello ya se realizó una difusión en los medios de comunicación, sobre la manera de recolectar el material reciclable en sus domicilios.

2. Cambiar un ticket/vale por material reciclable: Ya una vez estando en el domicilio, el encargado procede a pesar el material dependiendo la clasificación que tenga, los kilogramos y el costo (ver ilustración 1.), entregando un vale (ver ilustración 2.) mismo que deberá guardar y presentar en la tesorería municipal para ser aplicado en el descuento al pago de su impuesto predial y sus servicios municipales.



Figura 1. Peso de Material Reciclable

	PT	CT	VD	FR	CB	AL	AR	TP	BR	PL	PR	HD	AC
Kg.													
Precio													

Figura 2. Formato de Ticket/Vale BYP

3. Almacenamiento: Después de haber recolectado el material de los ciudadanos, es trasladado a las instalaciones de servicios municipales para su clasificación, limpieza, empackado y venta.

5. Evaluación de resultados

El programa ha consistido en realizar una separación de origen de los siguientes residuos: PET, Cartón, Vidrio (Frascos, Botellas), Fierro, Aluminio, Archivo, Tetrapak, Bronce, HDP (Plástico duro), Cobre, Player y PR (Plástico rígido). Para ser reutilizados y de esta manera minimizar los impactos negativos al medio ambiente.

En una primera fase se instalaron 26 módulos en toda la Ciudad, para que los ciudadanos acudieran al punto más cercano para llevar su material reciclable. A partir del año 2017 se modificó el sistema debido al llamado de los adultos mayores, que no podían salir hasta el módulo BYP por el peso de sus bolsas, y porque muchos ciudadanos por su horario de trabajo no tenían la oportunidad de reciclar. Para darle solución a esta problemática se optó por realizar la recolección de todo material reciclado hasta su domicilio.

El horario de servicios es de lunes a sábado de 6:00 a 19:00 horas, programando el servicio hasta su domicilio. Con un promedio de visitas de 15 a 20 domicilios diarios.

El material reciclado que se ha podido recuperar a través del programa BYP en el año 2017, se muestra en la siguiente gráfica.

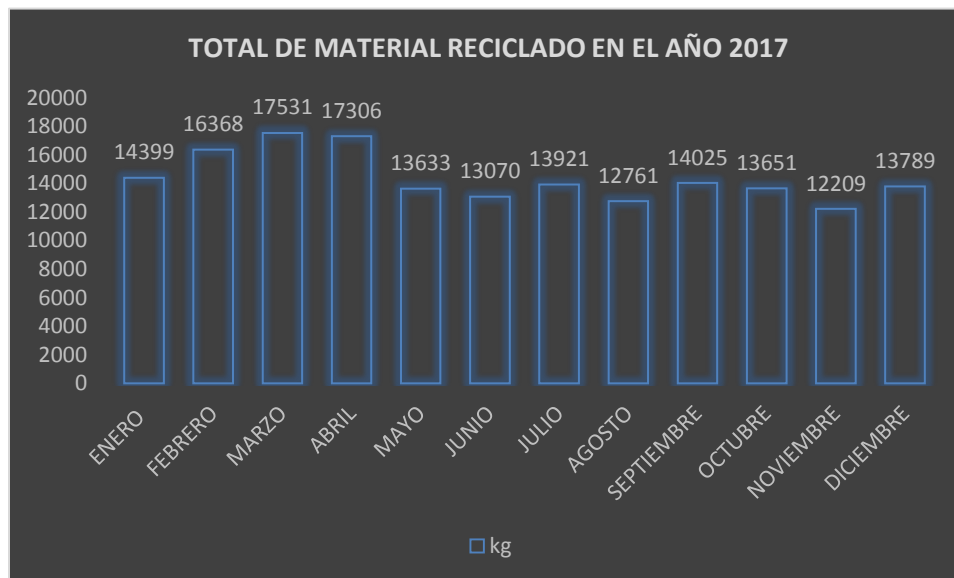


Figura 3. Material Reciclable

En muchos casos, el ciudadano no desembolsa dinero alguno, ya que le alcanza con los Tickets para cubrir el pago de sus contribuciones. Logrando así el slogan “RECICLAR TE HACE GANAR”

Actualmente se beneficia un promedio de 12,315 ciudadanos orizabeños, lo que nos permitió ampliar la base tributaria, en beneficio de los propio orizabeños

En Orizaba, se tiene catastrados 30 000 predios; 10 000 son de empresas, instituciones, Iglesias, etc., el resto: 20 000, es de ciudadanos, casas habitación, por lo que al BYP ha sido aprovechado por el 60% de ciudadanos que son los mas vulnerables.

6. Conclusiones

Este programa que inicio desde hace 10 años, ha traído importantes beneficios a la ciudadanía, pues con la recolección de los R.S.U. reciclables como comúnmente lo llaman “Basura que no es Basura”, se ha cumplido con el pago de sus contribuciones, a través del intercambio de reciclado por descuento al pago de su impuesto predial y sus servicios municipales, particularmente a la población más vulnerable.

Con este Programa se ha aumentado las participaciones federales, por el cumplimiento ciudadano en el pago, es decir, en Orizaba, los ciudadanos pagan bien sus obligaciones municipales

Con el programa del BYP se han aprovechado materiales reciclables, para darles una segunda utilidad, y no ser llevados a un relleno sanitario. Tan solo en el año 2017 se han podido recuperar un total de 172.663

toneladas, del total de residuos que se recolectan en el Municipio de Orizaba, Veracruz; con esta actividad somos un municipio ejemplo a nivel no solo estatal, sino también en el ámbito nacional, ya que se está creando conciencia y forjando el hábito de separación de los residuos valorizables, coadyuvando así al cuidado del medio ambiente y de manera económica apoyando a los ciudadanos para el pago de sus servicios y contribuciones con “basura que nos es basura”.

Como resultado del aprovechamiento de los residuos reciclables en la ciudad, ha nacido nuevas empresas receptoras de material valorizable, lo cual es un beneficio para mas familias de esta ciudad.

Y por supuesto, con todo el trabajo integral de Limpia Publica y Ecologia, hemos contribuido a cuidar “nuestra casa común”, a la que todos estamos obligados.

Referencias bibliográficas

[1] Giusti, L. (2009) A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management* , 29: 2227-2239.

[2] INEGI (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*.

[3] Semarnat (2006) *Bases para Legislar la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. Semarnat. México.

[4] Regadío, M. A.I.; Ruiz, M.; Rodríguez-Rastrero, J. ;Cuevas (2015) A containment and attenuating layers: An affordable strategy that preserves soil and water from landfill pollution. *Waste Management*, 46, 408-419.

Modelo de gestión empresarial en el marco de la responsabilidad socio-ambiental de la industria del reciclaje: caso de estudio Empresa Recolectora de Residuos

¹Ana Griseta Tapia Ibarra, ²Alicia del Carmen Valencia Ovalle, ³Claudia Estela Saldaña Durán

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa, ² Universidad Autónoma de Nayarit, ³ Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo". Tepic, Nayarit. México. C.P. 63155. Tel. (311) 1383027. e-mail cesduran@uan.edu.mx

Resumen

El acelerado crecimiento poblacional a nivel mundial ha traído consigo consecuencias negativas al planeta, entre éstas, el incremento desmedido de los residuos sólidos urbanos así como la creciente urbanización en pequeñas ciudades, provocando con ello deficiencias en el proceso de la recolección y disposición final. Por otra parte, estos cambios demográficos han contribuido al cambio de los patrones de consumo de la población, ante esta realidad y en la búsqueda de alternativas para disminuir los residuos sólidos urbanos se busca emplear tecnología para transformar dichos residuos y a su vez, que éstos no se vean como “basura”, sino como materia prima para la creación de nuevos productos con alto valor económico.

En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo principal diagnosticar organizacionalmente a una empresa dedicada a la recolección contratada de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Tepic, Nayarit; con la intención de optimizar sus procesos administrativos y operativos, permitiendo con ello lograr competencias desde las perspectivas económica, social y ambiental. Con la finalidad de fomentar en las empresas recolectoras de residuos sólidos, la implementación de enfoques de gestión empresarial, que junto a las tecnologías alternativas, participación social y educación ambiental, serían claves para lograr ventajas competitivas así como mejorar el manejo adecuado de dichos residuos, para su posterior aprovechamiento a través del proceso de reciclaje. Metodológicamente se empleó el análisis FODA a través del cual se obtuvo un diagnóstico general de la organización, resultando de ello, la matriz FODA la cual permitió establecer estrategias en la organización.

Palabras Clave: *diagnostico organizacional, recolección contratada, ventajas competitivas, aprovechamiento y manejo adecuado de residuos sólidos urbanos.*

Introducción

El inicio de la gestión empresarial se da a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, exponiendo tres hitos importantes en la evolución de dicha gestión que marcaron la forma de trabajar de las organizaciones [1]. Entre 1920-1930, se crea el concepto de División de Trabajo, en el cual los trabajadores, motivados por el salario se dedican a operaciones simples, monótonas, repetitivas, y cualquiera de las diferentes actividades que se realizan en el área de producción, se creía que el que todos hicieran una misma actividad se obtendría un rendimiento productivo óptimo dentro de la organización. Siendo Taylor quien en el marco de la denominada administración científica creó este tipo de gestión. Asimismo, el autor asumía una especie de *determinismo social*, lo que suponía que la gestión de la organización se podía prever si se echaba mano de la ciencia de la gestión. Adicionalmente, en este tipo de gestión determinista y reduccionista, se buscaba a través de controles, auditorías, estándares y otros mecanismos restablecer las condiciones iniciales de equilibrio en la organización [2].

Un segundo hito se da en los sucesos de la segunda guerra mundial, los empresarios se dan cuenta que los trabajadores pueden realizar trabajos más creativos y con mucha mayor responsabilidad, y así mejorar la eficacia y eficiencia de la productividad en la empresa. Después de la crisis económica de la década de los

70's los empresarios vuelven a caer en cuenta que no es suficiente buscar maneras de aumentar el recurso económico, sino también buscan otros objetivos tales como la ampliación de mercados, diversificación de productos e inclinándose por las tendencias de la personificación y a una mejora de la calidad, aumentando no solo la calidad en los productos y servicios, sino también en servicios adicionales de pre y post venta [1].

La gestión organizacional tradicional se orienta por la distribución del orden, el control y una estructura centralizada y burocrática [1]-[2]. El control en ella se ejerce de forma explícita y las penalizaciones y premios forman parte de los clásicos esquemas de motivación.

Derivado de lo anterior, resulta importante rescatar la relación entre las etapas de la empresa a lo largo del tiempo y el tipo de gestión empleado, en donde se podrá destacar como ha evolucionado la gestión empresarial con respecto al momento por el cual atravesaba la organización. Lo cual permitirá caracterizar el tipo de gestión según el tipo y la etapa que atraviese la organización.

Tabla 1. Tipo de empresa y tipo de gestión organizacional

Tipo de empresa	Tipo de gestión
Organización cerrada; se caracteriza por ser fuertemente centralizada y jerarquizada, principio de causalidad.	Gestión mecanicista y reactiva se privilegia la experiencia y el sentido común como formas de conocimiento.
Organización anticipativa pendiente la provisión de información que posibilita la determinación y control de la relaciones.	Gestión proactiva que hace énfasis en la función y en el hecho para construir una imagen de la realidad. Los datos deben ser verificados y la información corroborada.
Organización como sistema abierto caracterizado por el desequilibrio, las relaciones no lineales y las propiedades emergentes. Paradigma de complejidad	Gestión sistémica que debe ser creativa, innovadora y estratégica a través del lenguaje que permite dar cuenta de relaciones. La actividad cotidiana y la gestión son objetos de control (vigilancia)

Fuente: tomado de Hernández (2011). *La gestión empresarial, un enfoque del siglo XX, desde las teorías administrativas científica, funcional, burocrática y de relaciones humanas.*

Como se pudo observar, el concepto de gestión empresarial ha evolucionado en la medida que el hombre ha avanzado en la consecución de nuevas tecnologías y relaciones para el mejoramiento de nuevos productos y servicios, en la satisfacción de un mercado cada día en crecimiento y complejo. La gestión implica un sinnúmero de requerimientos que necesita cumplir la empresa para lograr sus objetivos organizacionales. Aunque la gestión a simple vista parece sencilla y que cualquier persona puede hacer una correcta gestión, en el mundo real de la empresa sucede todo lo contrario, se necesita una persona (gestor) que esté completamente capacitado y sepa hacer correctamente su trabajo [4].

Las tendencias actuales de la gestión empresarial se enmarcan dentro del concepto de competitividad donde las propuestas de calidad total y de planeación estratégica, han contribuido significativamente a que las empresas se abran cada vez más a su entorno y planteen su actuar en términos de su relación con él [5]. En este contexto, el desarrollo tecnológico debería ser tomado como una alternativa que lleve a la industria del reciclaje a convertirse en una importante proveedora de materias primas para la fabricación de distintos artículos de consumo diario o de equipos de larga duración. Permitiendo al mismo tiempo proteger el medio ambiente, ahorrar los recursos naturales y la energía. Los países desarrollados son los abanderados de esta industria, también conocida como la "Industria del Futuro" ya que cada día miles de toneladas de elementos y desechos de chatarra metálica se incorporan al proceso de reciclaje [6].

Ante esta nueva realidad, es necesario plantear la utilización de modelos que contemplen no solo aspectos económicos, sino que se integre la sostenibilidad ambiental como parte de la responsabilidad socio-ambiental dentro de las empresas recicladoras. La problemática ambiental, social y económica que encierra

el tema del reciclaje presenta oportunidades de desarrollo económico enormes, pues se necesita que más empresas intervengan en el tema del reciclaje debido a que los residuos generados no están siendo aprovechados de manera adecuada, lo cual representa una oportunidad de negocio que favorece a la industria del reciclaje, dado que ellos están calificados para la recolección, transformación y distribución de los nuevos productos o materiales que salgan de este proceso [7].

A nivel mundial, las organizaciones hoy en día se encuentran dentro de un contexto empresarial bastante heterogéneo, representado por acontecimientos como: la globalización, competitividad, nuevas tecnologías y proliferación de entornos complejos e impredecibles [8]. Provocando inesperadas formas de competencia y un mercado cada vez más impredecible. La rapidez de los cambios, la baja adaptabilidad de las organizaciones y su vida efímera en el mercado, inciden en la forma de negociar y en el establecimiento de ventajas competitivas estables [9].

Estos cambios se llevan a cabo en escenarios que se tornan cada vez más propicios para el aprendizaje y el aprovechamiento de oportunidades, ofreciendo la posibilidad de lograr un posicionamiento estratégico no sólo de su entorno económico y productivo, sino también es los aspectos sociales y culturales, que puedan a su vez garantizar la sostenibilidad de los mismos sistemas empresariales. En las últimas décadas, la teoría de la organización ha pretendido establecer que elementos pueden hacer que ciertas empresas logren el éxito y se mantengan en él por más tiempo que sus competidoras [10].

Por lo que el gestionar una empresa no solo deberá estar orientado a los recursos económicos, materiales y al potencial humano sino también al impacto social y ambiental que se determina en los elementos que rodean a la organización dentro de lo que se debe señalar a la ecología que es la relación de los seres humanos con los demás seres vivos y con su ambiente como la tierra, el aire, el agua. Los responsables de gestionar una organización deben ser conscientes de la sensibilidad socio-ambiental, que es la capacidad que se tiene para establecer las relaciones de sus operaciones con las condiciones sociales y ambientales de su entorno. Por lo cual el objetivo principal de la presente investigación es diagnosticar organizacionalmente a una empresa dedicada a la recolección contratada de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Tepic, Nayarit; con la intención de optimizar sus procesos administrativos y operativos, permitiendo con ello lograr competencias desde las perspectivas económica, social y ambiental. Con la finalidad de fomentar en las empresas recolectoras de residuos sólidos, la implementación de enfoques de gestión empresarial, que junto a las tecnologías alternativas, participación social y educación ambiental, serían claves para lograr ventajas competitivas así como mejorar el manejo adecuado de dichos residuos, para su posterior aprovechamiento a través del proceso de reciclaje.

2. Metodología

Para el logro del objetivo propuesto se utilizó el análisis FODA para lograr la identificación de las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades con las que cuenta la organización; y de esta manera proponer e implementar estrategias que lleven a dicha empresa a obtener ventajas competitivas.

- Análisis FODA, a través del cual se logró hacer el diagnóstico en la organización objeto de estudio.
 1. Realizar observación participante, para conocer la función operativa y administrativa de la organización.
 2. Entrevistar al personal administrativo y operativo, con preguntas referentes a las principales problemáticas por las que la organización ha enfrentado.
 3. Identificar y recolectar información referente a la estructura de la organización (misión, visión, valores, organigrama, funciones realizadas por el personal operativo y administrativo).
 4. Identificar procesos operativos y administrativos.
 5. Identificación de las principales Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la organización.
 6. Ponderación de la matriz FODA (EFE-EFI).

7. Obtener matriz de estrategias.

- Tiempos y movimientos para conseguir la optimización de rutas, utilizando la herramienta de los sistemas de información geográfica.
 1. Conocer el número de rutas con las que la organización.
 2. Obtener el número de clientes, domicilios de recolección, cantidades recolectadas de RSU por cliente y ruta. Así como hora de inicio, hora de término, costo por el servicio de recolección, kilómetros recorridos, personal necesario, combustible utilizado, costo de servicios, llantas, reparaciones, salario del personal ocupado, entre otras.
 3. Para lograr obtener la información necesaria de cada ruta, será necesario realizar entrevistas al personal administrativo y operativo, así como realizar la ruta con el personal llevando un GPS, para registrar los puntos visitados.

2.1 Población y Muestra

La ciudad de Tepic Nayarit, lugar donde se llevó a cabo la investigación, cuenta con tres organizaciones con la característica en común de ofrecer el servicio de recolección contratada de residuos sólidos urbanos. Para la elección de la organización en la que se llevó a cabo la intervención, se tomaron los siguientes criterios de inclusión.

- Proporcionar el servicio de recolección contratada de residuos sólidos urbanos.
- Número de clientes atendidos.
- Giros a quienes otorgan el servicio.
- Contar con centro de transferencia.

2.2 Método de obtención de datos

Para el caso específico de la aplicación del instrumento se aplicó a los 32 colaboradores con los que cuenta la organización, los cuales realizan diversas funciones dentro de la misma. Los principales métodos de obtención de datos fueron la entrevista estructurada y observación participante. Dentro de la entrevista estructurada se abordaron apartados referentes a las variables de investigación, las cuales son: gestión empresarial, responsabilidad socio-ambiental y lo concerniente a la industria del reciclaje. Abordando ítems en relación a los siguientes aspectos.

- Datos del empresario y empresa.
- Datos del recurso humano con el que cuenta la empresa.
- Datos sociodemográficos del personal.
- Productividad y competitividad.

Tabla 2. Variables de investigación

Variable	Dimensión	Variable
Gestión empresarial	Eficiencia económica	• Gastos operativos-administrativos. • Facturación anual por el servicio otorgado. • Cobranza recuperada por el servicio. • Rutas. • Ingreso percibido por el material vendido sin transformación dentro de la organización. • Ingresos derivados de la recuperación y transformación de los residuos reciclables. • Ahorro en gastos de operación del relleno sanitario.
	Operatividad	• Número de rutas de recolección de basura.

		• Colonias atendidas. • Toneladas recolectadas por ruta. • Toneladas recolectadas mensualmente. • Gastos operativos por cada ruta. • Kilómetros recorridos de cada ruta. • Salarios de los trabajadores encargados de la recolección. • Camiones disponibles para la recolección de basura.
Reciclaje	Sostenibilidad	• Características de los materiales captados y flujo de salida. • Total de residuos generados en la ciudad de Tepic, Nayarit. • Total de residuos recolectados por la empresa recolectora. • Generación de residuos que pueden ser recuperados según su caracterización. • Total de residuos reciclables recuperados dentro de la organización. • Total de residuos reciclables recuperados en empresas captadoras.
Responsabilidad socio-ambiental		• Disminución de agentes contaminantes en la ciudad. • Vida útil del relleno sanitario. • Disminución de la demanda de materiales vírgenes para la elaboración de nuevos productos, derivados del petróleo y madera. • Normativas internacionales/nacionales. • Cultura organizacional.
		Condiciones de trabajo/ Prácticas laborales.
	Relaciones con los stakeholders	• Relaciones con los stakeholders. Grado de satisfacción.

Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados y discusión

3.1 Diagnóstico situacional de la organización

La organización objeto de estudio, es una empresa 100% nayarita fundada el 17 de septiembre de 1990; con sujeción a la normatividad en materia de limpia para el municipio de Tepic, Nayarit y por disposición de la Ley de la Administración Pública Municipal se adquiere autorización del servicio especial contratado en las áreas comercial, industrial y empresarial; así como la respectiva disposición final en el vertedero público municipal. Cuenta con un centro de transferencia para la recuperación y clasificación de materiales reciclables. Las principales actividades de la organización son:

- Recolección contratada de residuos sólidos municipales,
- Y a partir del año 2012, la separación de residuos con valor económico.

3.2 Caracterización de los materiales con valor económico recuperados por la organización.

Entre los principales materiales con valor económico recuperados por la organización desde el centro de transferencia se encuentran los siguientes:

- Cartón/papel.
- Plástico.
 - Pet transparente.
 - Pet lechero.
 - Bolsa nylon.
 - Plástico duro.
 - Multicolor.
- Aluminio.
- Lamina chilera.
- Vidrio de color y transparente.

La organización analizada se caracteriza por ser una organización cerrada, identificando una fuerte centralización, donde su gestión es mecanicista y reactiva, la cual se rige por la experiencia y el sentido común como formas de conocimiento [3]. La gestión organizacional implementada por la recolectora es tradicional, orienta por la distribución del orden, el control y una estructura centralizada y burocrática, siguiendo un esquema de motivación tradicional (penalizaciones y premios) [1]- [2].

Aunque de cierta forma la organización ha buscado transformar su gestión organizacional tradicional, a las nuevas formas de gestión enmarcadas dentro del concepto de competitividad [5], esto, al incursionar en la separación selectiva, dista de serlo aún, ya que no cuenta con un desarrollo tecnológico que permita ser una proveedora de materias primas para la fabricación de distintos artículos de consumo, que le permitiera ocupar una posición dentro de la industria del reciclaje. El material con valor económico recuperado por la organización no recibe tratamiento alguno, solo es comercializado a empresas captadoras de la ciudad de Tepic, para posteriormente recibir el proceso de transformación en ciudades como Guadalajara y Monterrey.

Entre los hallazgos encontrados se enlistan los siguientes

- Se observó que el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, no está llevado a cabo de manera eficiente, ya que se ha constatado que no se realiza la separación de residuos reciclables con gran eficiencia por parte del personal encargado de realizar dicha actividad.
- Existe una designación de actividades por parte del personal administrativo, sin contar con una definición de puesto, lo cual es una parte importante a tomar en consideración.
- Con respecto a las rutas establecidas, se necesita reorganizarlas con la finalidad de eficientar tiempos y movimiento, así como implementar alternativas para evitar que el material con valor económico no se contamine con los residuos de disposición final.
- Establecer rutas de reciclado.
- Se necesita implementar programas de capacitación al personal administrativo y operativo con relación a diversas temáticas en relación a cultura ambiental, prácticas de responsabilidad social empresarial, políticas de choferes, rutas, atención a clientes, entre otras.

A nivel mundial las organizaciones hoy en día se encuentran dentro de un contexto empresarial bastante heterogéneo, representado por acontecimientos como: la globalización, competitividad, nuevas tecnologías y proliferación de entornos complejos e impredecibles, lo cual provoca inesperadas formas de competencia y un mercado cada vez más impredecible, incidiendo en el establecimiento de ventajas competitivas dentro de las organizaciones [8].

Pero ¿cómo otorgarle ventajas competitivas a una organización?, en respuesta a esta pregunta, en primera instancia es reconocer como funciona la organización, para posteriormente poder identificar las principales fortalezas, amenazas, debilidades y oportunidades con las que la organización cuenta. Al realizar el análisis FODA, el cual consiste en realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que, en su conjunto, diagnostican la situación interna de una organización, así como su evaluación externa, es decir, las oportunidades y amenazas; permitirá a partir de la identificación de estos factores tanto internos como externos, proponer estrategias en pro de la organización.

Tabla 3. Matriz FODA

Fortalezas	Oportunidades
1. Costo accesible por el servicio ofrecido. 2. Atención del servicio de recolección contratada todo el año. 3. Cuenta con experiencia para llevar a cabo el servicio a diversos giros comerciales. 4. Espacio físico idóneo para llevar a cabo la separación de materiales con valor económico. 5. Flotilla vehicular acorde a las necesidades de recolección para cada cliente. 6. Rutas de recolección que cubren gran parte de la ciudad.	1. Adecuar y aprovechar de mejor manera el espacio físico, para implementar tecnología que permita realizar de una manera más eficiente la separación de los materiales con valor económico. 2. Implementar la técnica de compostaje para aprovechar la gran cantidad de residuos orgánicos y de esta manera obtener beneficios económicos a favor de la organización así como reducir el tonelaje de este tipo de residuo que es llevado al relleno sanitario de la ciudad. 3. Establecer rutas de recolección únicamente de material reciclable. 4. Contar con personal calificado para realizar apertura de clientes potenciales que incidan a elevar los ingresos de la organización. 5. Procesar los materiales con valor económico para poder obtener productos ecológicos y no solo comercializarlos sin ningún proceso. 6. Reorganizar las rutas establecidas con la finalidad de reducir costos operativos, así como cubrir de manera eficiente toda la ciudad de Tepic. 7. Alta demanda del servicio de recolección de residuos, ya que los negocios o establecimientos de la ciudad son obligados por el ayuntamiento a contar con una empresa que les otorgue el servicio de recolección contratada.
Debilidades	Amenazas
1. No se cuenta con personal que lleve a cabo la apertura de cartera de clientes. 2. Poca capacitación al personal administrativo y operativo. 3. Se cuenta con cartera de cobro vencida. 4. Poco aprovechamiento del espacio físico de la organización.	7. Competencia desleal. 8. Cambios de gobierno. 9. Costos bajos ofrecidos por la competencia.

5. No se aplica ningún tipo de proceso de transformación a los materiales con valor económico que son separados en la organización. Solo se separan para ser comercializados.	
6. No se aprovechan los residuos orgánicos, van directo al relleno sanitario.	

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos dentro de la organización objeto de estudio.

4. Conclusiones

La industria del reciclaje es fuente importante de ingresos para una extensa cadena productiva, desde aquellas personas que realizan el acopio hasta las empresas que venden la materia prima derivada de los productos reciclables. Sin embargo, aun a pesar de la importante labor que realizan, acopiadores, empresas dedicadas al rubro de la recolección contratada así como la propia industria transformadora, lamentablemente no cuentan con una gestión empresarial la cual debe de tomar en consideración tanto procesos, productividad, calidad y la parte socio-ambiental que permita a la organización actuar dentro del margen de la responsabilidad social. Por ello, implementar un modelo que englobe todos estos elementos, permitirá a la organización obtener ventajas competitivas en las tres esferas del desarrollo sustentable. La gestión empresarial no solo se debe ver como aquella que estudia la organización de las empresas y la manera como se gestionan los recursos, procesos y resultados de sus actividades, se debe ver desde una perspectiva integral y holística.

El diagnosticar a la empresa dedicada a la recolección contratada, permitió identificar los siguientes hallazgos:

1. Identificar y recolectar información referente a la estructura de la organización (misión, visión, valores, organigrama, funciones realizadas por el personal operativo y administrativo).
2. Identificar procesos operativos y administrativos.
3. Identificación de las principales Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la organización.

Dichos hallazgos permitirán implementar estrategias dentro de la organización, enfocadas al logro de ventajas competitivas desde las perspectivas económicas, sociales y ambientales. Las cuales permitirán a la organización lograr un posicionamiento en otros nichos de mercado.

Referencias Bibliográficas

- [1] Trujillo, C. I. (2012). Ingeniería en gestión empresarial. Ciencias económicas y empresariales. *Dominio de las Ciencias*.
- [2] Gil-Bolívar, F. A. (2016). ¿Cómo preparase para el futuro en la gestión empresarial? *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 29-38.
- [3] Hernández, P. H. (2011). La gestión empresarial, un enfoque del siglo XX, desde las teorías administrativas científica, funcional, burocrática y de relaciones humanas. *Escenarios*, 38-51.
- [4] Gonzales, L. J. (2014). Gestión Empresarial y Competitividad en las MYPES del Sector TEXTIL en el Marco de la Ley N° 28015 en el Distrito de la Victoria - AÑO 2013. *Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Financieras*.

- [5] Latorre, E.E. (1998). Gestión Ambiental Empresarial: Instrumento de Competitividad y Solidaridad. *Ingeniería y Competitividad*, 17-23.
- [6] Berenguer, H. M., Trista, M. J., & Deas, Y. D. (2006). El reciclaje, la industria del futuro. *Ciencia en su PC*.
- [7] Arévalo, T. J., & Gomez Guzman, A. (2011). *Plan de Negocios para una Empresa de Reciclaje que Vincule a Recicladores de Oficio con Inversionistas Privados en la Ciudad de Bogotá*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- [8] Magdaniel, S. Y., Sánchez, G. J., & Ucrós, B. M. (2016). Competencias y Éxito Gerencial en Empresas de Servicios Públicos, Municipios de Riohacha y Maicao, Guajira, Colombia . *Sotavento M.B.A*, 132-141.
- [9] Mora-Pisco, L. L., Duran-Vasco, M. E., & Zambrano-Loor, J. G. (2016). Consideraciones actuales sobre gestión empresarial. *Dominio de las Ciencias*, 511-520.
- [10] Garzón, R. D., Amaya, R. C., & Castellanos, D. O. (2004). Modelo conceptual e instrumental de sostenibilidad organizacional a partir de la evaluación del tejido social empresarial. *INNOVAR, revista de ciencias administrativas y sociales*, 82-92.

Selección de Municipios del Noreste del Estado de México y Estados Aledaños Mediante el Método AHP

¹Isis Neftaly Martínez-Morales, ¹María del Consuelo Mañón-Salas, ¹María del Consuelo Hernández-Berriel, ²Sara Ojeda-Benítez, ¹María del Carmen Carreño-de León

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca/ División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. De México, México C.P. 52149, Metepec, Edo. de México, México. mhernandezb@toluca.tecnm.mx

²Universidad Autónoma de Baja California Campus Mexicali/Instituto de Ingeniería, Calle de la Normal S/N y Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este Mexicali B. C. sara.ojeda.benitez@gmail.com

Resumen

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta el mundo. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha tratado de resolver este problema con la creación del manejo integral de RSU (MIRSU), sin embargo, en ocasiones éste es diseñado empíricamente, existiendo áreas de mejora en cada una de sus etapas.

Para gobernar, organizar y administrar el territorio, la República Mexicana se instaura en 32 entidades federativas, de las cuales el Estado de México (Edo. Méx) es el principal generador de RSU. Dentro de dicho estado la zona Noreste presenta características como: municipios con alta densidad de población y una significativa generación y recolección de RSU. Si bien el ingreso económico es mayor en esta zona que la zona sur, en términos de sitios de disposición final se encuentra limitado. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue seleccionar los municipios que presentaran una mayor problemática en cuanto a generación de RSU y tiraderos a cielo abierto (TCA), en el Noreste del Edo. Méx y estados aledaños.

Para ello se empleó el Proceso Análisis Jerárquico (AHP), facilitando la evaluación de aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. El área de estudio comprendió 48 municipios bajo los criterios siguientes: generación de RSU, número de habitantes, unidades económicas, ingreso municipal, porcentaje de población en pobreza, densidad de población, cantidad de sitios de disposición final. Obteniendo como municipios representativos de la zona a Valle de Chalco, Tlanepantla de Baz y Xalatlaco.

Palabras clave: *Generación, Análisis jerárquico, Residuos sólidos urbanos*

1. Introducción

El aumento de la población y el estilo de vida encaminado cada vez al consumo desmedido, han traído como consecuencia el aumento en la generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) [1], convirtiéndolos en uno de los mayores problemas medio ambientales para el mundo. Para tener un mayor control sobre éstos se optó por la implementación del manejo integral de los RSU (MIRSU), el cual está asociado con el control de la generación de RSU, su almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, procesamiento y disposición final [2]. Los encargados de llevar a cabo el manejo es la municipalidad, que se enfrentan a un gran desafío, debido principalmente a los presupuestos limitados y la falta de comprensión a nivel sistema de gestión, además de que las técnicas no son las más adecuadas actualmente [3], como son la recolección de forma intradomiciliaria o casa a casa, tratamientos inadecuado por no contar con estudios de caracterización o la disposición en tiraderos a cielo abierto (TCA), por lo que a la hora de diseñar un MIRSU es necesario reconsiderar nuevas técnicas [4],[5],[6]. Dentro de las etapas que comprende el MIRSU, la disposición final es la etapa más desprotegida, lo que conlleva al aumento de sitios no controlados o TCA dentro de los municipios [7].

En cada organización y/o sistema se toman decisiones tanto a nivel estratégico como táctico, sin embargo, al enfrentarse a dicho proceso por lo general se tienen múltiples objetivos, que en ocasiones se contraponen,

haciendo que el procedimiento se vuelva más complejo; por ello existe la necesidad de una herramienta o un método que permita comparar las múltiples opciones objetivamente [8]. Entre estas herramientas se encuentra el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, siglas en inglés), el cual comprende una serie de métodos y modelos de procesos de decisión [9], [10]. El AHP se fundamenta en una serie de comparaciones entre pares de elementos mediante la construcción de matrices, así como el uso de elementos del álgebra matricial, para establecer prioridades entre los elementos de un nivel [8], además elimina las conjeturas improvisadas, el pensamiento no explicado y ayuda al decisor a elegir la opción correcta ante situaciones complejas. Si bien el uso de AHP es mayormente en las áreas de economía, política y finanzas; dentro de la gestión de residuos se han tenido trabajos referentes a la selección de sitios de disposición final en México [11], [10] y [12].

El Estado de México se encuentra conformado por 125 municipios, en donde resaltan aquellos de la zona Norte porque tienen una mayor generación de RSU (50.4%) [13], debido en parte a la cercanía con la ciudad de México, aunado a esto y con base en el trabajo realizado por [14], en dicha zona se reportaron 30 TCA; por lo que el objetivo de este trabajo consistió en seleccionar aquellos municipios del Noreste del Estado de México (Edo. Méx) y municipios aledaños con una mayor problemática en términos de generación de RSU y TCA, mediante la herramienta AHP, para el estudio posterior de su MIRSU.

2. Metodología

El método AHP consiste de siete pasos principales: definición del objetivo de estudio, selección de los criterios, definición de las alternativas y diseño de las matrices, cálculo de un vector de prioridad y su uso para pesar (comparar) los elementos de la matriz, finalmente se diseña la matriz de prioridad, a partir de la cual se alcanza la mejor aproximación de evaluación de los criterios analizados (Figura 1).

Se entiende como objetivo a aquel que define la dirección a donde se quiere llegar, éste debe ser claro y preciso puesto que de aquí se parte para el establecimiento de criterios y subcriterios. Estos últimos, constituyen las dimensiones que afectan significativamente al objetivo y pueden ser cualitativos y/o cuantitativos, mientras que las alternativas corresponden a las propuestas factibles mediante las cuales se alcanzará el objetivo [15].

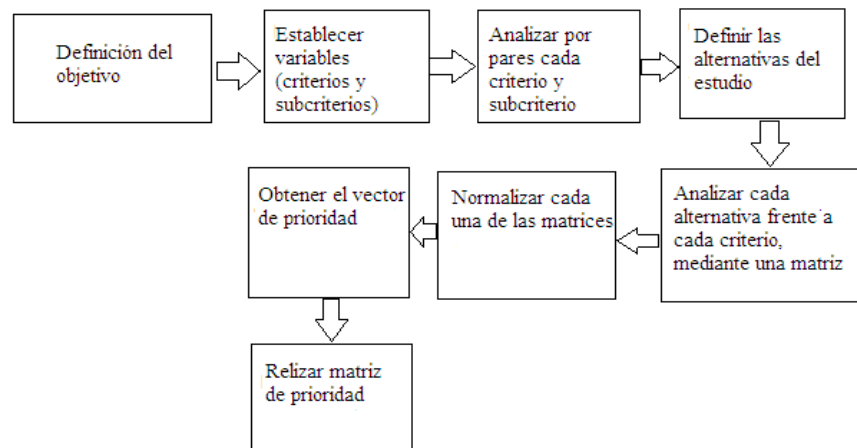


Figura 1. Diagrama de flujo para el Proceso Jerárquico Multicriterio (AHP).

2.1 Definición del problema

Para el planteamiento del problema se analizó la zona Noreste, tomando como referencia la Cantidad de RSU, la Cantidad de SDF y los obstáculos detectados dentro del MIRSU de cada uno de los municipios, dicha información fue recopilada de forma directa con los servidores de servicios públicos y de fuentes oficiales. Se observó que la etapa con un mayor problema es la disposición final, puesto que la población es propensa a disponer los RSU en calles, vías públicas o áreas abiertas [16].

2.2 Establecimiento de criterios y subcriterios

El establecimiento de criterios se realizó tomando en cuenta lo siguiente: Generación de RSU, Número de habitantes, Unidades económicas, Ingreso municipal, Porcentaje de población en pobreza, Densidad de población y Sitios de disposición final. El último fue dividido en tres sub criterios: Relleno Sanitario (RESA), Sitio Controlado (SC) y Sitio No controlado (SNC), este último es mejor conocido como TCA. La información de cada uno de los criterios y sub-criterios fue recopilada de las siguientes fuentes: [13], [17], [18], [19], [20].

2.3 Obtención de alternativas

Para la obtención de los municipios a estudiar se trazaron cuadrantes, tomando como base los puntos cardiales (Norte, Sur, Este y Oeste), los cuadrantes correspondientes al Norte y al Este se dividieron en 45° centrales (Noreste). Los municipios colindantes del Noreste abarcaron cuatro estados: Edo. Méx, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala; como lo muestra la figura 2, dichos municipios fueron las alternativas del estudio.

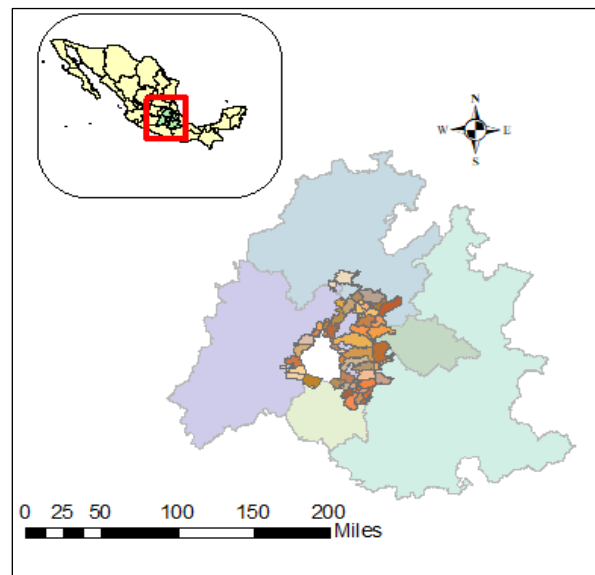


Figura 2. Mapa de los estados del área de estudio

2.3 Análisis por el Proceso Analítico Jerárquico

Una vez establecidos las alternativas y el objetivo del AHP, se elaboró un diagrama jerárquico, donde se plasmó gráficamente los criterios y los subcriterios. Seguido de la comparación univoca de éstos, para dar el puntaje a cada criterio se utilizó la Tabla 1, la cual muestra la escala a utilizar, siendo el número nueve el de mayor importancia (para alcanzar el objetivo) y el uno, el de menor importancia, dichos valores se colocaron en un matriz (Ecuación 1).

Tabla 1. Escala de ponderaciones

Escala Numérica	Escala Verbal

1	Igual importancia
3	Importancia moderada de un elemento u otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro
2,4,6,8	Valores intermedios sobre dos juicios adyacentes
Incrementos 0,1	Valores intermedios en incrementos

Fuente: [21]

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Una vez realizadas dichas comparaciones, se procedió al cálculo la matriz recíproca, la cual resultó de la división de cada término de la matriz sobre la suma de las columnas (Ecuación 2).

$$R1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{w_1} & \frac{r_{12}}{w_2} & \cdots & \frac{r_{1n}}{w_n} \\ \frac{r_{21}}{w_1} & \frac{1}{w_2} & \cdots & \frac{r_{2n}}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{r_{n1}}{w_1} & \frac{r_{n2}}{w_2} & \cdots & \frac{1}{w_n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

El Vector de prioridades, el cual es la importancia relativa asignada a cada criterio, se obtuvo a partir del promedio de los valores de las filas (Ecuación 3).

$$R1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{w_1} & \frac{r_{12}}{w_2} & \cdots & \frac{r_{1n}}{w_n} \\ \frac{r_{21}}{w_1} & \frac{1}{w_2} & \cdots & \frac{r_{2n}}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{r_{n1}}{w_1} & \frac{r_{n2}}{w_2} & \cdots & \frac{1}{w_n} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{promedio}_1 \\ \text{promedio}_2 \\ \vdots \\ \text{promedio}_3 \end{matrix} \quad (3)$$

Este procedimiento se aplicó a cada una de las alternativas frente a cada uno de los criterios. Una vez definidos los vectores de prioridad de las alternativas, de los criterios y de los subcriterios, se construyó una última matriz con dichos valores y se calculó el vector de prioridad total, por medio la suma producto (Ecuación 4).

$$R_3 = \begin{bmatrix} \text{vector de prioridad}_{alter1criterio1} & \text{vector de prioridad}_{alter1criterio2} & \cdots & \text{vector de prioridad}_{alter1criterion} \\ \text{vector de prioridad}_{alter2criterio1} & \text{vector de prioridad}_{alter2criterio2} & \cdots & \text{vector de prioridad}_{alter2criterion} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{vector de prioridad}_{alterncriterio1} & \text{vector de prioridad}_{alterncriterio2} & \cdots & \text{vector de prioridad}_{alterncriterion} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{\sum(\text{vector de prioridad}_{alter1criterio1} * \sum \text{vector prioridad}_{criterio1})}{\sum(\text{vector de prioridad}_{alter2criterio1} * \sum \text{vector prioridad}_{criterio1})} \quad (4)$$

2.4 Cálculo de consistencia

El método AHP ofrece al tomador de decisiones el grado de consistencia entre las opciones pareadas, si el grado de consistencia es inaceptable, se puede reconsiderar y posiblemente modificar los juicios. Antes de

determinar una inconsistencia, es necesario estimar el índice de consistencia (CI) de una $n \times n$ matriz de juicios, donde CI viene definido por la ecuación 5:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Donde λ_{max} es el máximo autovalor de la matriz, de esta forma IR se define por la ecuación 6.

$$I_R = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Donde RI es el valor aleatorio promedio de CI para una $n \times n$ matriz. Los valores de RI se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes

N	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35

Fuente: [21]

Los juicios pueden ser considerados aceptables si I_R es inferior o igual 0.1. En casos de inconsistencia, el proceso de evaluación para la matriz evaluada es inmediatamente repetido. Inconsistencias superiores a 0.1 o más justifican una mayor investigación de los criterios evaluados [21].

3. Resultados y Discusión

La muestra de estudio se conformó por 48 municipios, los cuales se presentan en la figura 3:

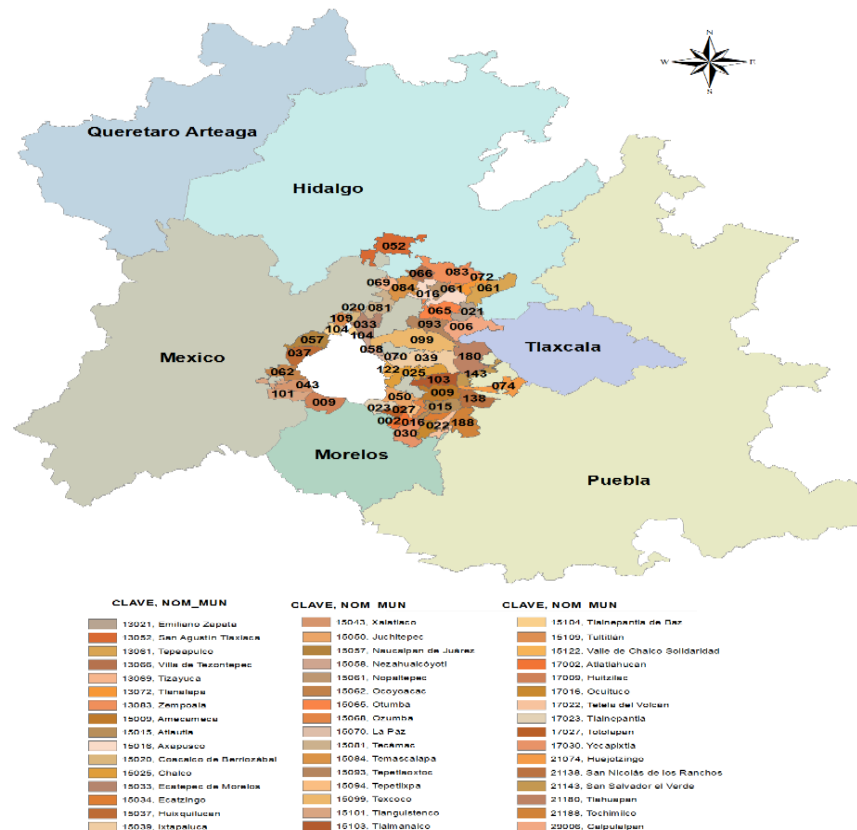


Figura 3. Mapa de municipios a estudiar

3.1 Definición del problema y criterios

La figura 4 muestra el diagrama jerárquico construido a partir del objetivo del AHP, el cual fue la selección de los municipios con una mayor problemática de generación de RSU y TCA, denominados “Municipios urgentes”.

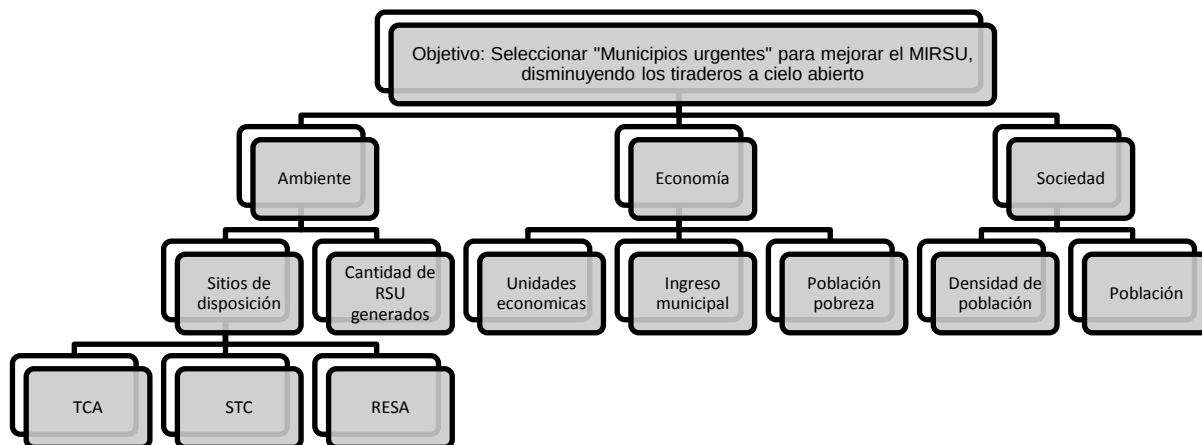


Figura 4. Diagrama jerárquico

3.2 Análisis por el Método AHP

Una vez establecidos los criterios, subcriterios y alternativas, se diseñaron las matrices y se evaluaron. Las tablas 3 a 5 muestran las matrices de los criterios, mientras que la tabla 6 está relacionada con los subcriterios. En las matrices de criterios y subcriterios (Tabla 3 a 5) se les asignó un mayor peso a aquellos relacionados con la disminución de TCA. La tabla 6 muestra que es nueve veces más importante el TCA que el RESA y, un SC es siete veces más importante que el RESA, pero tan sólo tres veces más importante que el TCA.

Tabla 3. Matriz de criterios ambiente

Criterios	Sitios de disposición	Cantidad de residuos generados
Sitios de disposición	1.000	3.000
Cantidad de residuos generados	0.333	1.000

Tabla 5. Matriz criterio sociedad

Criterios	Densidad de población	Población
Densidad de población	1	0.142
Población	7	1

Tabla 4. Matriz de criterios economía

Criterios	Unidades económicas	Ingreso municipal	Pobreza Extrema
Unidades económicas	1	0.2	1
Ingreso municipal	5	1	1
Pobreza Extrema	1	1	1

Tabla 6. Matriz de subcriterios

Criterios	RESA	STC	TCA
RESA	1.000	0.143	0.111
STC	7.000	1.000	0.333
TCA	9.000	3.000	1.000

Estas matrices fueron normalizadas, obteniendo los *vectores de pesos* para los criterios y subcriterios (Tablas 7 a 10).

Tabla 7. Vector prioridad criterio ambiente

Matriz Inversa		Vector
0.75	0.75	0.75
0.25	0.25	0.25

Tabla 9. Vector de prioridad criterio sociedad

Matriz inversa		Vector
0.125	0.125	0.125
0.875	0.875	0.875

Tabla 8. Vector de prioridad criterio economía

Matriz Inversa			Vector
0.1429	0.0909	0.3333	0.189
0.7143	0.4545	0.3333	0.501
0.1429	0.4545	0.3333	0.310

Tabla 10. Vector de prioridad subcriterios

Matriz Inversa			Vector
0.0588	0.0345	0.0769	0.057
0.4118	0.2414	0.2308	0.295
0.5294	0.7241	0.6923	0.649

Dichos Vectores de prioridad se multiplicaron por la matriz de alternativas, obteniendo así el valor total de éstas, las cuales fueron ordenadas de mayor a menor. La tabla 11 muestra los diez primeros municipios con mayor valor. La selección del municipio de Xalatlaco coincide con el estudio de [12], realizado bajo el método AHP.

Tabla 11. Municipios obtenidos

Municipio	Puntaje
Valle de Chalco Solidaridad	0.728
Tlalnepantla de Baz	0.415
Xalatlaco	0.304
Nezahualcóyotl	0.265
Tlahuapan	0.222
Tultitlán	0.196
Tizayuca	0.140
Villa de Tezontepec	0.132
La Paz	0.128

Este proceso facilitó la observación y selección de los municipios del área de estudio de forma descendente. Si bien existen diferentes sobre técnicas de toma de decisiones como: Método de organización de clasificación para evaluación de preferencia (ELECTRE), Programación transaccional (CP), Teoría de atributos múltiples (MAUT); el AHP es una técnica más popular por su exactitud y su complejidad [3].

3.3 Cálculo de consistencia

Este cálculo es importante, debido a que si el grado de consistencia es aceptable, se puede continuar con el proceso, sin embargo si el grado de consistencia es inaceptable, se debe de reconsiderar los criterios tomados. La Tabla 12 muestra los valores de $\lambda_{\text{máx}}$, CI, RI y IR.

Tabla 12. Valores para cálculo de consistencia

$\lambda_{\text{máx}}$	CI	RI	IR
0.218	-1.132	1.584	-0.715

Como se observa el valor de IR, es menor a 0.1, lo que indica que los criterios utilizados en este trabajo son correctos, consecuentemente no hay necesidad de reconsiderarlos.

4. Conclusiones

El objetivo es la parte medular del estudio por AHP, puesto que de esté depende la ponderación que se les dará a cada una de las variables o de los criterios, por lo que se debe definir correctamente desde el principio.

Los tres municipios con mayores valores fueron Valle de Chalco Solidaridad, Tlanepantla de Baz y Xalatlaco.

Este estudio da pauta a estudios enfocados en el mejoramiento del MIRSU, puesto que ya se tienen aquellos municipios con una mayor problemática en términos de TCA.

Agradecimientos

Este estudio es financiado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT 2015 con el proyecto 263315. Los autores agradecen a la autoridades de los municipios su apoyo y al Instituto Tecnológico de Toluca por las facilidades brindadas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Xiaoping J., Siqi W., Zhiwei L., Fang W., Raymond R. T., Yu Q. (2018). Pinch analysis of GHG mitigation strategies for municipal solid waste management: A case study on Qingdao City. *Journal of Cleaner Production*. 174. 933 – 944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.274>
- [2] Orta de Velásquez Ma. Teresa, Yañez-Noguez I. Rojas-Valencia N.M, Toscano Vélez L., Rentería-Martínez J., Pedroza-Velázquez K., García-Santiago E.I. (2009). Estudio de evaluación de tecnologías alternativas o complementarias para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos. SEMARNAT-UNAM. Instituto de Ingeniería. En línea: http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones_conagua/RESIDUOS%20PELIGROSOS/EST-EVA2009.pdf. Recuperado el 26/02/18
- [3] Gulgun K., Tugrul D., Meltem K., Ayca A. Yulianto S. (2017). Scenarios for regional waste management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 74. 1323 – 1335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.147>
- [4] Guerrero L.A., Maas G., Hogland W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste management*. 33. 220 – 232. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- [5] Ramachandra T. Integrated management of municipal waste. (2011). *Environ Secur: Human Anim Health*. 465 – 484. En línea: http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/paper/integrated_management_msw/index.htm. Recuperado el 26/02/18.
- [6] Alemayehu G., Dadi D., Van Gerven T., Van Der Bruggen B. (2012). Municipal solid waste generation in growing urban áreas in Africa: current practices and relation to socioeconomic factor in Jimma, Ethiopia. *Environ. Monit Assess*. 184(10). 6337 – 6345. doi: 10.1007/s10661-011-2423-x
- [7] LGPGIR.(2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. En línea: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/4140/1/reg_lgpgir.pdf. Recuperado el 26/02/18.
- [8] Osorio – Gómez J.C., Orejuela – Cabrera J.O. (2008). El Proceso De Análisis Jerárquico (AHP) Y La Toma De Decisiones Multicriterio. Ejemplo De Aplicación. *Scientia et Technica Año XIV* 39. 247 – 252. <http://dx.doi.org/10.22517/23447214.3217>.
- [9] Alanbari, M. A., Al-Ansari, N., Jasim, H. K., Knutsson, S. (2014). Modeling landfill suitability based on GIS and multicriteria decision analysis: case study in Al-Mahaweelqadaa. *Natural Science*, 6(11). 828. 10.4236/ns.2014.611081.
- [10] Delgado, O. B., Mendoza, M., Granados, E. L., & Geneletti, D. (2008). *Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico*. *Waste management*, 28(7), 1137-1146. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.07.002>.
- [11] Aziz, R. S., & Khodakarami, L. (2013). Application of GIS models in site selection of waste disposal in an urban area. *WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering*, 77, 27-35. En Línea: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ISUD13/ISUD13004FU1.pdf>. Recuperado: 26/02/18.
- [12] Mañón – Salas. M.C, Hernández – Berriel M. C., De la Rosa – Gómez I., Olay – Romero E. Santana – Rodríguez D. (2017). Decisión Multicriterio; selección de municipios perifericos Norte y Sur Del Estado

De México Con Sitios de Disposición. VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Libro de Actas. En línea: <https://redisa.unican.es/doc/actas-simposio.pdf>. Recuperado: 26/02/18.

[13] INEGI (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegaciones 2015. En línea: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/censosgobierno/municipal/cngmd/2015/>. Recuperado 27/02/18.

[14] Olay-Romero E., Hernández-Berriel M.C., Mañon-Salas M.C., De la Rosa Gómez I., Carreño de León M.C. (2017). Análisis de los Sitios de Disposición Final de la Zona Centro de México. VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Libro de Actas. En línea: <https://redisa.unican.es/doc/actas-simposio.pdf>. Recuperado: 27/02/18.

[15] Toskano H., Gérard B. (2005). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la empresa gráfica comercial MyE S.R.L. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. Tesis de Licenciatura. En línea: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/Basic/toskano_hg/contenido.htm. Recuperado: 27/02/18.

[16] Vidanaarachchi CK, Yuen ST, Pilapitiya S. (2006). Municipal solid waste management in the Southern Province of Sri Lanka: problems, issues and challenges. Waste Manag. 30. 920 - 930 . <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.013>

[17] SEDESOL (2013). Secretaría de Desarrollo Social. Catalogo de poblaciones. En línea: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/>. Recuperado 27/02/18.

[18] CONAPO. (2014). Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la Población 2010 – 2015. En línea: <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>. Recuperado 27/02/18.

[19] INEGI. (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Compendio de Estadísticas Ambientales. En línea: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2015/index_2015.html. Recuperado 27/02/18

[20] INEGI. (2016) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Compendio de Estadísticas. En línea: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/registros/economicas/finanzas/>. Recuperado 27/02/18.

[21] Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. New York. 287.

Relación de la disposición final de RSU con la población en municipios del centro de México

¹Elvira Olay-Romero, ^{1*}María del Consuelo Hernández-Berriel, ¹Isaías De la Rosa Gómez, ¹María del Consuelo Mañón Salas, ¹Nicolás Flores Álamo

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n. Col. Ex Rancho La Virgen, CP. 52140, Metepec, Edo. De México., México. (722) 7089497, eolayr@toluca.tecnm.mx y mherandezb@toluca.tecnm.mx.

Resumen

En México la principal forma de disposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) es el relleno sanitario (RESA); sin embargo, del total de sitios de disposición final (SDF) solo el 8.85% son RESA, el 49.82% son tiraderos a cielo abierto (TCA) y 4.96% sitios controlados (SC). Ante esto, resulta prioritario determinar su actual ubicación e identificar las zonas con mayor necesidad de sitios adecuados. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la relación entre el número de habitantes de los municipios con el tipo y la ubicación de los SDF usados. Para ello se eligieron 70 municipios entre las entidades del Estado de México, Querétaro, Hidalgo, Guerrero y Morelos; agrupándose de acuerdo con su población en: A) mayor a 100,000hab, B) entre 50,000 y 100,000hab, C) entre 15,000 y 50,000hab, y D) menor a 15,000hab; y se investigó con cada ayuntamiento los SDF que tienen y utilizan. Se encontró que cada grupo tiene dos municipios con RESA dentro de su territorio, pero el 71.4% de los municipios de A, 50% de B, 26.5% de C y 23.5% de D los utilizan para disponer sus RSU. No existe relación entre el tamaño poblacional de los municipios con el tipo de SDF que tienen, pero si hay una relación directa con los SDF que usan algunos grupos, entre A y B con los RESA y entre C y D con los TCA. Siendo los municipios del grupo C los que requieren con mayor urgencia apoyo para contar con SDF adecuados.

Palabras Clave: *municipios, RESA, SC, Sitios de disposición final, TCA*

1. Introducción

La adecuada disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) es determinante para controlar y mitigar la contaminación que con ellos se genera [1]. En el caso de México, de acuerdo con cifras oficiales, el 65.6% de los RSU generados se deposita en rellenos sanitarios (RESA), el 12.1 en sitios controlados (SC) y el 12.4% en tiraderos a cielo abierto (TCA) [2], sin embargo, aún predomina la cantidad de TCA usados para la disposición final de los RSU. Al año 2012 a nivel nacional, se tenían contabilizados 216 RESA, 121 SC y 1216 TCA [3]. Si bien hay información disponible en fuentes oficiales, ésta no detalla la ubicación de cada sitio y las municipalidades que ahí depositan, por lo que no se tiene claro su distribución respecto a los municipios. Adicionalmente si se considera el tamaño de los municipios y su infraestructura carretera, de la cual a nivel nacional el 44.9% es red rural y el 19.8% brechas mejoradas [4], existe la posibilidad de que los RSU no sean transportados para ser depositados en el SDF que el municipio tenga disponible en ese momento; ante esto, se hace evidente el problema de la disposición de los RSU, por lo que es necesario, generar información que sirva de referencia en la ubicación de SDF que cumplan con la normatividad y den servicio a varios municipios para reducir la cantidad de TCA y se mitigue la contaminación que ellos generan [5]. La generación de RSU está en relación con el tamaño poblacional de los municipios y con el ingreso económico municipal, lo que debería ser determinante para realizar la inversión en un RESA [6,7]; sin embargo no siempre se hace, por lo que el presente trabajo pretende determinar si existe una relación entre la ubicación, cantidad y tipo de SDF y el tamaño poblacional de los municipios, para ello se realizó una investigación en 70 municipios sobre el tipo de SDF donde depositan los RSU que generan, su ubicación (dentro o fuera de su territorio municipal) y si el lugar es privado o administrado por ellos.

2. Metodología

La zona de estudio está conformada por 70 municipios ubicados en las colindancias entre el Estado de México y las entidades de Querétaro, Hidalgo, Guerrero y Morelos; los cuales se agruparon de acuerdo con su población en 4 grupos (Tabla 1) [7,8].

Tabla 3. Categorías municipios área de estudio

Población (Número de habitantes)			
A	B	C	D
Mayor a 100,000	50,000 a 100,000	15,000 a 50,000	Menor a 15,000

Se realizó una visita a los ayuntamientos de cada municipio para recabar la siguiente información: a) ¿Tipo de sitio de disposición final donde depositan sus RSU?

b) ¿El SDF donde depositan sus RSU está dentro o fuera del municipio entrevistado?

c) ¿Quién administra el lugar donde depositan sus RSU?

Con la información recabada se realizó un mapa usando el sistema de información geográfica (SIG) del INEGI, para visualizar la situación de la disposición final para cada grupo de municipios (A, B, C y D) del área de estudio y se comparó con los SDF reportados oficialmente [8].

Por último, los datos se analizaron mediante Estadística Descriptiva Nominal y se determinó del total de municipios y de cada grupo, la probabilidad de encontrar un tipo de SDF, la probabilidad de estar depositando dentro o fuera de los municipios, así como si son administrados por el propio ayuntamiento o una empresa privada.

3. Resultados y discusión

Los municipios del área de estudio visitados para la recopilación de la información se muestran en la Figura 1 [8].

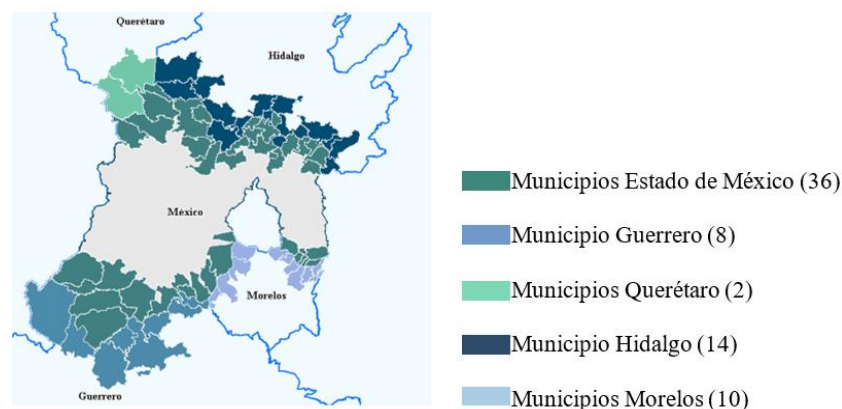


Figura 2. Municipios del área de estudio

Los municipios agrupados de acuerdo con la Tabla 1 se presentan en la Figura 2, la mayoría del grupo A se encuentran al norte (86%), el 50% del grupo D al sur, y predomina el grupo C (población entre 15000 y 50000 habitantes), conformado por la mitad del total de los municipios del área de estudio [7,8].

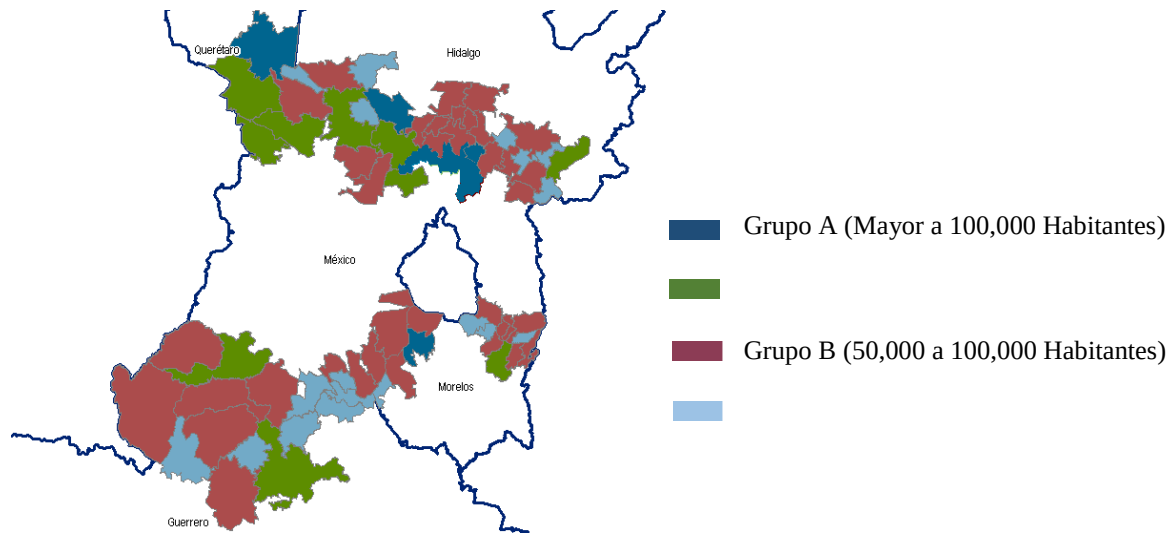


Figura 3. Agrupación de municipios por cantidad de habitantes

En la Figura 3 se hace una comparación respecto a la cantidad de SDF dentro de estos municipios contra la reportada en fuentes oficiales [8], encontrando la mayor diferencia en la cantidad de TCA del grupo A, los SC del grupo B y C y, en los RESA del grupo A y C.

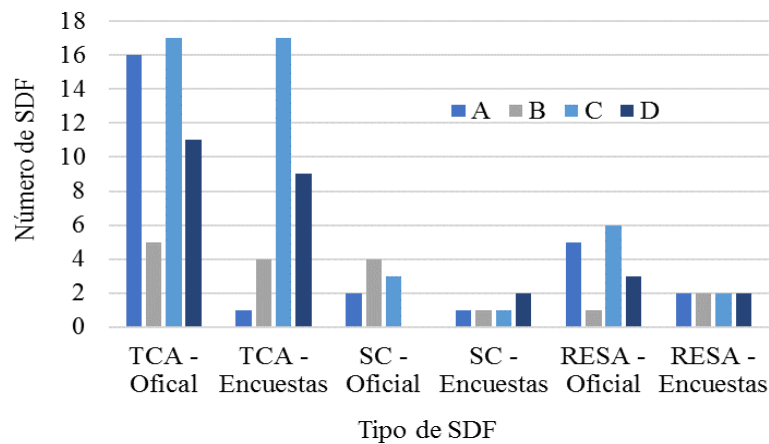


Figura 3. Comparación entre cantidad de SDF (Oficial vs Encuestas)

En la Figura 4 se muestra para cada grupo de municipios (A, B, C y D) la información recabada en campo sobre el tipo de SDF usado para disponer sus RSU, considerando los tipos RESA, SC y TCA dentro y fuera de los municipios. Destaca que del grupo A solo un municipio deposita en TCA y los municipios del grupo C usan la mayor cantidad de TCA (64.7%), el 77% se encuentra dentro de sus municipios y el resto (23%) están fuera de su territorio.

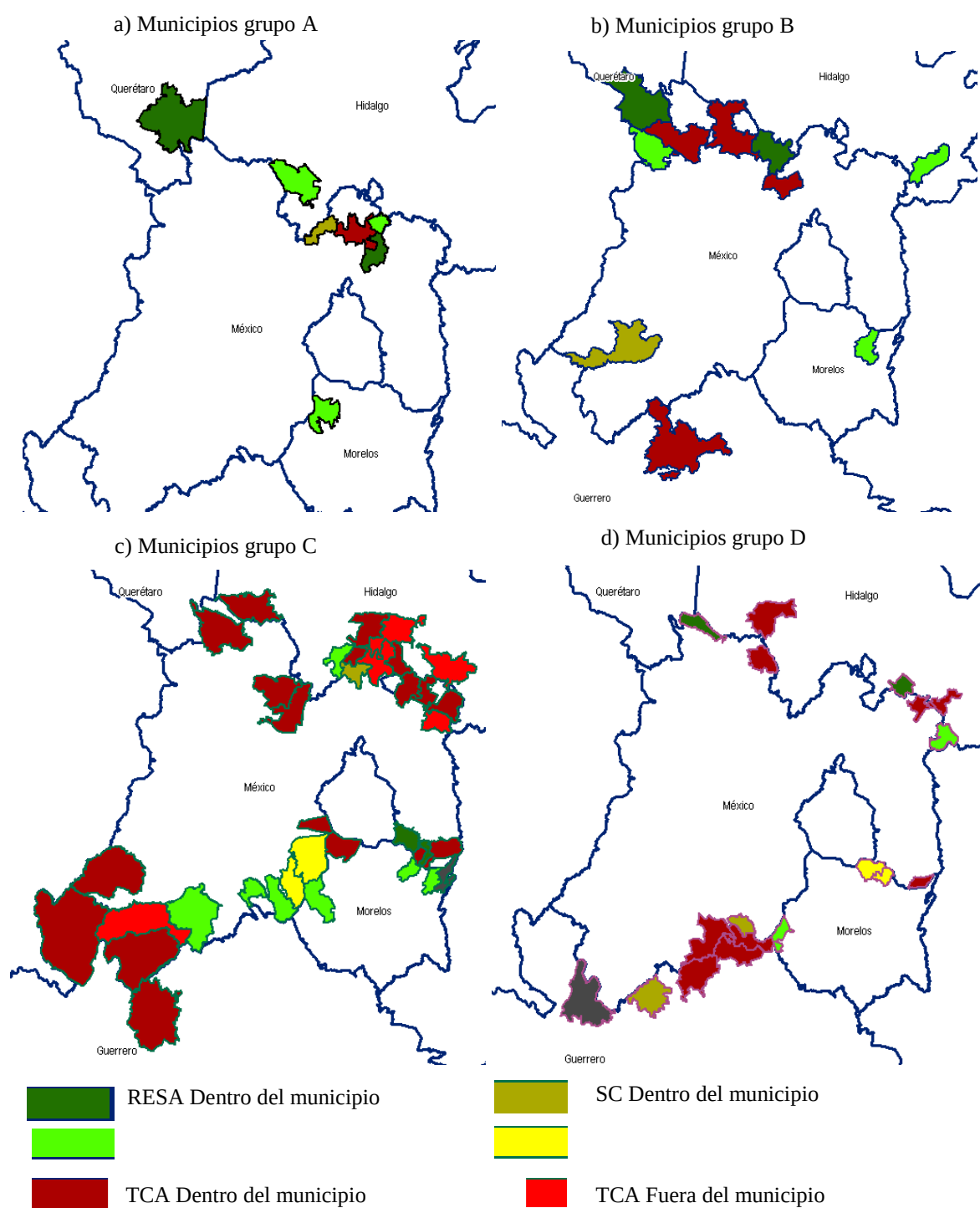


Figura 4. Tipo de SDF que utiliza cada municipio

En la Figura 5 se muestra la cantidad de SDF, destaca que los 4 grupos tienen la misma cantidad de municipios con RESA dentro de su territorio, mientras que el grupo C tiene la mayor cantidad de municipios que depositan en un RESA fuera de su municipio. En cuanto a SC el grupo A y B no tienen municipios que salgan a disponer a estos sitios. La cantidad de SDF mas notable son los TCA, encontrando el mayor número de municipios con sitios sin operar adecuadamente en el grupo C, seguido del grupo D.

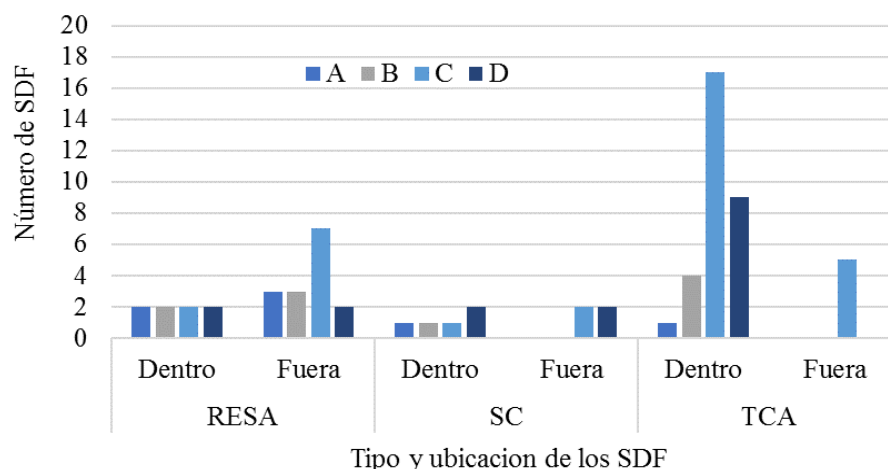


Figura 5. Cantidad de SDF por grupo de municipios

Sin embargo, al analizar la forma de disponer de cada grupo de municipios (Tabla 2), se observó que aun y cuando los cuatro grupos tienen la misma cantidad de municipios con RESA, existen diferencias respecto al porcentaje de municipios que depositan adecuadamente sus RSU debido a la cantidad de municipios que integran cada grupo y a los que salen a disponer a un RESA. El grupo A tiene un mayor porcentaje de municipios (71.4%) depositando adecuadamente y en cuanto a TCA, el grupo C es el que mayor cantidad tiene (64.7%), seguido del grupo D (52.9%) y B (40%).

Tabla 4. Tipo de sitio de disposición Final (%)

Grupo	Municipios (%)	Sitio donde Disponen sus RSU			Ubicación SDF		Administración del SDG	
		RESA (%)	SC (%)	TCA (%)	Dentro (%)	Fuera (%)	Privado (%)	Municipio (%)
A	10	71.4	14.3	14.3	57.1	42.9	57.1	28.6
B	14	50.0	10.0	40.0	70.0	30.0	50.0	50.0
C	50	26.5	8.8	64.7	58.8	41.2	35.3	61.8
D	26	23.5	23.5	52.9	76.5	23.5	35.3	58.8

Esto se explica al analizar la forma de disposicion Fuera de los municipios (Figura 6), en el grupo A mas del 40% de los municipios utilizan un RESA fuera de su territorio para disponer sus RSU; lo que se puede atribuir al mayor ingreso económico que les permite pagar por una disposicion adecuada [7,9]. Del grupo B tambien depositan un porcentaje considerable de municipios en RESA ubicados fuera de su límite territorial, pero mayoritariamente tienen TCA dentro, mientras en los grupos C y D predominan los TCA dentro de sus municipios.

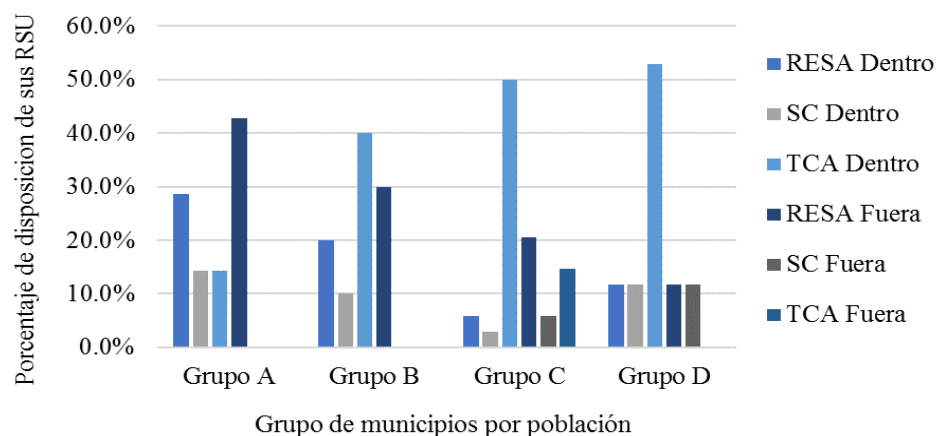


Figura 6. Tipo de SDF usados por grupo de municipios

Los municipios con mayor población tienen una mejor disposición al usar RESA, sin embargo, más de la mitad de los RESA utilizados por los municipios se encuentran Fuera y no son propiedad de los municipios. En el grupo A el 57.1% de los SDF son administrados por el sector privado, lo cual corresponde a los cuatro RESA; mientras que los SC y TCA dependen de los Ayuntamientos. El grupo B se encuentra dividido a la mitad, tanto en el tipo de administración como el tipo de SDF, el 50% de cada tipo de SDF es operado por su ayuntamiento y el otro 50% por organizaciones privadas. En el grupo C se incrementa el porcentaje de los SDF que son operados por los municipios (61.8%) dejando al sector privado cuatro RESA, dos SC y cinco TCA ubicados fuera de los límites de su municipio. En el grupo D se encuentra la mayor cantidad de RESA administrados por los municipios (3). En cuanto a los SC, uno es operado por el ayuntamiento y del total de TCA solo 2 son privados (Tabla 2; Figura 4).

Al analizar los SDF de los 70 municipios por entidad se observa que Morelos tiene solo un municipio con TCA y el resto dispone en RESA Fuera de su territorio municipal (60%). Los dos municipios de Querétaro que colindan con el Estado de México tienen dentro un RESA; mientras en Hidalgo solo dos municipios cuentan con un RESA Dentro, 5 disponen en un RESA Fuera de su territorio y el 50% de sus municipios tienen TCA. Guerrero es la única entidad que no tiene un RESA en sus municipios ni en los colindantes del Estado de México; y de los 35 municipios del Estado de México, solo cuatro tienen un RESA, dos ubicados al norte y dos al Noreste, colindando con Querétaro, Hidalgo y Morelos (Figura 4).

Al analizar en conjunto a los 70 municipios, el 34% de ellos deposita en RESA, el 13% en SC y el 53% en TCA. Comparando con América Latina y el Caribe, para quienes se estima que el 54.4% de la población dispone adecuadamente en RESA, el 18.5% en SC y el 23.3% en TCA [2], se observa que aun con los esfuerzos realizados en los últimos años por incrementar la cantidad de RESA a nivel nacional [3], la disposición final adecuada de RSU en México continúa siendo un problema a resolver, al igual que en América Latina, el Caribe y el mundo [2,10].

4. Conclusiones

La cantidad de SDF adecuados (RESA) ubicados dentro de cada grupo no está relacionada con el tamaño poblacional de los municipios, es decir, municipios con más habitantes no tienen más RESA.

La cantidad de SDF inadecuados (TCA) ubicados dentro de cada grupo está relacionada con el tamaño poblacional de sus municipios, es decir, municipios con menos habitantes tienen más TCA.

Los municipios del grupo C (15,000 a 50,000 hab) requieren de mayor atención, debido a la forma inadecuada de disposición y su carencia de RESA.

La zona con la mayor cantidad de SDF adecuados (RESA) es el norte y noreste del Estado de México, teniendo en la zona Sur la mayor necesidad de ubicar estratégicamente SDF adecuados que ayuden a minimizar la cantidad de TCA.

Agradecimientos

Este estudio es financiado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT- CONACYT 2015 con el proyecto 263315. Los autores agradecen a las autoridades de los municipios su apoyo y al Instituto Tecnológico de Toluca por las facilidades brindadas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Robles F. (2008). Generación de Biogás y Lixiviados en los Rellenos Sanitarios. Publicaciones Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
- [2] AIDIS, OPS-OMS, BID. (2010). Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe: <http://www.iadb.org/en/topics/solid-waste/waste,2203.html>
- [3] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). “Sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos reportados por municipio”. Base de datos estadísticos Badesniarn. Consulta temática, Residuos sólidos urbanos, disposición, en línea, en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/01_ambiental/residuosSolidosU.html. Consultado el 20/Enero/2018.
- [4] Gobierno de la Republica. (2013). Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2013 – 2018.
- [5] Venegas B., García M.L., Sánchez A. (2014). Gestión de residuos sólidos municipales en México, un análisis comparativo”. Gestión Ambiental, 28, 25-47. ISSN 0717-4918
- [6] Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. (1994). Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A. México, D.F. Vol. I.
- [7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Cuéntame... en: <http://www.cuentame.inegi.org.mx>. Consultado el 7/Junio/2016.
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). Mapa digital de México. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/>. Consultado el 27/12/2016.
- [9] United Nations Human Settlements Programme (UN HABITAT). (2010). Solid waste Management in the world's cities. Water and sanitation in the world's cities 2010. Earthscan London – Washington, DC. ISBN 978-92-1-132218-7.
- [10] Mavropoulos A., Wilson D., Velis C., Cooper J. (2015). Globalisation and waste management: Phase 1 – concepts and facts. Researchgate ISWA. DOI: 10.13140/RG.2.1.3611.6000

SECCION 3

TRATAMIENTO / VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Valorización de residuos plásticos post-consumo en Nanchital, Veracruz

¹ Alethia Vázquez-Morillas, ²Margarita Beltrán-Villavicencio, ³Rosa María Espinosa Valdemar, ⁴Maribel Velasco Pérez, ⁵Juan Carlos Álvarez Zeferino, ⁶Alfredo de Jesús Meza Solana, ⁷Antonio Santos Souza Galvao

¹⁻⁴ Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. Departamento de Energía. Área de Tecnologías Sustentables. Av. San Pablo 180, México, DF. 02200 México. Correo: alethia@correo.azc.uam.mx.

⁵ Universidad Autónoma de Baja California – Instituto de Ingeniería, UABC, Boulevard Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, C.P. 21280 Mexicali, Baja California, México.

⁶⁻⁷ Braskem Idesa, Perif. Blvd. Manuel Ávila Camacho 36, Lomas - Virreyes, 11000 Ciudad de México

Resumen

En 2016, como parte de su política de sustentabilidad, BRASKEM IDESA decidió generar un diagnóstico de residuos plásticos post-consumo en el municipio de Nanchital, con el fin de obtener información que permitiera desarrollar un proyecto de valorización en la región. A través de un estudio desarrollado por la Universidad Autónoma Metropolitana se cuantificó el volumen de residuos plásticos no valorizados, se analizó su manejo y reciclaje en la región y se evaluaron distintas opciones para su aprovechamiento. Se encontró que en el municipio se generan aproximadamente 34 toneladas de residuos de PET y polietileno de alta densidad al mes que podrían ser recuperados, pues actualmente no son separados por los generadores, y aunque existe pepena en el sitio de disposición final, ésta no es eficiente. Estos materiales actualmente no son recuperados debido a la falta de mecanismos de reciclaje en la región, y al bajo precio de compra para los materiales, que oscila entre \$1.50 y \$2.00 por kilogramo. Con base en las condiciones de la gestión local de residuos sólidos urbanos, el mercado de reciclaje en el municipio y la percepción de la población, se decidió iniciar un programa de educación ambiental y acopio de envases de PET y polietileno de alta densidad en las 35 instituciones educativas del municipio, que agrupan a 6544 estudiantes, tomando en cuenta que en solo seis de las escuelas existe en la actualidad un programa de este tipo. En este artículo se describe el desarrollo de este proceso.

Palabras Clave: PET, polietileno, reciclaje, acopio

1. Introducción

El municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, en Veracruz de Ignacio de la Llave, tiene una extensión de 30.2 km² y una población de 30,039 habitantes. El 70.1% de la población tiene entre 15 y 64 años y el 93.9% habita en localidades urbanas [1]. En el 2015, el 92.8% de la población económicamente activa estaba en condición ocupada, principalmente en los sectores secundario (46.7%) y terciario (49.3%) [1]. El grado de marginación del municipio es muy bajo, sin embargo, debido a la estrecha relación con la industria petrolera y a los cambios en la misma, la región enfrenta una desaceleración económica.

En septiembre de 2016 la empresa BRASKEM IDESA, cuya planta de producción de polietileno se ubica en el municipio de Nanchital, solicitó al área de Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, la realización de un estudio en el que se generara una propuesta para la valorización de residuos plásticos en el municipio.

En este documento se describe el desarrollo de este proyecto, desde las etapas iniciales de análisis de la gestión de residuos en el municipio, hasta la concepción de un programa de acopio y valorización de residuos plásticos post-consumo.

2. Metodología

Este proyecto inició en septiembre de 2016. El trabajo de campo se desarrolló directamente en el municipio, y las actividades experimentales en el laboratorio de Tecnologías Sustentables de la UAM-Azcapotzalco. Se dividió en etapas, que se ilustran en la Figura 1.

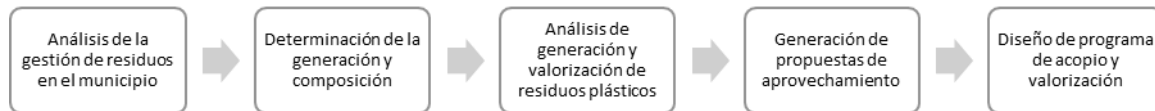


Figura 1. Etapas de desarrollo del proyecto

2.1 Análisis de gestión de residuos en el municipio

Se realizó a partir de información obtenida en entrevistas, encuestas, visitas de campo e investigación bibliográfica.

2.2 Determinación de generación y composición

Los encargados del servicio de limpia han realizado mediciones previas de la capacidad, en toneladas, de los distintos vehículos, y llevan un registro diario para cada uno de ellos. La generación de residuos sólidos urbanos se determinó a partir de la información proporcionada por las autoridades del municipio, específicamente de los datos correspondientes a los meses de enero, febrero, mayo y junio de 2016. La generación diaria correspondiente a cada mes se obtuvo con la ecuación 1. El dato de población se obtuvo del conteo intermedio del INEGI, que indica que en el municipio contaba con 30,039 habitantes en 2015 [2].

$$\text{Generación diaria}_{\text{mes}} = \frac{\Sigma \text{recolección diaria}}{\text{días del mes}} \quad (1)$$

Los valores obtenidos en los cuatro meses fueron promediados para obtener un solo valor representativo, empleando la ecuación 2.

$$\text{Generación diaria} = \frac{\text{generación diaria}_{\text{mes}}}{4 \text{ meses}} \quad (2)$$

Posteriormente se calculó la generación per cápita diaria, con la ecuación 3.

$$\text{Generación per cápita} = \frac{\text{generación diaria}}{\text{habitantes}} \quad (3)$$

El estudio de composición de los residuos se realizó los días 9 y 10 de noviembre de 2016. Debido a la falta de condiciones adecuadas para llevar a cabo un muestreo en los puntos de generación o en el sitio de disposición, se optó por hacer un estudio a pie de camión, es decir, en los vehículos que realizan la recolección en los domicilios.

La selección de vehículos se hizo con base en los estratos socioeconómicos que componen la población, utilizando como referencia la clasificación por ventaja relativa que propone INEGI [3]. En el municipio de Nanchital el 60.8% de la población se encuentra en los tres sectores de mayor ventaja relativa, el 38.7% en los dos sectores intermedios y sólo el 0.5% en los dos sectores de menor ventaja relativa. Con base en lo anterior se decidió tomar tres muestras en vehículos de zonas que atienden los estratos de mayor ventaja relativa y dos en vehículos provenientes de las zonas con ventaja relativa intermedia. En cada vehículo se tomaron muestras de residuos, generalmente contenidos en bolsas de plástico, hasta llenar un tambo de plástico de 200 L. Los residuos posteriormente fueron pesados en una báscula de 500 ± 0.2 kg de capacidad. Se registró su masa y se colocaron en un área con superficie de cemento para posterior utilización.

El peso volumétrico de las dos muestras se midió con base en la NMX-AA-019-1985, Peso volumétrico in situ [4]. El procedimiento se repitió tres veces con distintas porciones de residuos para obtener un promedio. Para obtener una muestra representativa se utilizó el método NMX-AA-015-1985, Método de cuarteo de residuos sólidos municipales [5]. La muestra de 50 kg obtenida por el método de cuarteo se separó y clasificó en diferentes subproductos, en bolsas rotuladas para tal fin, tal como indica la norma NMX-AA-022-1985 [6]. La lista de subproductos separados se modificó para adaptarla a las condiciones actuales de composición de residuos y a las necesidades de este estudio. Una vez clasificados los subproductos se pesaron en una báscula de 30 kg de capacidad marca ADAN. Para determinar la fracción de cada subproducto, se utilizó la ecuación 4.

$$\% \text{ subproducto }_i = \frac{\text{masa subproducto}_i}{\text{masa total}} \times 100 \quad (4)$$

2.3 Análisis de la generación y valorización de residuos plásticos

Para identificar y cuantificar la presencia de los diferentes plásticos en los residuos sólidos urbanos del municipio, se separaron los residuos de la categoría “Plásticos” encontrados en los muestreos. Con el fin de garantizar la seguridad e higiene en su manejo, los residuos fueron lavados con agua y jabón, posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, en donde se procedió a su identificación.

La clasificación de los residuos se realizó inicialmente con base en el código de identificación de los materiales, que en ocasiones se encuentra impreso o grabado en los artículos de plástico. Una vez que se separaron los residuos sin código, se procedió a identificar aquéllos cuyo material se conocía, con base en la experiencia o por referencias. Finalmente se sometió a una prueba de flama y una evaluación de características físicas a los residuos aún no identificados, con lo que, en la mayoría de los casos, fue posible identificar la resina predominante en los mismos. La proporción de cada categoría de residuos plásticos se determinó con relación a la masa total de residuos plásticos.

Posteriormente se calculó la proporción que cada tipo de residuo plástico representa en la masa total de residuos sólidos urbanos de cada uno de los muestreos. Finalmente se calculó un valor promedio para la masa de cada tipo de residuo plástico considerando los dos muestreos, y con base en ello se determinó la proporción promedio para cada material en los residuos sólidos urbanos del municipio.

El estado de la valorización de residuos plásticos en el municipio se analizó a partir de encuestas entre los pobladores, entrevistas con autoridades y recicladores informales.

2.4 Generación y evaluación de propuestas de valorización

Con base en los resultados obtenidos, la gestión de residuos en el municipio y las opciones de valorización disponible, se generaron tres propuestas, buscando cumplir con los siguientes objetivos, en orden de prioridad establecido por BRASKEM IDESA:

General

Incrementar la valorización de residuos plásticos post-consumo en el municipio de Nanchital

Específicos

- Establecer un programa de acopio de residuos plásticos post-consumo viable, arraigado en la comunidad y estable
- Contribuir al desarrollo social en la región de influencia de BRASKEM IDESA
- Promover la educación ambiental y la gestión adecuada de residuos en el municipio

3. Resultados y discusión

A continuación se describen los resultados de este proyecto, para el periodo comprendido entre septiembre de 2016 y enero de 2018.

3.1 Análisis de gestión de residuos en el municipio

En Nanchital el gobierno municipal está a cargo de todas las actividades relacionadas con el manejo de los residuos sólidos urbanos. El servicio de limpia pública cuenta con 80 trabajadores y 6 vehículos para la recolección, que se realiza de lunes a sábado en rutas fijas. Adicionalmente se cuenta con barrenderos que también recolectan residuos; ambas actividades generan una cobertura de recolección del 90%. En contraste con lo que ocurre en la mayor parte del país, no existe la figura de “voluntario” en la recolección.

La totalidad de los residuos recolectados se deposita en el sitio de disposición final “Santa Elena”, con una antigüedad aproximada de 20 años, y que se estima pueda seguir recibiendo residuos 20 años más. Este sitio incumple con la mayor parte de la legislación ambiental vigente y genera impactos ambientales significativos en su entorno. En el lugar opera un sindicato de pepenadores, compuesto aproximadamente por 20 integrantes, incluyendo mujeres y niños. Éstos recolectan en el sitio envases de aluminio y plástico. El líder de los pepenadores compra de forma exclusiva el material recuperado. De acuerdo a estimaciones realizadas por el gobierno municipal se recuperan aproximadamente 9 t/mes de residuos valorizables.

3.2 Determinación de generación y composición

La generación de residuos se presenta en la Tabla 1. El valor obtenido para la generación *per cápita* es elevado si se compara con el valor promedio nacional reportado en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos [7], que es de 0.852 kg/hab/día, y todavía más alto al considerar su procedencia que corresponde a la región.

Tabla 1. Generación de residuos en el municipio de Nanchital

Mes	Generación diaria (toneladas/día)
Enero 2016	46.25
Febrero 2016	54.82
Mayo 2016	47.55
Junio 2016	39.16
Generación diaria	43.45 $\pm$ 3.53
Generación <i>per cápita</i>	1.457 kg/hab/día

Los resultados de peso volumétrico presentaron una variación significativa en los dos muestreos (Tabla 2). Se observa un incremento significativo, superior al 73%, del peso volumétrico del segundo día con respecto al primero. Esta diferencia se relaciona con un contenido más alto de humedad en el segundo día. La noche anterior al segundo muestro llovió y, dado que la gente suele dejar los residuos fuera de su casa para su recolección, estos se humedecieron considerablemente. El valor del primer muestreo se acerca al reportado a nivel nacional que es de 153.12 kg/m³ [7].

Tabla 2. Peso volumétrico de los residuos

Fecha de muestreo	Peso volumétrico (kg/m ³)
9 de noviembre	180.2 $\pm$ 16.8
10 de noviembre	312.4 $\pm$ 4.3

La Figura 2 presenta la composición promedio de los residuos, en términos porcentuales. Se observa que los residuos orgánicos, con el 41.6%, conforman la mayor proporción de los residuos, seguidos del papel higiénico (14.1%), plásticos (11.2%), cartón (10.5%), pañales desechables (6.9%), papel periódico y de estraza (4.5%), que juntos constituyen el 88.8% de los residuos. Esta composición es similar a los valores reportados como promedios a nivel nacional [7].

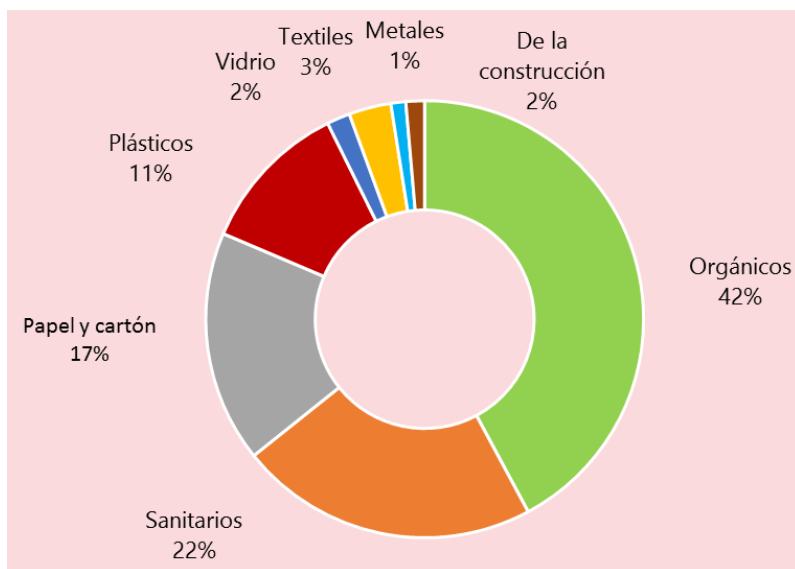


Figura 2. Composición promedio de los residuos sólidos urbanos

3.3 Análisis de la generación y valorización de residuos plásticos

Los resultados de estas mediciones para los dos muestreos que se llevaron a cabo se presentan en la mostraron que el residuo plástico predominante son las bolsas de plástico, que representan entre el 3.3 y el 7.9 % de los residuos sólidos urbanos. Le siguen en importancia los envases de PET, con proporciones de 1.33 y 2.21 %. La Figura 3 muestra el valor promedio para la masa de cada tipo de residuo plástico considerando los dos muestreos. A partir de ese dato se determinó la proporción promedio para cada material en los residuos sólidos urbanos del municipio de Nanchital.

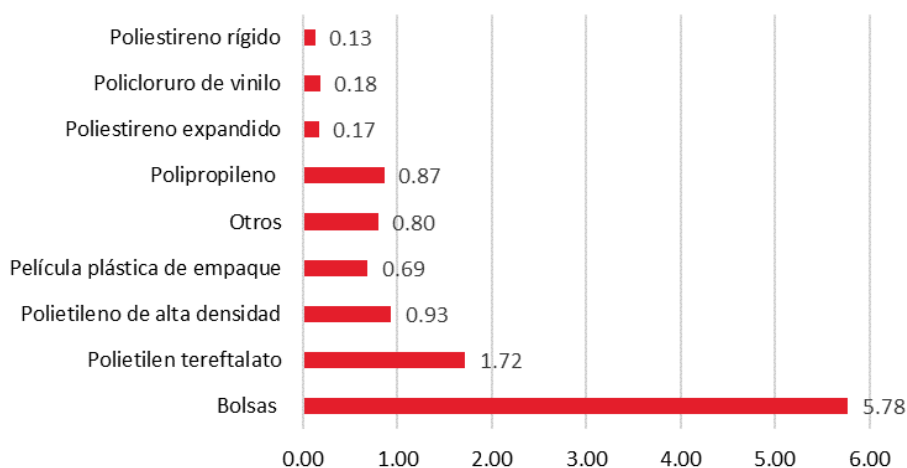


Figura 3. Proporción de residuos plásticos en residuos sólidos urbanos

El 2.65% tienen potencial de valorización: 1.72% polietilentereftalato (PET) y 0.93% polietileno de alta densidad (PEAD), lo que equivale aproximadamente a 34 toneladas de residuos plásticos que podrían ser

valorizados. Estos materiales actualmente no son recuperados debido a la falta de mecanismos de reciclaje en la región, y al bajo precio de compra para los materiales, que oscila entre \$1.50 y \$2.00 por kilogramo. Con su venta se obtendrían, sin considerar los costos de acopio ni de almacenaje, \$56,230 por mes

Atípicamente, en los camiones recolectores no hay separación de residuos con potencial de valorización. Se sabe, de forma extraoficial, que cuando se implementó esta práctica los pepenadores no permitieron el vertido de residuos en el sitio de disposición final. Además del acopio que se realiza en el tiradero por los pepenadores, existen instituciones educativas que acopian PET para su venta o como parte del programa Eco-reto de ECOCE. También hay particulares que separan envases para su venta. En el municipio existen dos centros particulares de acopio de residuos valorizables, pero solamente uno compra y vende envases plásticos; el centro no proporcionó información sobre el volumen que maneja.

3.4 Generación y evaluación de propuestas de valorización

En Nanchital existen, aunque de forma incipiente, mecanismos para el acopio de residuos de envases de plástico. Sin embargo, no hay coordinación y sistematización de las acciones que llevan a la valorización de éstos. Hay actores importantes, como las autoridades municipales, los comercios (más de 700), los brindadores de servicios y los supermercados, que no participan en la recuperación. Las oportunidades y barreras para la valorización identificadas en este estudio se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Oportunidades y barreras para la valorización de residuos en Nanchital

Oportunidades
• Volumen significativo de residuos plásticos con potencial para su valorización (22.42 t/mes de PET y 12.12 t/mes de PEAD) • Interés de las autoridades municipales • Amplia cobertura del sistema de recolección • Aparente interés de la población en participar en la valorización • Infraestructura para el acopio de envases en instituciones educativas
Barreras
• Bajo precio de compra de los materiales (\$1.70/kg de PET y \$1.50/kg de PEAD) • Existencia de un sindicato de pepenadores y su líder • Participación condicionada a obtención de beneficios • Competencia con los programas actuales • Desaceleración económica

Con base en las condiciones de la gestión local de residuos sólidos urbanos, el mercado de reciclaje en el municipio y la percepción de la población, se evaluó tres diferentes opciones para el desarrollo de un programa de valorización:

- Separación en la fuente y recolección selectiva por parte del municipio
- Mejora en el acopio que se realiza en el sitio de disposición final
- Acopio de residuos plásticos en instituciones educativas

Se eligió iniciar un programa de educación ambiental y acopio de envases de PET y PEAD en las 35 instituciones educativas del municipio, que agrupan a 6544 estudiantes, tomando en cuenta que en solo seis de las escuelas existe en la actualidad un programa de este tipo. El acopio de residuos en centros educativos cumple dos fines principales: la recuperación de los materiales valorizables y la formación ambiental de la comunidad escolar [8]. Esta actividad, si se desarrolla adecuadamente, puede conducir a que los alumnos trasladen a sus hogares lo aprendido en la escuela, involucrando a todo el núcleo familiar en la actividad.

El programa de acopio de residuos plásticos post-consumo desarrollado se denomina PLASTI VALE, y tiene los siguientes objetivos:

Objetivo general

Contribuir al bienestar de los niños y jóvenes estudiantes del municipio de Nanchital, a través del intercambio de residuos plásticos post consumo por mejoras en el equipamiento escolar y actividades de formación

Objetivos específicos

- Fomentar la educación sobre la importancia del reciclaje de residuos plásticos, en niños, adolescentes y adultos
- Incrementar la tasa de reciclaje de residuos plásticos valorizables en la región

El objetivo final del programa es contribuir a la construcción de un entorno más sustentable a través de la educación ambiental y de un uso más eficiente de los recursos naturales. Su operación estará inicialmente subsidiada por BRASKEM IDESA, y se espera que en el largo plazo sea autosustentable en el aspecto económico, al incorporar a otro tipo de generadores de alto volumen, como comercios y otros establecimientos.

PLASTI VALE opera a través de la firma de convenios con las instituciones educativas, mediante los cuáles éstas se responsabilizan del desarrollo del programa a nivel interno, el nombramiento de un responsable, la promoción entre su comunidad educativa, el mantenimiento de la infraestructura y la entrega de los envases en las condiciones de limpieza y pureza requeridas para su posterior reciclaje. Por su parte, BRASKEM IDESA brindará la capacitación necesaria, entregará los contenedores requeridos para el acopio y se responsabilizará de la recolección oportuna de los residuos. Además, otorgará beneficios en especie a las escuelas en función del cumplimiento de metas pre-establecidas.

A diferencia de otros programas de acopio de residuos plásticos post-consumo, en éste se plantean metas específicas para cada escuela, con base en el número de alumnos. Además, el seguimiento, asesoría y acopio se realizarán de forma local, a través de un coordinador general de la operación del programa contratado *ex profeso* por la empresa para realizar dicha tarea. Los residuos acopiados se entregarán a una cooperativa que se dedicará a la valorización de residuos plásticos.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por la empresa BRASKEM IDESA. Se agradece el apoyo brindado por las autoridades del municipio de Nanchital, Veracruz, especialmente por: Lic. Brenda Esther Manzanilla Rico, Presidenta Municipal; C. Bertha Inés Gálvez Baruch, Regidora encargada de la Comisión de limpia pública; C. Ana Espinoza Oriza, Regidora encargada de la Comisión de panteones; Sr. Miguel Ángel Leal Castillo, Encargado del servicio de limpia pública; y por el personal de la Biblioteca pública municipal

Referencias bibliográficas

- [1] Gobierno del Estado de Veracruz and Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz, “Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río. Sistema de información Municipal. Cuadernillos Municipales 2016,” 2016.
- [2] INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2014.” p. 1079, 2015.
- [3] INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Regiones socioeconómicas de México.” Aguascalientes, México, p. 79, 2000.
- [4] 1985, “NMX - AA - 019 - 1985. Peso volumétrico in situ.” .
- [5] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, “NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método del cuarteo.” México, 1985.
- [6] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, “NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos.” México, 1985.
- [7] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, “Diagnóstico Básico para la gestión integral de los residuos 2012,” 2013.
- [8] R. M. Espinosa Valdemar, S. Turpin Marion, R. C. Vázquez Solís, A. Vázquez Morillas, A. de la L. Cisneros Ramos, A. de la Torre Vega, and B. A. García García, “La gestión ambiental en una institución de educación superior asociada a las prácticas de separación y recuperación de residuos,” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 29. pp. 49–57, 2013.

Influencia de la adición de lodos aerobios en el tiempo de maduración de composta

¹Yaret Estrella Pulido Espejo, ¹Eric Pascal Houbbron, ²Abigail Zamora Hernández, ¹Michel Canul Chan, ¹Gloria González-López*

¹Laboratorio de Gestión y Control Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prol. Oriente 6 N° 1009, Col. Rafael Alvarado. Orizaba, Ver. CP 94340. México. Tel. 01-22-88-42-17-00 ext 33303. ²Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana. *glorgonzalez@uv.mx

Resumen

La generación de residuos sólidos orgánicos en la actualidad cada vez es mayor. Una de las alternativas para poder contrarrestar esta problemática, es el tratamiento de los residuos a través del compostaje. En este trabajo se realizó el tratamiento aerobio de residuos sólidos orgánicos de fácil degradación. Se emplearon dos técnicas: lombricompostaje (vermicompostaje) y compostaje aerobio. El componente que se añadió para probar su potencial como acelerador del proceso fueron lodos aerobios. La pila de composta aerobia se realizó por duplicado, contenía: residuos alimenticios, papel, pasto, estiércol y lodos aerobios. Además de un testigo, al que no se le adicionaron los lodos. Para la vermicomposta se hicieron dos lombricomposteros, se usó la misma mezcla de RSO empleada en las pilas de composta aerobia; a uno se le agregaron lodos aerobios y a otro no. Se monitoreó la evolución del proceso a través de los siguientes parámetros: temperatura, pH y conductividad eléctrica hasta la maduración de todas las pilas. Además, cada semana se llevaban a cabo análisis de humedad, carbono total y materia orgánica de las pilas de composta aerobia, con el fin de monitorear el avance del proceso. Los resultados demostraron que el tiempo para procesar la lombricomposta se redujo en un 25%, con respecto al empleado normalmente. Mientras que el lapso para madurar la composta aerobia disminuyó un 66%, en comparación a la pila que no tuvo lodos.

Palabras Clave: *lombricomposta, vermicomposta, lodos anaerobios, compostaje, residuos sólidos orgánicos*

1. Introducción

En México La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [1], define como residuos sólidos urbanos (RSU) a los desechos generados en las actividades de casa habitación y vía pública. Dentro de los RSU se encuentran los residuos sólidos orgánicos (RSO), constituidos por los restos de la preparación y consumo de alimentos, residuos de jardín, áreas verdes, corrales y huertas, que se consideran de fácil degradación.

La generación de los RSO en México representa el 52.42 % de los RSU [2]. La generación de un volumen cada vez mayor de residuos será consecuencia del agotamiento de los recursos naturales [3], así como problemas ambientales tales como: la degradación de los suelos, disminución de su fertilidad, capacidad de retener y depurar el agua, la generación de incendios y gases de efecto invernadero que se generan en los basureros, la dispersión de partículas y sustancias volátiles [1].

Una de las alternativas para poder contrarrestar esta problemática, es el tratamiento de los residuos a través del compostaje. Pero para esto, se requiere la separación de los mismos en su lugar de generación o en el destino [4, 5]. El compostaje puede ser definido como un proceso de descomposición biológica de los materiales en condiciones controladas, donde se genera materia orgánica estabilizada [6]. Dicho proceso permite obtener un producto que se denomina composta, usado como fuente de nutrientes y acondicionador

de suelos. Siendo los objetivos del compostaje, la reutilización de los residuos orgánicos y el mejoramiento de los suelos [7]. Sin embargo, uno de los factores que encarece el valor de la composta es el tiempo de procesamiento. Por tal motivo, en este trabajo se procesaron RSO utilizando dos métodos de compostaje con la adición de lodos aerobios como acelerador del proceso de descomposición [8]. En el Estado Veracruz no existe una norma que establezca la calidad de la composta.

2. Metodología

2.1. Material biológico

Las lombrices (lombriz roja californiana) empleadas en el vermicompostaje fueron proporcionadas por la planta de tratamiento de residuos orgánicos, localizada en el Municipio de Teocelo, en el Estado de Veracruz. La planta tiene más de 17 años de experiencia produciendo composta. Dichas lombrices poseen la habilidad de procesar una cama de RSO de 20 cm de espesor cada 28-30 días.

2.2. Evaluación del proceso de compostaje

Para la realización del presente trabajo, se dividió en tres fases la metodología, las cuales correspondieron al establecimiento de las mezclas de compostaje, la elaboración de las pilas y el seguimiento de la evolución de las mismas.

2.2.1. Fase I. Establecimiento de las mezclas de compostaje

Una mezcla de RSO fue establecida de acuerdo a su procedencia, como se detalla en la tabla 1. La recolección de los residuos alimenticios se realizó en un mercado de la ciudad de Orizaba. El excremento de vaca procedió de la quesería Santa Gertrudis, ubicada en un municipio conurbado. Los lodos anaerobios fueron aportados por la planta de tratamiento de aguas residuales, Fideicomiso del Sistema de Aguas Residuales del Alto Rio Blanco (FIRIOB), ubicada en Ixtaczoquitlán, Ver., conurbado con Orizaba.

Se emplearon dos técnicas de compostaje: aerobio y lombricompostaje (vermicompostaje); los tratamientos fueron colocados por duplicado (Tabla 1). Los lodos aerobios se implementaron como aporte de materia orgánica y fitonutrientes (macro y micro) [8]. Se agregó 1.5 kg de RSO como alimento para las lombrices, ya que en cada lombricompostero había 500 g de lombrices. La composición de estos RSO tuvo la misma proporción, que los adicionados a las pilas de composta aerobia.

Tabla 1. Mezclas y cantidades de RSO y lodos aerobios utilizados en cada tipo de composta.

Composta aerobia 1 y 2	Composta aerobia 3 (Testigo)	Cantidad (kg)	Vermicomposta 1	Cantidad (kg)	Vermicomposta 2	Cantidad (kg)
Residuos sólidos alimenticios	Residuos sólidos alimenticios	20	Residuos sólidos alimenticios	1.5	Residuos sólidos alimenticios	1.5
Residuos de jardín	Residuos de jardín	1	Residuos de jardín		Residuos de jardín	
Estiércol	Estiércol	20	Estiércol		Estiércol	
Cabello	-----	0.1	Cabello		Cabello	
Lodos aerobios	-----	0.5	-----	0.5	Lodos aerobios	0.5
			Lombrices		Lombrices	0.5

Cada uno de los residuos orgánicos empleados en los tratamientos de compostaje (tabla 1) se llevaron al

Laboratorio de Gestión y Control Ambiental (LABGECA), de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Veracruzana, donde se cuantificaron, pensándolos por separado en una báscula digital. Toda la materia prima fue reducida en tamaño con ayuda de una pala, logrando un tamaño aproximado de 3 cm³ para facilitar el proceso de transformación.

2.2.2. Fase II. Elaboración de las pilas de composta

Las pilas y los lombricomposteros se colocaron en el área de invernaderos de la Facultad de Ciencias Químicas, localizada a un costado del LABGECA.

Composta aerobia. En la base de la pila de composta se colocó una lona para recuperar el lixiviado generado, con el fin de emplearlo para humedecer la pila (Figura 1A). Las capas del material orgánico se incorporaron de forma ascendente en las tres pilas en el siguiente orden: pasto, papel, residuos alimenticios, excremento, papel, pasto, cabello, residuos alimenticios, cascarón de huevo, excremento, papel, pasto y los lodos aerobios (Figura 1B). En el caso de la pila 3, no se agregaron los lodos aerobios, por tratarse del testigo. Una vez conformadas, las pilas se cubrieron con bolsas negras grandes, con el fin de mantener el calor y protegerlas de animales que pudieran acercarse. El volteado se realizó cada 24 h, excepto los fines de semana.

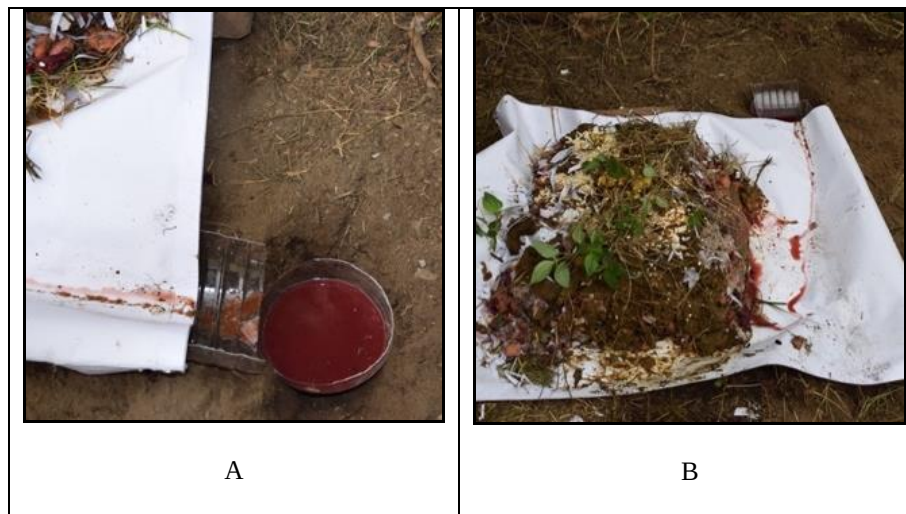


Figura 1. Estructura de la composta aerobia y su sistema de recolección de lixiviados. Depósito de lixiviados (A). Pila de composta (B).

Vermicomposta. Este proceso se llevó a cabo de manera vertical, porque las lombrices se desplazan en una altura de 20 cm de RSO. Para establecer dicho tratamiento, fue necesario elaborar dos lombricomposteros con la ayuda de dos cubetas de plástico de 20 L (Figura 2A). Primeramente, con ayuda de un esmeril se realizaron orificios en el fondo de dos cubetas. Después, se prepararon otras dos cubetas que fueron empleadas como depósito de lixiviado, las cuales se colocaron debajo de las cubetas con orificios; se les hizo una perforación en la pared inferior, donde se colocaron tapas de botellas de refresco, que permitieron drenar el líquido percolado. En la parte central de las tapas de las cubetas, se retiró un pedazo de plástico para colocar un cuadro de 10 cm de lado de malla sombra, que permitió suministrar oxígeno al interior (Figura 2B).



Figura 2. Estructura y establecimiento de los lombricomposteros. Lombricomposteros (A). Arreglo superior como ventilación(B).

2.2.3. Fase III. Seguimiento y evaluación del proceso

Control y seguimiento de variables

Composta aerobia. Con el fin de observar los cambios, se registraron en una bitácora los siguientes parámetros: temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica (CE) y aireación.

Aireación: Con la ayuda de un rastrillo se volteaba las pilas de composta, introduciendo el material de la parte exterior al interior para poder mover toda la masa por igual y proveer de oxígeno a los microorganismos. Terminado el volteo la pila se conformaba en montículo nuevamente y se cubrió con la bolsa negra. Esta operación se efectuó cada 24 horas, excepto los fines de semana.

Temperatura: Se llevaba a cabo la medición de temperatura cada 48 h, previo al volteo, hasta el final del proceso empleando un termopar (Figura 3A). Para medir correctamente este parámetro se tomaron lecturas en seis puntos equidistantes entre sí, procurando medir en el mismo punto cada día.



Figura 3. Evaluación de las variables de control del proceso de compostaje. Medición de la temperatura en la pila (A), Prueba de puño para medir humedad (B).

Humedad: Se verificó con la prueba de puño, que consistió en tomar con la mano una muestra de la pila; al momento de cerrar la mano no debía escurrir agua de la muestra, si esto pasaba el material tenía entre 70-80% de humedad, en cambio si el material no goteaba, estaba entre 40-50%. Si al abrir el puño el material se disgregaba, contenía una humedad inferior al 20% (Figura 3B). Cuando fue necesario, los residuos se humedecieron con los lixiviados generados en las mismas pilas.

pH y CE: Se tomaba una muestra de 10 g cada 48 h, añadiendo 20 ml de agua, con el fin de obtener un medio acuoso, que permitió efectuar lecturas con el electrodo de un medidor multiparámetros. De esta manera se registraron ambos parámetros a lo largo del proceso. Estas determinaciones se realizaron con base en los métodos de la NOM-021 [10].

Vermicomposta. Los parámetros que se registraron fueron: humedad, pH, CE y temperatura. El único que se controló fue la humedad. Cada dos días se agregó agua con un atomizador a los residuos que se encontraban en el lombricompostero. Debido a que las lombrices no tienen dientes, mantener húmedos los residuos les permite consumirlos con mayor facilidad. El alimento se les adicionó por capas, cuando finalizaron de degradar una capa, se les colocó otra encima; las lombrices ascendían a alimentarse inmediatamente. El pH se determinó por medio del medidor multiparámetros, lo mismo que la CE; la temperatura se medía utilizando un termopar. Se llevó el registro en bitácora.

3. Resultados

Una vez montadas las pilas de los dos métodos de compostaje, se dio seguimiento a la evolución de los procesos por medio de tres parámetros: temperatura, pH y CE. El lapso de monitoreo fue de 30 días, tiempo máximo que tardó la última pila con lodos en transformarse. El proceso en la pila testigo (sin lodos), se prolongó por 60 días adicionales, por lo que no se reportaron en este trabajo sus resultados. A continuación, se presentan los resultados de cada uno.

3.1. Composta aerobia.

Temperatura. Los primeros cinco días se desarrolló la etapa termófila, donde las temperaturas registradas estuvieron entre 55 y 67 °C. Los siguientes 14 días prevaleció la fase mesófila, con temperaturas entre los 30-35° C. En la etapa de maduración, los valores se acercaban a la temperatura ambiente de 20 °C, que fue la menor registrada (Figura 4). La medición se efectuó alternada, un día sí y uno no (excepto los fines de semana).

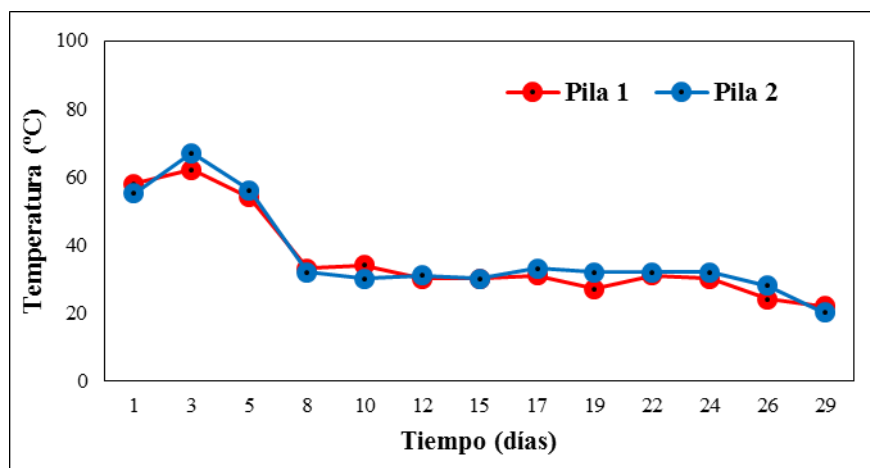


Figura 4. Evolución de la temperatura a lo largo del proceso de compostaje aerobio.

La temperatura en las dos pilas de composta alcanzó valores arriba de 60° C al inicio del proceso (Figura 4). Donde se observó que no existió germinación de las semillas que contenían los residuos alimenticios, ni hubo olores desagradables. La literatura menciona que cuando se alcanza la temperatura máxima registrada, la composta desarrolla un grado de inocuidad [9].

pH.- Este parámetro también se midió cada 48 h, antes de cada volteo manual (Figura 5).

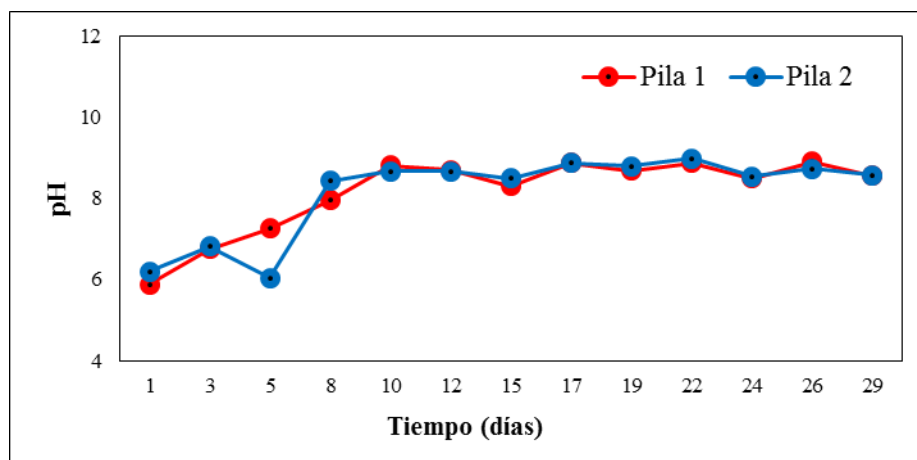


Figura 5. Evolución del pH, durante el proceso de compostaje en las pilas de compostaje 1 y 2.

Los valores de pH se mantuvieron en un nivel adecuado para la supervivencia de los microorganismos presentes en la composta, entre 6 y 9, tal como se reporta en la literatura. El proceso se desarrolla mejor en un medio neutro y poco alcalino, los datos de pH obtenidos estuvieron en este rango.

CE.- Los valores medidos en el producto final se estiman aceptables, con base en la bibliografía [9], ya que se encuentran por debajo de los 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 6). Como puede apreciarse, la primera semana del proceso la CE se mantuvo entre 3.5 y 4.2, luego bajó hasta 2.4 en la Pila 2 y así se mantuvo hasta el final. La pila 1 registró valores semejantes, aunque ligeramente mayores, pero finalizaron iguales, en 2.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como se observó en la Figura 6.

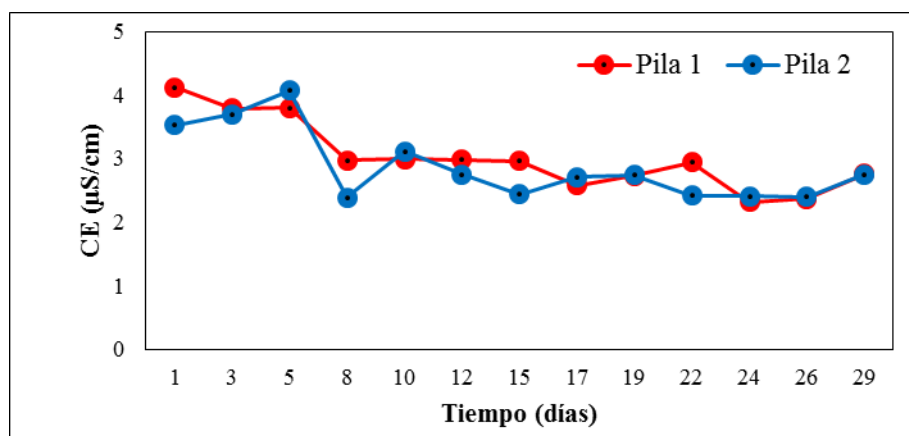


Figura 6. Evolución de la CE durante el proceso de compostaje de las Pilas 1 y 2.

3.2. Vermicomposta. Los parámetros que se monitorearon fueron los mismos que en la composta: pH, CE y temperatura, la diferencia fue que la medición se hizo semanalmente. La razón fue porque las lombrices eran pocas y tenían una cantidad abundante de cocones (huevos), por lo que no era recomendable estar creando estrés en su ambiente. En la Tabla 2 se presentan los resultados para la vermicomposta 1 y 2 (V1 y V2).

Tabla 2. Resultados del control semanal de parámetros en la vermicomposta 1 y 2.

Parámetro	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
pH	6.65	7.12	7.21	7.34	7.26	7.67	7.42	7.88
CE (µS/cm)	2.41	2.64	2.79	2.86	2.82	2.92	2.96	2.98
Temperatura (°C)	20.0	19.0	21.0	19.0	19.0	20.0	20.0	21.0

No se presentó variación notable en los valores de pH, aunque la V2, que contenía lodos, fue siempre la que registró el más elevado. El valor de la CE se mantuvo menor a 3 µS/cm durante todo el proceso, ascendiendo ligeramente en la tercera y cuarta semanas. Las temperaturas siempre fueron las adecuadas para la reproducción y desarrollo de las lombrices. Se monitorearon los parámetros durante 4 semanas, pero en la vermicomposta 2 el proceso finalizó en tres semanas, que fue a la que se le agregaron los lodos.

3.4. Duración del proceso de ambos métodos

El método de composteo que se llevó a cabo más rápido fue el de las lombrices a las que se agregó lodos. El proceso finalizó en tres semanas, cuando el material se veía homogéneo, con apariencia de tierra negra y no despedía olores. Como se mencionó en el apartado 2.1, las lombrices provenían de la Planta de composta del Municipio de Teocelo, Ver. Ahí la vermicomposta se obtiene en 28 a 30 días. El lombricompostero que no contenía lodos terminó en cuatro semanas.

En las pilas 1 y 2 de composta aerobia con lodos, el lapso que requirieron los RSO para transformarse fue de un mes. Mientras que la Pila 3, que fungió como testigo, tardó 12 semanas en concluir. En la última etapa de ambos procesos la temperatura y el pH se mantuvieron estables.

4. Conclusiones

La adición de los lodos aerobios fue capaz de acelerar el proceso de transformación de los RSO, esto debido a que se observó una disminución en el tiempo de degradación de la materia orgánica presente en las pilas de composta aerobia (Pilas 1 y 2). El proceso de compostaje se redujo a tan sólo un mes.

Por otra parte, los lodos aerobios agregados a la vermicomposta, fueron capaces de acortar el tiempo del proceso de descomposición de la materia orgánica en un 25% (tiempo total de 3 semanas).

Hasta donde se tiene conocimiento, compostas obtenidas adicionando lodos también, no han reportado problemas de patógenos.

Referencias Bibliográficas

[1] LGPGIR (2015) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación (DOF, 2003). En línea <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515> Recuperado el 23 de octubre de 2017.

- [2] SINGIR (2014). Sistema de información Nacional para la Gestión Integral de los Residuos. Estadísticas ambientales. México. En línea <<http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales/singir>> Recuperado el 5 de octubre de 2017.
- [3] Lopez de Juambelz, R. (2009). *El impacto de los desechos sólidos sobre el medio*. Revista de cultura científica. Universidad Autónoma de México. México, DF.
- [4] Zhuang Y., Wu S. W., Wang Y. L., Wu W.X., and Chon Y.X. (2008). "Source separation of household waste". *Waste Management*. 28(10), 22-30.
- [5] Peralta Falcón, R. (2015). Residuos de manejo especial y sólidos urbanos: estimación de generación y composición en el municipio de Acayucan, Veracruz, México. Trabajo práctico-Técnico, Facultad de Ingeniería ambiental de la Universidad Veracruzana.
- [6] Campitelli, P. and Ceppi, S. (2009). Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: a chemometric study. *Chemometric and intelligent laboratory systems*. Rockville Pike, Maryland. Estados Unidos.
- [7] Castaldi P., Garau G., and Melis P. (2009). "Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions". *Waste management*. 96(10), 137–142.
- [8] Berriel M., Gómez R., De León C., Izquierdo C. y Chit C. (2015). Aprovechamiento de los residuos orgánicos en el Instituto Tecnológico de Toluca. Memorias, 1er. Encuentro académico sobre manejo de residuos en universidades. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). México, DF.
- [9] Comité de Normalización ambiental del Distrito Federal. NADF-020-AMBT-2011. (2011). Que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones. México D.F. En línea <<http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/577/290/22c/57729022cdb18069720357>>. Recuperado el 10 de marzo del 2017.
- [10] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial martes 31 de diciembre de 2002.

Diseño y construcción de un sistema respirométrico a escala para evaluar la degradación de plásticos

¹Itzel Rubi Jimenez Escamilla, ¹Alethia Vázquez Morillas, ¹Juan Carlos Alvarez Zeferino

¹Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, 5573669708 y irje@azc.uam.mx, alethia@correo.azc.uam,
jucaf@correo.azc.uam,

Resumen

La generación de residuos sólidos urbanos se ha incrementado considerablemente en los últimos años. En el 2010, en México generó el 12.88% de residuos plásticos, que en su mayoría fueron dispuestos en rellenos sanitarios y vertederos a cielo abierto. En la actualidad se han diseñado distintos tipos de plásticos biobasados y biodegradables. Para la determinación del porcentaje de biodegradación de dichos plásticos existen normas internacionales que establecen condiciones controladas para su evaluación. En el presente proyecto se realizaron pruebas de biodegradación a escala de 100 ml con muestras plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) y de plástico composteable (ECOVIO®), con base en la norma ASTM D5338. El método determina la biodegradación aerobia de los materiales plásticos en condiciones controladas de composteo. La prueba de biodegradación se realizó a escala de 100 ml durante 48 días en 2 sistemas con determinación de CO₂ por titulación: con aireación continua y aireación discontinua. El primer sistema obtuvo 3.94% de biodegradación en PEBD y 6.40% en ECOVIO®; mientras que el segundo obtuvo el 1.61% PEBD y 3.95% en ECOVIO®. El sistema con aireación continua presentó los mejores resultados y puede mejorarse para constituir una opción viable para la evaluación de la biodegradación de los plásticos.

Palabras Clave: *Biodegradación, sistema respirométrico, polietileno.*

1. Introducción

Los materiales plásticos están conformados por moléculas de origen natural o sintético. Sus propiedades físicas pueden variar, incluyendo características como la flexibilidad y la elasticidad, entre otras [1]. Los avances de la ciencia y tecnología han llevado a la aplicación de los plásticos en diferentes ramas tan variadas como la medicina, las telecomunicaciones y el envasado [2].

Los plásticos están compuestos principalmente por largas cadenas ramificadas o lineales conocidas como polímeros, [3] conformados a su vez por pequeñas moléculas llamadas monómeros, que están compuestas de carbono e hidrógeno, y en algunos casos pueden contener oxígeno y nitrógeno. La clasificación de los plásticos depende de las propiedades de los polímeros, los cuales se clasifican en tres tipos: termoplásticos, termoestables y elastómeros [1]. Los termoplásticos principales son polietileno tereftalato (PET), polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), y policloruro de vinilo (PVC) [4].

La generación excesiva de los plásticos ha creado una problemática ambiental, debido a su acumulación en el ambiente. Esto ha dado pauta al desarrollo de nuevos materiales y métodos que generen bioplásticos o plásticos biodegradables con las mismas propiedades y periodos más cortos de degradación. Los bioplásticos contienen una porción de carbono orgánico proveniente de materiales renovables, expresado

como un porcentaje de peso, sobre el carbono orgánico, que puede determinar mediante análisis de carbono 14. Por otro lado, los plásticos biodegradables se definen como plásticos que pueden degradarse por acción de microorganismos como bacterias, hongos y algas, produciendo dióxido de carbono en condiciones aerobias y una mezcla de metano y dióxido de carbono en condiciones anaerobias [5].

Uno de los métodos utilizados para la evaluación de la biodegradación es a través de pruebas respirométricas. Éstas suelen ser costosas y emplean una gran cantidad de materiales. Por ello, es importante desarrollar métodos para la evaluación de degradación de plásticos en laboratorio a menor escala, de manera que se reduzcan la utilización de materiales, recursos y espacios, minimizando la generación de residuos químicos. En este trabajo se presenta una propuesta de un método respirométrico a pequeña escala.

2. Metodología

Las pruebas de biodegradación de plástico se desarrollaron en reactores de 100 ml. La experimentación se basó en una adaptación de la norma ASTM D5338-15 [6], que establece el método estándar para la determinación de biodegradación aerobia de los materiales plásticos en condiciones de composteo, en reactores de 2 L. El método consiste en la exposición de muestras plásticas y un control positivo (celulosa) en un inóculo (composta madura), contenido en reactores que se mantuvieron en condiciones constantes de aireación, humedad y temperatura durante un periodo de 48 días.

2.1. Muestras plásticas

Las muestras plásticas utilizadas en la prueba fueron polietileno de baja densidad (PEBD) y plástico composteable ECOVIO®. Para la experimentación fue necesario que la película plástica tuviera un tamaño no mayor a los 0.5 x 0.5 cm para los reactores. Para la caracterización de las muestras plásticas se determinó el contenido de nitrógeno total, carbono orgánico total y materia orgánica bajo la técnica de Sadzawka [7].

2.2. Inóculo

La composta empleada como inóculo para las pruebas de biodegradación se generó a partir de residuos de poda y jardinería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, con un periodo de maduración de cuatro meses. Se realizó la caracterización de la composta antes y después de las pruebas, determinando el pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, relación carbono nitrógeno y fitotoxicidad (Porcentaje de germinación relativa), con base en la norma ambiental del Distrito Federal para composta [8], así mismo se determinaron los macro nutrientes con un kit HANNA® (fósforo y potasio).

2.3 Reactores

Para realizar el diseño del sistema respirométrico a escala de 100 ml se utilizaron como reactores frascos de vidrio transparente con capacidad de 100 ml, en cada frasco se colocaron 15 g de composta con una humedad del 70%. Posteriormente se agregó 1 g de las muestras plásticas PEBD y ECOVIO® (las cuales fueron cortadas en cuadros de 0.5 x 0.5 cm). Se utilizó como control positivo una mezcla celulosa-composta y como blanco composta madura. Los frascos fueron cerrados con tapones de goma y anillos de aluminio, logrando condiciones herméticas. Con el fin de evaluar la factibilidad de construir un sistema a escala, se evaluaron dos sistemas:

- Sistema respirométrico con aireación continua
- Sistema respirométrico con aireación discontinua

Las dos pruebas se realizaron por triplicado y de forma simultánea.

2.3.1. Sistemas con aireación continua

Los reactores se colocaron dentro de una pecera, que contenía agua desionizada y se mantuvieron a 58°C. El sistema respirométrico incluyó el ingreso de aire proveniente de un compresor, que pasaba por una trampa de hidróxido de sodio contenida en un frasco ámbar para eliminar el CO₂ que pudiese estar presente en el aire. Después pasaba a los reactores, donde se generaban gases debido al proceso, mediante agujas con calibre 14G. Los gases generados en los reactores pasaban a las trampas de hidróxido de sodio a 0.25 N de 6 ml mediante agujas de menor calibre, para la captura de CO₂. La solución de las trampas fue titulada con ácido clorhídrico a 0.5 N (ver Figura 1), utilizando como indicador fenolftaleína (indicado un vire de color rosado a transparente).

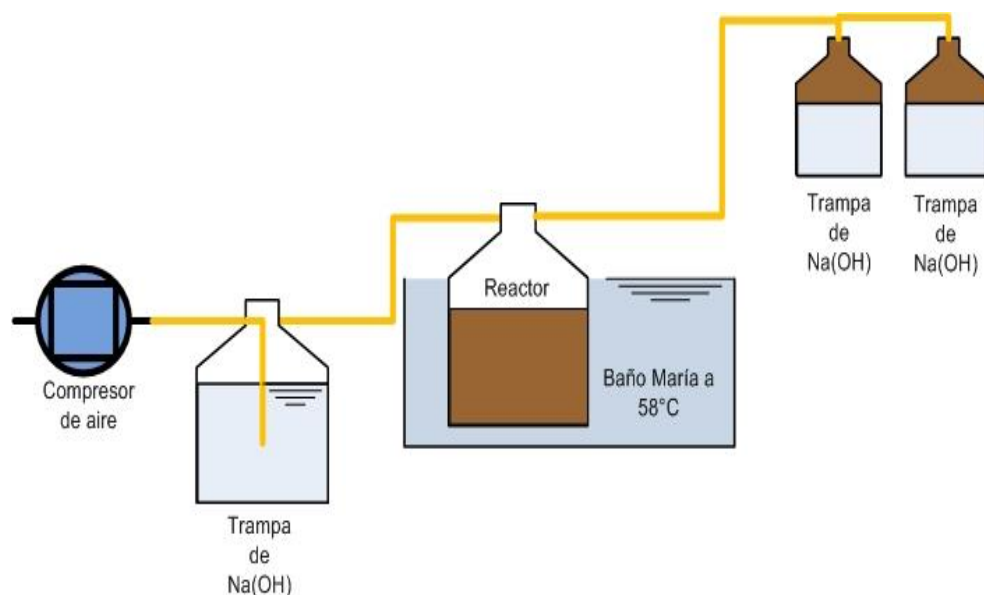


Figura 4. Sistema de aireación a escala de 100ml

Las trampas de hidróxido de sodio que se emplearon en el estudio fueron valoradas y cambiadas diariamente en los primeros 15 días de la prueba. Posteriormente, la valorización y el cambio de las trampas se realizaron cada tres días.

2.3.2 Sistemas con aireación discontinua

Los reactores fueron colocados en una pecera con agua desionizada a temperatura de 58°C. El aire de ingreso provenía de un compresor que se conectaba a los reactores durante 5 minutos al día. En el mismo periodo los gases generados en los reactores se enviaban a las trampas de hidróxido de sodio que contenían 6 ml de solución a 0.25 N a través de agujas de calibre 14G (ver Figura 2). La medición de CO₂ se realizó por titulación. Las valorizaciones de las trampas fueron realizadas diariamente en los primeros 15 días de la prueba, posteriormente se realizaron cada tres días.



Figura 5. Montaje del sistema con aireación discontinua

2.4 Porcentaje de biodegradación

Para determinar el porcentaje de biodegradación de las muestras, se cuantificó la generación CO_2 de los reactores, descontando el que se produjo por la actividad de la composta. El porcentaje de biodegradación se determinó según la siguiente formula:

$$\% \text{ de biodegradación} = \frac{(\text{CO}_2)_T - (\text{CO}_2)_B}{Th\text{CO}_2} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$(\text{CO}_2)_T$ = masa acumulada de CO_2 generado en cada reactor que contiene el material de ensayo (mg por recipiente)

$(\text{CO}_2)_B$ = masa acumulada de CO_2 generado en el control negativo (mg por recipiente)

$Th\text{CO}_2$ = masa teórica de CO_2 que puede producir el material de ensayo (mg por recipiente).

3. Resultados y discusión

A continuación, se muestra la caracterización fisicoquímica inicial y final de la composta empleada en la prueba, la caracterización de las muestras plásticas y el porcentaje de biodegradación de los diferentes sistemas respirométricos.

3.1. Caracterización del inóculo

3.1.1. Sistema respirométrico con aireación continua

En la caracterización inicial y final de la composta se determinó el incremento de algunas de las propiedades de la misma en las cuatro muestras (blanco, celulosa, ECOVIO® y PEBD) como se muestra en la Tabla 1. Esto se debió al sifoneo de las trampas de hidróxido de sodio, el cual se introdujo a los reactores modificando las propiedades de la composta. Tal es el caso de pH y la conductividad eléctrica, ya que aumentaron los iones OH^- y las sales que se encontraban en la composta, así mismo alteró los demás parámetros, exceptuando la materia orgánica y el carbono orgánico. Sin embargo, este fenómeno no afectó la capacidad de germinación de la composta, que tampoco se vio alterada por la presencia de los plásticos.

Tabla 5. Caracterización inicial y final del inóculo del sistema respirométrico a escala de 100 ml con aireación continua

Parámetros	Valores iniciales	Blanco final	Celulosa final	ECOVIO® final	PEBD final
pH (unidades)	7.08	10.30	10.58	10.50	10.21
Conductividad eléctrica (μS/cm)	1676.66	3334.33	3225.00	4131.33	3946.67
Materia orgánica (%)	50.30	49.55	54.72	52.69	52.38
Carbono orgánico (%)	27.94	27.53	30.40	29.27	29.10
Porcentaje de germinación relativa (%)	93.33	112.50	100.00	104.17	108.33
Fósforo	Alto	N/D	N/D	N/D	N/D
Potasio	Alto	Medio	Trazas	Bajo	Bajo

*N/D – No Detectado

3.1.2. Sistema respirométrico con aireación discontinua

Los resultados de la caracterización inicial y final del sistema respirométrico con aireación discontinua se observan en la Tabla 2, donde se muestra una mayor madurez de la composta. Esto se observa en el aumento pH por la reducción de hidrógenos al transformar los nitrógenos a amoníaco, mientras que la conductividad eléctrica bajó por la reducción de sales solubles en el proceso termófilo de la composta.

El aumento del porcentaje de germinación en la composta se debe a varios factores, entre ellos la presencia de lignina, hemicelulosa y otros compuestos al inicio de la prueba, los cuales, al someterse en condiciones controladas, se transformaron a sustancias húmicas y fúlvicas, permitiendo el incremento de la germinación.

Tabla 6. Caracterización del inóculo empleado en el sistema respirométrico a escala da 100 ml con aireación discontinua

Parámetros	Valores iniciales	Blanco final	Celulosa final	ECOVIO® final	PEBD final
pH(unidades)	7.08	9.31	8.26	8.57	8.88
Conductividad eléctrica (μS/cm)	1676.66	935.67	1204	1267.67	1229
Materia orgánica (%)	50.30	56.51	53.76	56.96	53.67
Carbono orgánico (%)	27.94	31.40	29.86	31.65	29.82
Porcentaje de germinación relativa (%)	93.33	116.67	120.83	120.83	116.66
Fósforo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Potasio	Alto	Alto	Medio	Trazas	Bajo

3.2. Porcentaje de biodegradación

3.2.1. Sistema respirométrico con aireación continua

El porcentaje de biodegradación que se obtuvo durante la prueba a escala de 100 ml con aireación continua fue del 15.31% en celulosa, 6.40% en ECOVIO® y 3.94% en PEBD, como se puede observar en la Figura 3. Las muestras plásticas empleadas no presentaron algún cambio físico aparente al término de la prueba.

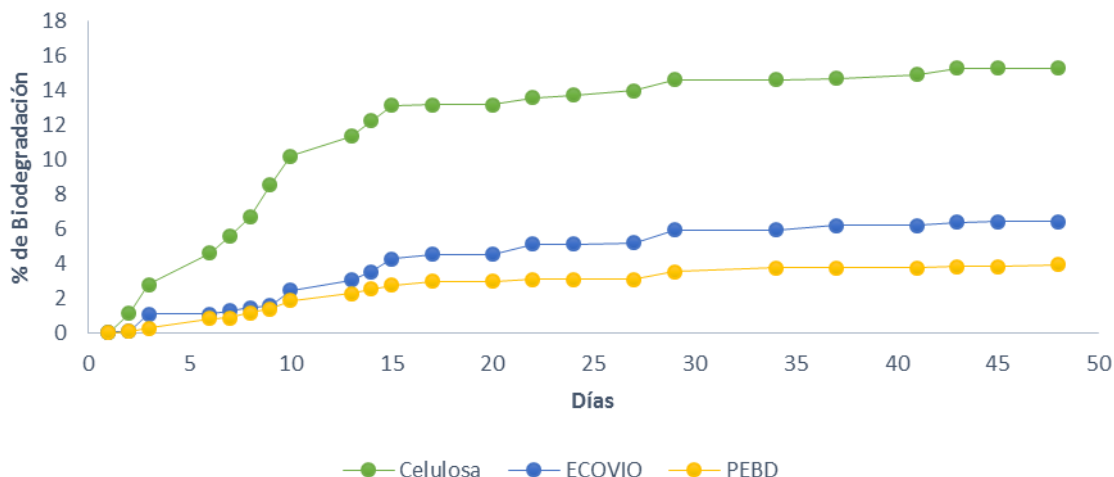


Figura 6. Porcentaje de biodegradación del sistema respirométrico ml con aireación continua

3.2.2. Sistema respirométrico con aireación discontinua

El porcentaje de biodegradación en la prueba con aireación discontinua muestra que nuevamente el material que más se degradó fue la celulosa obteniendo 5.35%, mientras que las muestras plásticas se degradaron en 3.95% (ECOVIO®) y 1.61% (PEBD) como se muestra en la Figura 4. Al igual que en la prueba anterior, se observa que las muestras plásticas no mostraban algún cambio físico al finalizar la prueba.

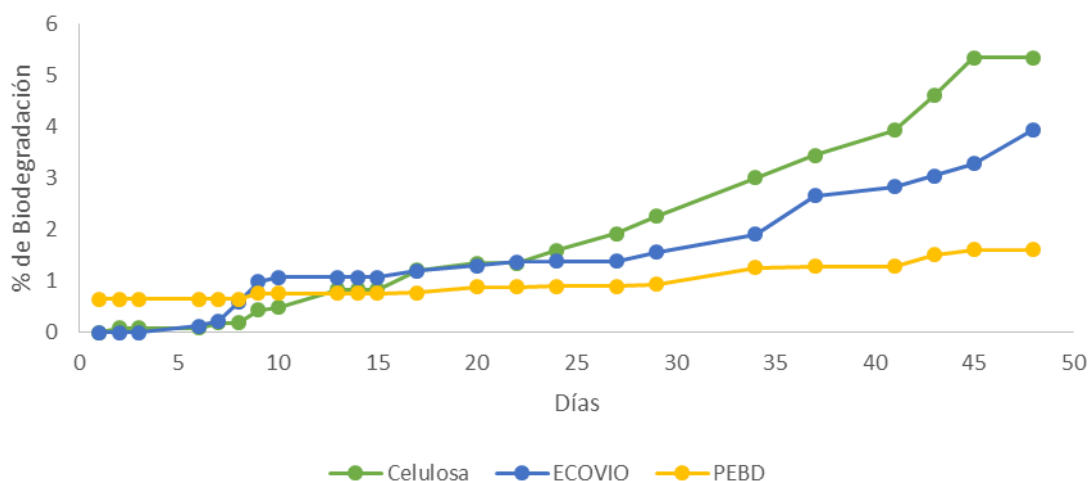


Figura 7. Porcentaje de biodegradación del sistema respirométrico con aireación discontinua

Durante la prueba se observaron los cambios de las propiedades mecánicas del polímero, indicando la biodegradación aerobia mediante el consumo de oxígeno y la evaluación del dióxido de carbono. Esto indica que los microorganismos emplearon el polietileno como fuente de carbono para su crecimiento y su metabolismo para la producción de CO₂. La cantidad de CO₂ que se generó durante el metabolismo dependió del tipo de polímero y las concentraciones en las que se encontraba[9].

En la Tabla 3 se realizó una comparación de sistemas respirometricos a diferentes escalas y periodos de tiempo, manteniendo constantes las condiciones de humedad, aireación y temperatura de los sistemas. Los

valores obtenidos en el sistema respirométrico con aireación continua a escala de 100 ml fueron los más cercanos a los sistemas de escala de 1000 ml y 1500 ml, por lo que resulta una opción viable para la evaluación de la biodegradabilidad de los materiales.

Tabla 7 Cuadro comparativo de sistemas respirométricos

Muestras	Sistema respirométrico de 100 ml		Sistema respirométrico de 1000 ml	Sistema respirométrico de 1.0 L	Sistema respirométrico de 1.5 L
	Aireación continua	Aireación discontinua	Aireación continua	Aireación continua	Aireación continua
Material 1	PEBD	PEBD	PEBD	N/P	PEBD Oxidado
% de biodegradación	3.94	1.61%	6.13%	N/P	13.48%
Material 2	ECOVIO®	ECOVIO®	ECOVIO®	Botella de PLA	Acido Poli láctico
% de biodegradación	6.40%	3.95%	9.75%	84%	41.5%
Material 3	Celulosa	Celulosa	Celulosa	Celulosa	Celulosa
% de biodegradación	15.31%	5.355	28.85%	86%	58.45%
Periodo	48 días	48 días	45 días	58 días	180 días
Referencia			[10]	[11]	[12]

*N/P – No Presentó

Aunque el sistema de 100 ml con aireación continua presentó valores de degradación más cercanos a los de los estudios de referencia, se observa que la biodegradación de la celulosa (control positivo) fue menor. Esto se debe, en primer lugar, a la menor duración de la prueba y, en segundo lugar, al ingreso de la solución de titulación a los reactores. El sistema, por tanto, parece una opción viable, pero requiere de la adición de alguna válvula que evite el flujo de la solución de NaOH a los reactores.

4. Conclusiones

Los plásticos biodegradables se han presentado como una de las opciones para la mitigación de los efectos adversos de los residuos plásticos. Sin embargo, sus posibles beneficios ambientales se ven limitados por múltiples factores, que incluyen la carencia de mecanismos de gestión que permitan su acopio y su biodegradación en sistemas de composteo. Uno de los retos relevantes es la certificación de estos materiales; las pruebas de biodegradabilidad son costosas, tienen larga duración, y requieren instalaciones especializadas. Esto vuelve inviable que los productores de estos materiales, que tienen un bajo valor agregado, puedan costearlas.

Bajo este escenario cobra relevancia la generación de procedimientos alternativos de evaluación. Los métodos propuestos en esta investigación se basan en los mismos principios de los métodos estandarizados, pero en una escala que reduce considerablemente la complejidad de la prueba. La implementación de un sistema respirométrico a menor escala permitiría la reducción de costos, materiales, reactivos, servicios y espacio en la prueba.

En el sistema respirométrico a escala de 100 ml con aireación continua se obtuvieron porcentajes de biodegradación del 15.3% en celulosa, 6.4% en ECOVIO® y del 3.94% en PEBD, a pesar de que el sistema presentó fallas, como el vertimiento de la trampa de hidróxido de sodio en los reactores, alterando las

propiedades de la composta. Aunque no generó resultados óptimos, puede mejorarse y constituir una opción viable para la evaluación de los plásticos biodegradables.

Referencias bibliográficas

- [1] Instituto Mexicano del Plástico, (1997), *Enciclopedia del plástico*. México, D.F.
- [2] Méndez J, (1997). *Introducción a la ciencia y tecnologías de los plasticos X*. Mexico: Trillas.
- [3] Askeland D. R. and Phule P. P. (2011). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México.
- [4] Baker A.-M. M. and Mead J., (2004). “Termoplásticos,” in *Manual de plásticos volumen1*. Primera., McGraw-Hill Interamericana, Ed. Mexico.
- [5] NMX-E-260-CNCP-2014, (2014). “INDUSTRIA DEL PLÁSTICO-MATERIALES BIOPLÁSTICOS-TERMINOLOGÍA.,” *D. Of*.
- [6] ASTM D5338-15, (2015). “Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions, Incorporating Thermophilic Temperatures,” *ASTM Int. West Conshohocken, PA*.
- [7] Sadzawka R. Angélica, Carrasco R. María Adriana, Grez Z. Renato, and Mora G. María de la Luz. (2005), “MÉTODOS DE ANÁLISIS DE COMPOST,” p. 152, 2005.
- [8] NADF-020-AMBT-2011, (2012), “NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta,” *Secretaría del medio Ambiente del Distrito Federal*, Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal del 30 de noviembre de 2012.
- [9] Castro Aguirre E., Auras R., Selk S., Rubino M., and Marsh T. (2017), “Polymer Degradation and Stability,” *ScienceDirect*, vol. 137, pp. 251–271.
- [10] Jimenez Escamilla I. R., Vazquez Morillas A., and Alvarez Zeferino J. C. (2016), “Evaluación de la mineralización de dos plásticos mediante la norma internacional ASTM D5338,” *Los residuos solidos como fuentes Mater. y energía*, vol. 9.
- [11] Kale G., Auras R., Singh S. P., and Narayan R. (2007), “Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions,” *Polym. Test.*, vol. 26, no. 8, pp. 1049–1061.
- [12] Vázquez-Morillas A., Beltrán-Villavicencio M., Alvarez-Zeferino J. C., Osada-Velázquez M. H., Moreno A., Martínez L., and Yañez J. M. (Apr, 2016), “Biodegradation and Ecotoxicity of Polyethylene Films Containing Pro-Oxidant Additive,” *J. Polym. Environ.*,

Aprovechamiento de los residuos de cáscara de naranja como coagulante en el tratamiento de aguas residuales

¹Salvador González Ramírez, Israel Labastida Núñez², Maribel Velasco Pérez^{3*}, Margarita Beltrán Villavicencio⁴

¹⁻⁴ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av San Pablo Xalpa 180, Reynosa Tamaulipas, 02200 Ciudad de México, México. Tel: 5318 9057 correo electrónico*: mvp@azc.uam.mx

Resumen

Se propone la valorización de residuos de cáscaras de naranja mediante la preparación de coagulantes para su implementación en el tratamiento de aguas de residuales. Se comparó el desempeño del coagulante de naranja (NA) contra un coagulante de nopal (NO) y sulfato de aluminio (SA). Se requirieron 563.63 g de nopal y 19.78 g de cáscaras de naranja para preparar 1 g de coagulante de NO y NA, respectivamente. La mayor remoción de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y color del agua residual se obtuvo a un pH de 10 unidades para el NO y NA. La dosis de coagulante que presentó mayor remoción de turbidez, SST y color al pH natural del agua residual tratada (8 ± 0.5 unidades) fue de 40 mg/L para el NO y de 150 mg/L para NA. Se encontró que al utilizar dosis en intervalos de 10 mg/L-40 mg/L para el NO y 67.5 mg/L-270 mg/L de SA; y entre 37.5 mg/L-150 mg/L de NA y 67.5 mg/L-270 mg/L de SA (8 ± 0.5 unidades), la remoción de turbidez, SST y color aumenta con la concentración de SA, con una contribución marginal del NO y NA. El costo en pesos mexicanos de producir 1 g de NO se estimó en \$5.90 y de NA en \$7.51. Se recomienda estudiar los mecanismos de remoción de NO y NA, para identificar estrategias para su implementación y reducción de costos en la preparación.

Palabras Clave: *coagulantes naturales, mucílago, pectina, sólidos suspendidos totales, turbidez.*

1. Introducción

La producción de naranja a nivel mundial en el año 2016 fue de 67 millones de toneladas, de la que el 5.28% fue de México [1]. En ese mismo año, en el país, la naranja fue el cultivo perenne con mayor extensión sembrada, con 335 336 ha [2].

En México, los cítricos son una fruta de alto consumo y uno de los productos principales de exportación. La naranja se consume fresca o en jugo, forma parte de postres y ensaladas, en la agroindustria también se utiliza para la producción de jugos envasados, y además se extraen aceites esenciales de ésta [2].

La cáscara corresponde a aproximadamente el 25% en masa de la naranja [3], por lo que los residuos que se generan una vez que se ha consumido la fruta o extraído el jugo son considerables. Actualmente se están estudiando la valorización de este residuo como fuente de biomasa para procesos de digestión anaerobia, como adsorbente de colorantes y metales pesados entre otros procesos [4]–[7].

En este estudio se investiga la aplicación de un coagulante preparado a partir de cáscaras de naranja para el tratamiento de aguas residuales. En el 2015, en México se generaron 14 000 millones de m³ de aguas residuales, de las cuales se descargó el 57% en cuerpos de agua sin recibir ningún tratamiento [8].

La clarificación del agua residual se puede llevar a cabo por medio de coagulación-floculación, etapa en la que se adiciona un coagulante para que los sólidos suspendidos se aglomeren y sedimenten. La mayor parte de los coagulantes que se utilizan actualmente son sales inorgánicas como el sulfato de aluminio, cloruro férrico o sulfato férrico. Sin embargo, durante el tratamiento se generan como subproductos lodos que contienen metales, dificultando su tratamiento, el aprovechamiento de la materia orgánica contenida en éstos y haciendo costosa su disposición final. En este contexto se ha investigado el desarrollo de coagulantes a partir de recursos renovables para su aplicación en el tratamiento de aguas o aguas residuales [9]–[12].

La Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales (PPTAR) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A) trata entre el 5% y 10% en volumen del agua residual que se genera en la Unidad. La PPTAR cuenta con un tren de tratamiento fisicoquímico avanzado, que en la etapa de clarificación utiliza sulfato de aluminio como coagulante. La sustitución de este coagulante por uno de origen renovable tiene como ventajas el aprovechamiento de un residuo (en este caso las cáscaras de naranja), la disminución del uso de coagulantes con sales metálicas y facilita el aprovechamiento de los lodos que se generan en la PPTAR.

2. Metodología

El desarrollo experimental se divide en tres etapas generales, la preparación de los coagulantes, la determinación de la dosis de coagulantes para el tratamiento del agua residual y las pruebas para comparar el desempeño del coagulante de cáscaras de naranja con otros. Para esta última etapa se utilizó un coagulante de nopal (por ser ampliamente estudiado como coagulante natural) y sulfato de aluminio (por su uso extendido en el tratamiento de aguas residuales).

2.1 Preparación de coagulantes naturales

2.1.1 Coagulante de nopal

Este coagulante se preparó con el método que se describe brevemente a continuación [13]. Con un cuchillo se removieron las espinas de las pencas de nopal y éstas se cortaron en trozos. El nopal se molió en una licuadora con agua desionizada, en proporción masa 1:1. Después se pasó esta mezcla por un tamiz No 30 (590 μm), el filtrado se hirvió durante 15 min en una parrilla de calentamiento. Se dejó sedimentar esta mezcla en un refrigerador a 4 °C y después se decantó el sobrenadante. Para remover el color del material sedimentado, éste se mezcló con acetona en una proporción volumétrica 3:2. El precipitado obtenido del paso anterior se separó por filtración al vacío y se secó en una estufa por 6 h a 37 °C. El precipitado seco se molió con un mortero, se pasó por un tamiz No 30 (590 μm) y se almacenó en un frasco limpio hasta su uso.

2.1.2 Coagulante de cáscara de naranja

La preparación de este coagulante se llevó a cabo en dos etapas: la desmetoxilación y la reticulación [14]. Desmetoxilación: se cortaron las cáscaras de naranja en trozos pequeños. Después se lavaron tres veces con agua potable a 60°C, tres veces más con agua desionizada a temperatura ambiente y se secaron a 50 °C en una estufa. La cáscara seca se molió en un mortero, se pasó por un tamiz No 30 (590 μm) y se secó a 37°C por 6 h en una estufa. Después se lavó con agua desionizada, se decantó el agua y se lavó en veces sucesivas con soluciones de etanol al 50%, 70% y 96% (en volumen). Posteriormente se separó la cáscara de naranja del etanol por filtración al vacío y se secó a 37°C por 6 h. Se mezcló con una solución 0.2 M de hidróxido de sodio (NaOH) a un pH entre 10 y 11 unidades, la mezcla se mantuvo en agitación lenta por 2 h y después se filtró y se secó a 50 °C por 4 h.

Reticulación: a 500 mL de una solución 0.2 M de cloruro de calcio (CaCl_2) se agregaron 4 g de cáscara de naranja desmetoxilada y se ajustó el pH a 5 unidades con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 M. Esta mezcla se mantuvo en agitación a 200 r/min durante 24 h. Después se lavó el producto con agua desionizada, se filtró al vacío, se secó a 40°C por 6 h y se pasó por un tamiz No 30 (590 μm). Finalmente, el coagulante se almacenó en un frasco limpio hasta su uso.

2.2 Caracterización fisicoquímica del agua residual

El agua residual se caracterizó antes y después de cada prueba de coagulación con los siguientes parámetros: pH [15]; sólidos suspendidos totales, SST [16], turbidez [16]; color [16] y demanda química de oxígeno, DQO [17].

2.3 Determinación de la dosis cuantitativa de los coagulantes

Esta prueba se llevó a cabo con agua residual cruda de la PPTAR de la UAM-A para los coagulantes naturales (nopal y cáscara de naranja) y sulfato de aluminio. Primero se determinó la dosis cualitativa (DCL), después el pH óptimo y finalmente la dosis cuantitativa de los coagulantes. Las dos últimas se realizaron en un equipo de prueba de jarras, con seis jarras con velocidad variable controlada y con capacidad máxima de 2 L cada una.

2.3.1 Dosis cualitativa

Se prepararon soluciones stock del coagulante de nopal (55 000 mg/L), del coagulante de cáscara de naranja (50 000 mg/L) y del sulfato de aluminio (90 000 mg/L). En un vaso de precipitados se colocaron 200 mL de agua residual cruda y se agregaron dosis de 0.1 mL de solución stock de coagulante hasta observar la formación de flóculos, ésta se seleccionó como la DCL.

2.3.2 pH óptimo

En cada una de las jarras se colocó 1 L de agua residual cruda y se ajustó el pH en cada una a diferentes valores entre 5 y 10 unidades. El ajuste se realizó con soluciones 1M de ácido sulfúrico (H_2SO_4) o 1M de hidróxido de sodio (NaOH). A cada jarra se añadió la DCL del coagulante, se agitó a 70 r/min durante 15 min, después a 28 r/min por 15 min y finalmente se permitió la sedimentación de los flóculos por 20 min. El pH al que se observó la mayor remoción de SST se seleccionó como el pH óptimo.

2.3.3 Dosis cuantitativa

En cada una de las jarras del equipo de prueba de jarras se agregó 1 L de agua residual cruda y una dosis de coagulante entre el 25% y el 200% de la DCL, se agitó a 70 r/min durante 15 min, después a 28 r/min por 15 min y finalmente se permitió la sedimentación de los flóculos por 20 min. Se seleccionó como dosis cuantitativa (DCT) aquella con la mayor remoción de SST.

2.4 Pruebas de coagulación

Para los coagulantes naturales de nopal y de cáscara de naranja se estudió la remoción de SST utilizando diferentes proporciones del coagulante natural y del sulfato de aluminio (Tabla 1). La prueba se realizó al pH del agua residual de la PPTAR y por duplicado. Las dosis de los coagulantes se seleccionaron con respecto a la DCT. Las pruebas de coagulación se llevaron a cabo en el equipo de prueba de jarras con 1 L de agua residual cruda, con agitación rápida de 70 r/min por 15 min, agitación lenta de 28 r/min durante 15 min y 20 min de sedimentación.

Tabla 1. Combinaciones de coagulante natural y sulfato de aluminio estudiadas p-ara el tratamiento del agua residual de la PPTAR de la UAM-A

Tratamiento	% de dosis cuantitativa de coagulante natural	% de dosis cuantitativa de sulfato de aluminio
1	100	---
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	---	100

2.5 Análisis de costos

Se llevó un registro cuidadoso de los materiales y sus cantidades utilizadas para la preparación de los coagulantes naturales. A partir de éste se calculó el costo para producir suficiente coagulante para tratar el agua residual de la PPTAR por una semana. Se consideraron los siguientes escenarios: tratamiento con 100% DCT de sulfato de aluminio, 100% DCT de coagulante de nopal y 100% de la DCT de cáscaras de naranja ajustando al pH al óptimo; y las combinaciones nopal-sulfato de aluminio y cáscaras de naranja-sulfato de aluminio al pH del agua residual de la PPTAR.

3. Resultados

3.1 Preparación de coagulantes naturales

Para obtener 1 g de coagulante de nopal y de cáscara de naranja se requirieron 563.63 g de pencas de nopal y 19.78 g de cáscaras de naranja, respectivamente (Figura 1).

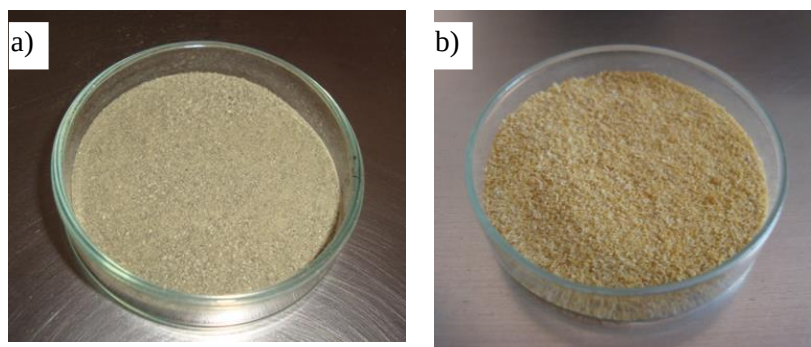


Figura 1. Coagulantes preparados a partir de a) nopal y b) cáscara de naranja

3.2 Dosis cuantitativa

Las DCL para los coagulantes de nopal, de cáscara de naranja y sulfato de aluminio fueron de 220 mg/L, 100 mg/L y 180 mg/L, respectivamente. El pH óptimo para el coagulante de nopal y de cáscaras de naranja se encontró en 10 unidades, alcanzando porcentajes de remoción de SST de 57% para el coagulante de nopal y de 72% para el de cáscaras de naranja (Figuras 2 y 3).

Para los dos coagulantes naturales la remoción de turbidez, SST y color depende del pH del agua a tratar, pero la dependencia es más notoria para el coagulante de cáscaras de naranja, para éste la remoción de turbidez varía entre 14% y 20% para valores de pH entre 5 y 9 unidades, mientras que a un pH de 10 unidades es 70% (Figura 3). El pH óptimo para el sulfato de aluminio se determinó en estudios anteriores en 5 unidades [18], [19].

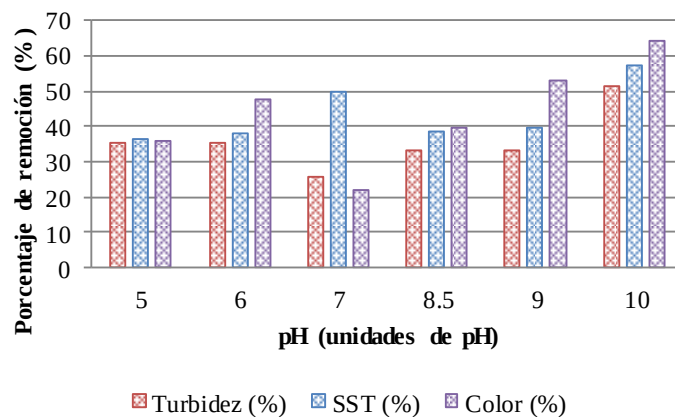


Figura 2. pH óptimo del coagulante de nopal

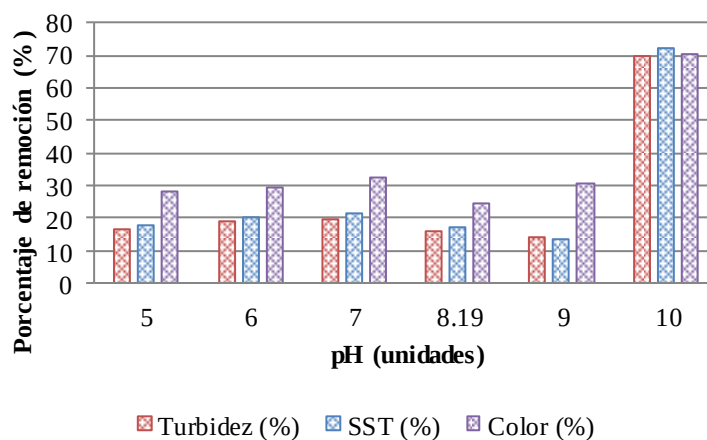


Figura 3. pH óptimo del coagulante de cáscaras de naranja

La DCT se determinó al pH del agua residual cruda de la PPTAR (8 ± 0.5 unidades), esto con el propósito de simplificar la administración de coagulantes en el tratamiento de aguas residuales y disminuir costos y corrosión de los equipos al tener valores de pH de trabajo básicos o ácidos (10 unidades para los coagulantes naturales y 5 unidades para el sulfato de aluminio).

Para el coagulante de nopal los porcentajes de remoción de turbidez, SST y color oscilaron entre 23% y 36% para dosis entre 10 mg/L y 100 mg/L (Figura 4). Se seleccionó 40 mg/L como la DCT de este coagulante, con 24.65% de remoción de turbidez, 26.48% de SST y 29.56% de color.

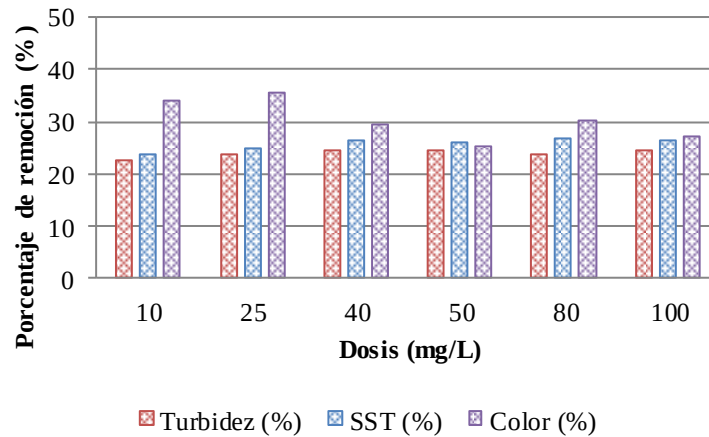


Figura 4. Dosis cuantitativa del coagulante de nopal al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

Para el coagulante de cáscaras de naranja se obtuvieron remociones de turbidez y SST de alrededor de 35% para dosis entre 25 mg/L y 200 mg/L, aunque la remoción de color a una dosis de 150 mg/L fue ligeramente mayor (31%), por lo que esta última se seleccionó como la DCT (Figura 5).

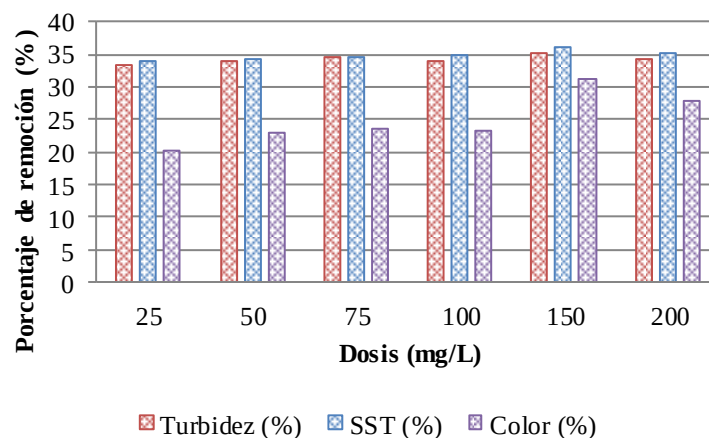


Figura 5. Dosis cuantitativa del coagulante de cáscaras de naranja al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

Para el sulfato de aluminio se obtuvieron remociones de turbidez, SST y color superiores al 90% para dosis entre 270 mg/L y 360 mg/L (Figura 6); se seleccionó como DCT 270 mg/L.

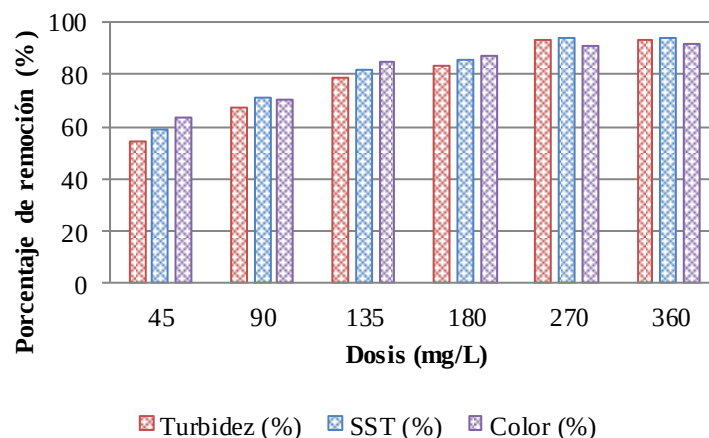
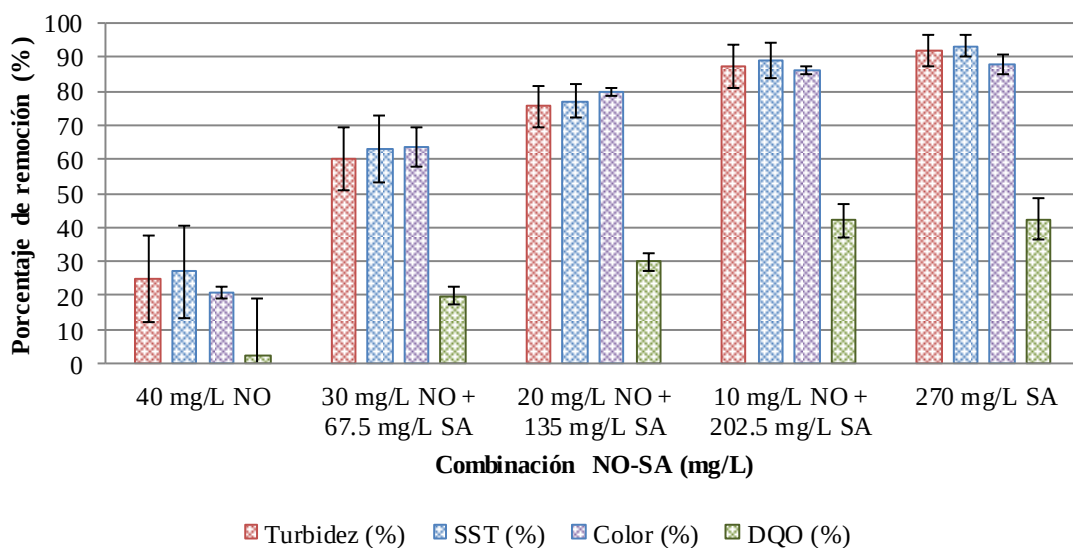


Figura 6. Dosis cuantitativa del sulfato de aluminio al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

3.3 Pruebas de coagulación

La figura 7 presenta la remoción de turbidez, SST, color y DQO para las pruebas de coagulación con nopal y sulfato de aluminio al pH del agua residual de la PPTAR. El sulfato de aluminio usado de forma individual alcanzó remociones superiores al 88% para turbidez, SST y color y al 40% para DQO, mientras que para el nopal la remoción osciló entre 2% y 25%.



Figura

7. Pruebas con el coagulante de nopal y sulfato de aluminio al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

La remoción de turbidez, SST, color y DQO con el coagulante de cáscaras de naranja presentó una tendencia similar a la observada para el de nopal (Figura 8). Los porcentajes de remoción con el coagulante de cáscaras de naranja (33% turbidez, 37% SST, 32% color, 8% DQO) fueron ligeramente superiores a los obtenidos con nopal (25% turbidez, 26% SST, 20% color, 2% DQO), cuando éstos son usados de forma individual.

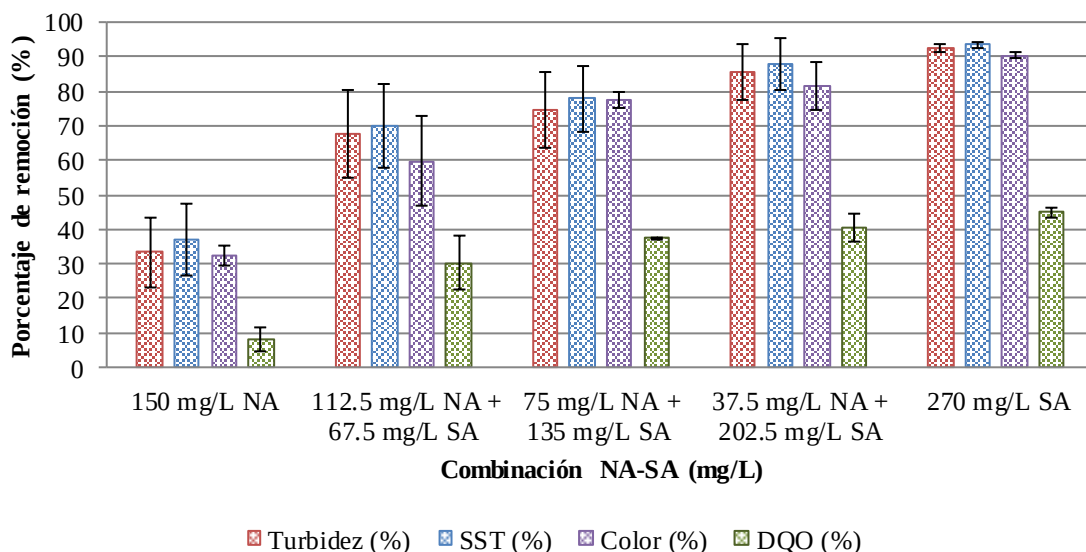


Figura 8. Pruebas con el coagulante de cáscaras de naranja y sulfato de aluminio al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

En las pruebas de coagulación se observa claramente como la eficiencia de remoción de turbidez, SST, color y DQO aumenta conforme se utiliza una mayor dosis del sulfato de aluminio. Este comportamiento se puede explicar pues la remoción de estos parámetros depende en gran medida del pH del agua a tratar, para los coagulantes de nopal y de cáscaras de naranja el pH óptimo es a 10 unidades.

La capacidad coagulante del nopal se atribuye en la literatura al mucílago, que es un carbohidrato complejo y viscoso, que le permite a la planta retener grandes cantidades de agua [20]. Recientemente se identificó al ácido galacturónico como uno de los ingredientes activos en el proceso de coagulación, éste existe en la naturaleza predominantemente en su forma polimérica como ácido poligalacturónico. Cuando este ácido entra en contacto con el agua el grupo carboxilo (COOH) se deprotoniza, confiriéndole una naturaleza aniónica (COO^-) [20]. Por otro lado, uno de los componentes principales de la cáscara de naranja es la pectina, que a su vez está compuesta por ácido poligalacturónico [14], el tratamiento para la cáscara de naranja utilizado en este trabajo se utiliza para extraer la pectina de ésta. Lo anterior podría explicar el comportamiento similar de los coagulantes naturales obtenidos.

3.4 Análisis de costos

El costo para producir 1 g de coagulante de nopal y de cáscara de naranja se calculó en \$5.90 y \$7.51 pesos mexicanos, respectivamente. Éste se calculó considerando que se tuviera que preparar suficiente coagulante para tratar el agua residual de la PPTAR por una semana (un caudal aproximado de $72 \text{ m}^3/\text{semana}$), si el coagulante se produjera a una mayor escala probablemente su costo disminuiría, haciéndolo más competitivo con el sulfato de aluminio.

La figura 9 presenta el costo de tratar 1 L de agua residual y de remover 1 g de SST en pesos mexicanos ajustando al pH óptimo para los coagulantes de nopal ($\text{pH} = 10$ unidades), de cáscara de naranja ($\text{pH} = 10$ unidades) y sulfato de aluminio ($\text{pH} = 5$ unidades).

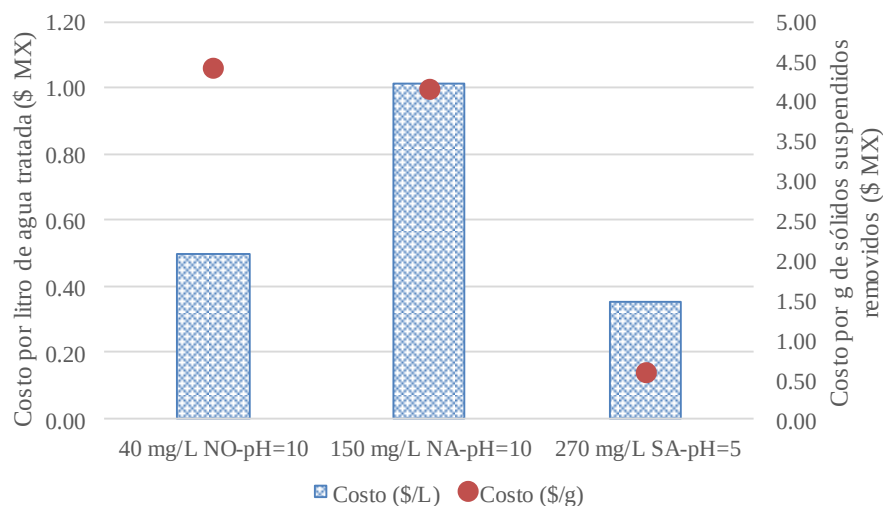


Figura 9. Costo, en pesos mexicanos, por tratar 1 L de agua residual (barras) y por remover 1 g de SST del agua residual (marcadores circulares). Notación: SA-sulfato de aluminio, NO-coagulante de nopal y NA-coagulante de cáscaras de naranja

En las figuras 10 y 11 se pueden observar los costos para tratar 1 L de agua residual o remover 1 g de SST en pesos mexicanos para las combinaciones coagulante de nopal-sulfato de aluminio y cáscara de naranja-sulfato de aluminio al pH del agua de la PPTAR. Considerando los resultados presentados en las secciones 3.2, 3.3 y el análisis de costos, la implementación del coagulante de cáscaras de naranja podría ser viable si se ajustara el pH del agua a tratar a 10 unidades, pero habría que considerar los problemas de corrosión que se deriven de trabajar a un pH básico.

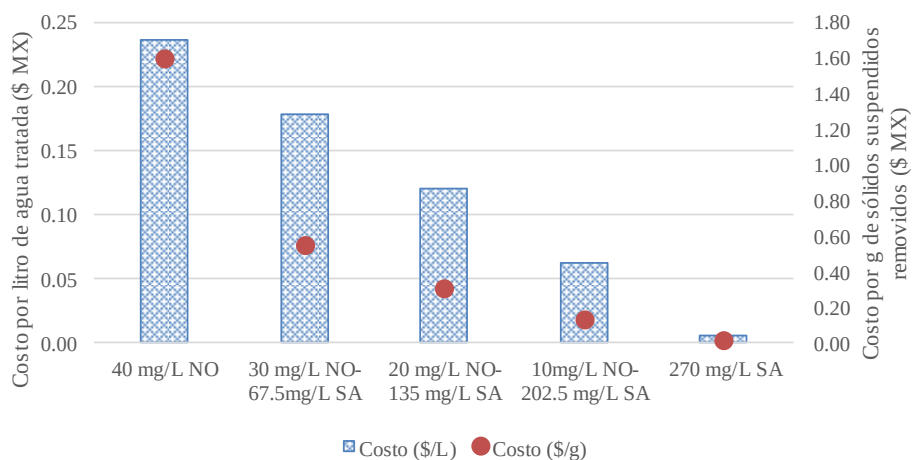


Figura 10. Costo, en pesos mexicanos, por tratar 1 L de agua residual (barras) y por remover 1 g de SST del agua residual (marcadores circulares) con diferentes combinaciones de la dosis cualitativa de coagulante de nopal (NO) y sulfato de aluminio (SA)

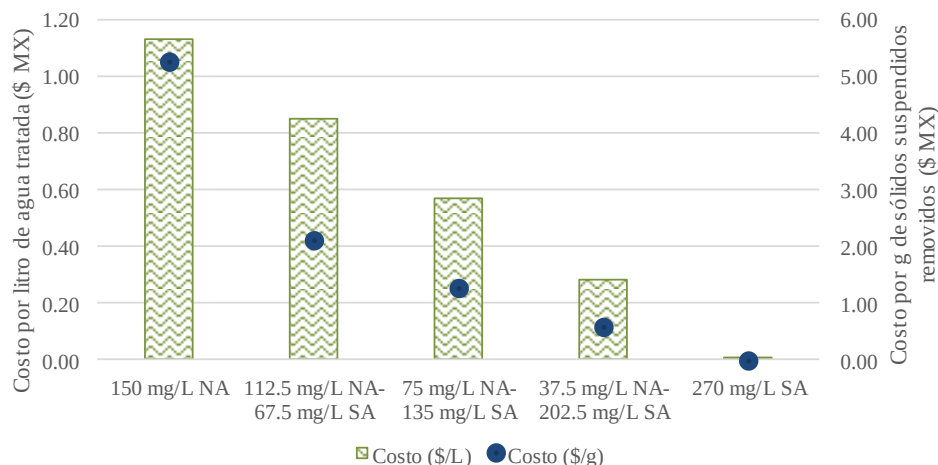


Figura 11. Costo, en pesos mexicanos, por tratar 1 L de agua residual (barras) y por remover 1 g de SST del agua residual (marcadores circulares) con diferentes combinaciones de la dosis cualitativa de coagulante de cáscaras de naranjal (NA) y sulfato de aluminio (SA)

4. Conclusiones

En este trabajo se estudió la valorización de la cáscara de naranja como coagulante en el tratamiento de aguas residuales. Se encontró que la remoción de turbidez, SST y color con el coagulante preparado a partir de las cáscaras de naranja depende en gran medida del pH del agua a tratar, con porcentajes de remoción cercanos al 70% para un pH de 10 unidades. Cuando el coagulante de cáscaras de naranja se utilizó en combinación con el sulfato de aluminio al pH del agua residual de la PPTAR (8 ± 0.5 unidades), la contribución del coagulante de naranja a la remoción de turbidez, SST o DQO es marginal. Por lo que para que fuese viable su implementación tendría que ajustarse el pH del agua a tratar a 10 unidades, lo que podría causar problemas de corrosión en el tren de tratamiento.

Se recomienda estudiar los mecanismos de remoción de los coagulantes naturales preparados a partir del nopal y de la cáscara de naranja, para identificar estrategias para su implementación y reducción de costos en la preparación.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, especialmente al responsable técnico Adán Pérez Alva.

Referencias Bibliográficas

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Citrus fruit fresh and processed. Statistical Bulletin 2016," *Mark. policy Anal. raw Mater. Hortic. Trop. Prod. team*, p. 77, 2017.
- [2] SAGARPA, "Cítricos: limón, naranja y toronja mexicanos," *Planeación agrícola Nac. 2016-2030*, 2016.
- [3] Centro de investigación en alimentación y desarrollo A. C., "Determinación de la calidad de compuestos orgánicos en residuos de la naranja," *Fund. Prod. Sinaloa A. C.*

- [4] Becerra J.A., González L.M., y Villa A.L. (2018). "A bio-inspired heterogeneous catalyst for the transformation of limonene from orange peel waste biomass into value-added products," *Catal. Today*, vol. 302, pp. 250–260.
- [5] Munagapati V. S. y Kim D.-S. (2016) "Adsorption of anionic azo dye Congo Red from aqueous solution by Cationic Modified Orange Peel Powder," *J. Mol. Liq.*, vol. 220, pp. 540–548.
- [6] Wikandari R., Nguyen H., Millati R., Niklasson C. y Taherzadeh M. J. (2015). "Improvement of Biogas Production from Orange Peel Waste by Leaching of Limonene," *Biomed Res. Int.*, vol. 2015, pp. 1–6.
- [7] Shehzad K., Xie C., He J., Cai X., Xu W. y Liu J. (2018). "Facile synthesis of novel calcined magnetic orange peel composites for efficient removal of arsenite through simultaneous oxidation and adsorption," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 511, pp. 155–164.
- [8] CONAGUA. (2016), "Estadísticas del agua en México, Edición 2016," Ciudad de México.
- [9] Miller S. M., Fugate E. J., Craver V. O., Smith J. A. y Zimmerman J. B. (2008). "Toward understanding the efficacy and mechanism of opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment.," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42, no. 12, pp. 4274–4279.
- [10] Velasco Pérez M., Labastida Núñez I., Beltrán Villavicencio M., Ochoa Aarón E. A., González Aragón A. (2017) "Coagulantes naturales en el tratamiento de agua residual municipal," en *Memorias del 3er Congreso Nacional AMICA*, pp. 1–5.
- [11] Kakoi B., Kaluli J. W., Ndiba P. y Thiong'o G. (2016). "Banana pith as a natural coagulant for polluted river water," *Ecol. Eng.*, vol. 95, pp. 699–705.
- [12] Velasco Pérez M., Beltrán Villavicencio M., Gutiérrez Alcaraz K. P. y González Aragón A. (2017) "Coagulantes Naturales como coadyuvantes en la clarificación de agua residual," en *Memorias del 3er Congreso Nacional AMICA*, 2017, p. 5.
- [13] Vazquez Gonzalez O. "Extracción de coagulantes del nopal y aplicación en la clarificación de aguas residuales," Universidad Autónoma de Nuevo León, 1994.
- [14] Muñoz Carpio J. C. "Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja 'citrus cinensis' pretratada," Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2007.
- [15] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, "NMX-AA-008-SCFI-2000, Análisis de agua, Determinación del pH, método de prueba." México, p. 38, 2000.
- [16] HATCH company, "Procedures manual colorimeter, suspended solids photometric method manual."
- [17] HATCH company, "Método 8000 Hatch, Demanda química de oxígeno," in *Manual de análisis de agua*, 3a ed., Loveland, Colorado, 2000, pp. 182–189.
- [18] Gutiérrez Alcaraz K. P. "Tratamiento de aguas residuales con coagulantes naturales," Proyecto de integración. Licenciatura en ingeniería química. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2016.
- [19] Abogado Ochoa E. A. "Coagulantes de origen natural para el tratamiento de aguas residuales,"

Proyecto de integración. Licenciatura en ingeniería ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2017.

[20] Yin C.-Y. (2010). “Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment,” *Process Biochem.*, vol. 45, no. 9, pp. 1437–1444.

Aislamiento de nanofibrillas de celulosa a partir de residuos sólidos orgánicos agrícolas para la producción de hilo que puedan sustituir a los hilos sintéticos

Ma. Neftalí Rojas-Valencia¹, Elsa Galeana-Olvera¹; Cristian Mendoza-Buenrostro², Juan Araiza Aguilar¹, Mabel Vaca Mier³

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería. Coordinación de Ingeniería Ambiental Edificio 5, cubículo 212. Avenida Universidad # 3000. Colonia Coyoacán, Distrito Federal, México. Tel. 55 52-56-23-36-00 ext. 8663. Autor correspondiente E-mail: nrov@pumas.iingen.unam.mx

²Centro de Innovación en Diseño y Tecnología, Tecnológico de Monterrey - Campus Monterrey, Av. Eugenio Garza Sada 2501, Monterrey 64849, México.

³Departamento de energía, Universidad Nacional Autónoma, Azcapotzalco Campus, México

Resumen

La industria agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos en la República Mexicana; en la industria del plátano se produce gran cantidad de residuos, ya que de la planta solo se aprovecha el fruto. En el caso del coco, sus residuos se generan como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas. El objetivo del presente trabajo fue obtener las nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de pinzote de plátano y fibra de coco, elaborando con ellas biomateriales que sustituyan a las fibras sintéticas en textiles. La metodología utilizada se dividió en dos fases: la primera se realizó el estudio de generación y muestreo en la central de abasto de la Ciudad de México, basándose en la normativa. En la segunda se trabajó para obtener las nanofibrillas de celulosa mediante método químico con NaOH. Las nanofibrillas obtenidas se disolvieron en acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-dimetilformamida; posteriormente mezclándose con PCL/acetona e introduciéndose en un equipo de electrospinning para obtener hilo. El estudio de generación demostró que en la central de abasto se generan hasta 6 toneladas diarias de residuos de pinzote de plátano y de 250 a 300 kg diarios de residuos de fibra de coco. En cuanto a la elaboración del hilo mediante electrospinning se mostraron mejores resultados de disolución en el 16% de peso de material. Se obtuvo el hilo a partir de un flujo de 5 mL/s, un voltaje de 18 Kv y distancia del colector de 20 cm.

Palabras Clave: *Coco, hilo, pinzote, nanofibrillas, textil*

1. Introducción

El presente trabajo expone la necesidad ambiental de recuperar, reutilizar y reciclar los residuos sólidos orgánicos agrícolas como son los residuos de plátano y coco que se generan como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas, y que por lo general son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan usos alternativos para dichos residuos [1].

En la industria platanera se produce una gran cantidad de residuos vegetales, ya que de la planta solamente se aprovecha el fruto y una vez cosechado la planta se desecha, teniendo que disponer de las demás partes de la misma: pseudotallo, hojas y pinzote o raquis (parte de la planta que sostiene los manojos de frutos). La producción anual de plátano en México es de alrededor de dos millones de toneladas, el racimo de frutos representa la quinta parte del peso de la planta, lo que da una idea de la enorme cantidad de residuos que se derivan de su producción. A pesar de que algunos de estos se aprovechan en diferentes formas, la gran

mayoría todavía se desperdicia [2], las fibras de pinzote de plátano tienen la ventaja de provenir de un residuo agrícola que puede ser utilizado para obtener un hilo adecuado para ser tejido [2, 3],

Por otro lado, el caso del coco (*Cocos nucifera*), la fibra producida a partir del mesocarpio es considerado como un residuo el cual podría ser reutilizado tanto de forma artesanal como tecnológica, en este sentido el mesocarpio de coco ha mostraron una buena adsorción hacia los tintes aniónicos [4]. En México el área total de los estados productores de coco llega a sumar alrededor de 162 mil 224 hectáreas.

Los químicos como los colorantes y metales pesados utilizados en la industria textil causan problemas ambientales y de salud, los problemas ambientales mundiales asociados con la industria textil son típicamente los asociados con la contaminación del agua causada por la descarga de efluentes no tratados y los causados por el uso de productos químicos tóxicos, especialmente durante el procesamiento [5]. Otros problemas importantes son el consumo de agua y energía, los malos olores, los residuos sólidos, los ruidos y la generación de emisiones atmosféricas.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos negativos, en los últimos años se vienen desarrollando alternativas a las formas de producción convencionales para poder lograr productos textiles menos contaminantes.

Lo anterior conlleva a tomar en cuenta las técnicas biotecnológicas que recientemente se han desarrollado para el aprovechamiento de los residuos con el fin de reciclarlos y a su vez generar materiales de nueva generación como los que se han desarrollado en la escala de lo nanoscópico. En este caso particular cabe resaltar el de la nanocelulosa, ya que, por ser un material de origen vegetal con propiedades mecánicas y estructurales altamente resistentes, es considerado como una alternativa para disminuir el uso de materiales derivados del petróleo; ya que además es un material biodegradable y por lo tanto amigable con el ambiente.

Al ser un producto de origen natural, la nanocelulosa puede ser considerada como un compuesto amigable con el ambiente, es decir, que al final de su vida útil puede ser desechado sin daño alguno al ambiente; a este tipo de compuestos se le puede llamar “biocompuestos” o “compuestos verdes”.

Ya se han hechos estudios previos en relación a la composición química y usos de estos materiales, aunado a la gran cantidad disponible de residuos en los lugares de siembra y comercialización de ellos, los hacen ser una atractiva materia prima para la obtención de nanofibrillas de celulosa. Además del uso tradicional de las especies vegetales para la producción de papel, cartón, biocombustibles, entre otros; también se ha analizado la obtención de compuestos nanométricos para reemplazar materiales ampliamente usados, tales como las fibras sintéticas [1]. Con base en la información previamente consultada el objetivo de esta investigación se plantea a continuación.

2. Metodología

El procedimiento de obtención de nanofibrillas constó de tres pasos: pre-lavado del gabazo de coco y pinzote de plátano para reducir la cantidad de lignina, ceras y otras impurezas de la misma fibra, seguido de un tratamiento para blanquear las fibras pre-lavadas y finalmente se obtuvieron las nanofibrillas mediante una hidrólisis ácida.

2.1 Pre-lavado

Para la síntesis de nanocelulosa primero se llevó a cabo un pretratamiento de lavado, para lo cual fue necesario que el material a usar, en este caso el mesocarpio de coco, se secará, se triturará y se cortara lo más fino posible, para este primer paso se requirieron 100 g del material de interés, los cuales posteriormente se lavaron con agua destilada por 10 minutos, luego con agua a 50°C por 2 horas, después de filtrarse se repitió el proceso dos veces. Al residuo se le disperso en 500 mL de solución NaOH 2% por 2 horas a 80°C,

se filtró y lavo con agua destilada. El tratamiento con NaOH se repitió una vez más para mayor remoción de impurezas. Finalmente, las fibras resultantes se secaron a 50°C por 24 horas.

2.2 Blanqueamiento

En segundo lugar, 5 g del extracto obtenido se blanqueó con 150 mL de una solución de 1.5 g de clorito de sodio NaClO_2 y 8-10 gotas de ácido acético glacial a una temperatura entre 60 y 70°C, dicha mezcla se agito en intervalos constantes de una hora y después se enfrió en una tina con hielo, filtrado y lavado nuevamente con agua. Al final la pasta obtenida se trató con una solución de ácido nítrico 0.05N por una hora a 70°C y tamizadas en una malla de tamizado de 120 μm y posteriormente se realizó un lavado con agua.

A continuación, se realizó un tratamiento alcalino con una solución de NaOH 0.1M a 45°C por 3 horas. Seguido de esto se realizaron tratamientos sucesivos con H_2O_2 , en los porcentaje volumen siguientes: 0.5%, 1%, 2%, 3% a 45°C por 15 horas en total y un pH de 11.5. Seguido de esto se realizó un tratamiento alcalino con solución NaOH 10% m/v y $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 1% m/v a 28°C por 15 horas. Finalmente se realizó un tratamiento ácido con una solución de $\text{CH}_3(\text{COOH})$ 80% v/v y HNO_3 70% v/v en una relación 10:1 a 120°C por 15 minutos.

2.3 Hidrólisis ácida

Una vez terminado el pre-lavado y el blanqueamiento de las fibras, se llevó a cabo una hidrólisis ácida a partir de una solución de ácido sulfúrico concentrado al 64% durante 30 minutos a 45°C con agitación continua. Es importante hacer notar que entre mayor sea la proporción de nanofibrillas, mejor es la dispersión y estabilidad en un medio acuoso, en este caso la hidrólisis se realizó en una proporción de 1-10 g de pulpa por mL de ácido. Después de transcurrido el tiempo necesario para que la hidrólisis se llevara a cabo, la pulpa resultante se lavó y centrifugo durante 10 minutos a una velocidad de 10,000 rpm, obteniéndose así un precipitado. El precipitado resultante fue continuamente dializado con agua por 3 días hasta que se alcanzó un pH constante.

2.4 Caracterización de las nanofibrillas obtenidas

Se realizaron los análisis de microscopia electrónica de barrido en las nanofibrillas obtenidas en el paso anterior. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio Universitario de Microscopía Electrónica (LUME) del Instituto de Investigaciones de los Materiales de la UNAM.

2.5 Producción de hilo

Con el material obtenido de nanofibrillas de celulosa de pinzote de plátano y de fibra de coco, se procedió a la elaboración del hilo mediante el uso de equipo electrospinning y forcespinning, en el Centro de Innovación en Diseño y Tecnología (CIDyT) del ITESM.

Primero se determinó el porcentaje en peso entre 12 y 16% del material en cuestión (nanofibrillas de celulosa de pinzote de plátano y de fibra de coco) para diluir en una solución a base del líquido iónico acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-Dimetilformamida; durante 12 horas a 45°C y agitación continua.

Posteriormente, a esta disolución se le agregó el 99% en peso de una solución de PCL/Acetona y se dejó en agitación continua durante 3 horas a 45°C. La solución resultante se introdujo en una jeringa de 5 mL para utilizarse en el equipo de electrospinning; variando flujo, voltaje y distancia del colector para obtener el hilo deseado.

3. Resultados

3.1 Análisis de los residuos de plátano y coco y obtención de las nanofibrillas.

Como ya se mencionó en la metodología, para cumplir con el objetivo número 4, se realizaron análisis a los residuos de pinzote de plátano y de coco y posteriormente se realizó la obtención de las nanofibrillas a partir de estos residuos.

3.2 Análisis de los residuos.

Los resultados de los análisis de química proximal y de fracciones de la fibra en los residuos de coco y plátano se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente.

3.2.1 Análisis de fracciones de la fibra.

Tabla 1. Resultados en porcentaje de fracciones de la fibra de plátano

Fracción	Porcentaje
Fibra neutro detergente	64.28%
Contenido celular	35.72%
Fibra ácido detergente	48.09%
Hemicelulosa	16.19%
Celulosa	39.94%
Lignina	11.01%

Fracción	Porcentaje
Fibra neutro detergente	81.36%
Contenido celular	18.64%
Fibra ácido detergente	70.80%
Hemicelulosa	10.56%
Celulosa	28.72%
Lignina	40.25%

El total de la fibra está contenido en el NDF (Fibra neutro detergente) o paredes celulares. Esta fracción contiene celulosa y lignina. El NDF suministra la mejor estimación del contenido total en fibra del residuo. De acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla 1 y 2, de plátano y coco respectivamente, el porcentaje de NDF es alto.

Por otra parte, la fibra ácido detergente (ADF) consiste principalmente de celulosa, lignina y hemicelulosa. Con estos análisis se puede observar que ambos residuos cuentan con un alto grado de ADF.

3.2.2 Análisis de química proximal.

Para el presente estudio, los elementos de interés de este último análisis es la cantidad de humedad y materia seca presente en los residuos. En las tablas 3 se pueden observar los resultados obtenidos de los residuos de plátano y coco respectivamente, en base húmeda, y en base seca a 90% y 100%.

Tabla 3 Resultados de química proximal de residuos de plátano y coco

Parámetro	B.H.	Base 90	Base 100
Pinzote de plátano			
Materia seca	6.38%	90.00%	100.00%
Humedad	93.62%	10.00%	0.00%
Fibra cruda	1.53%	21.56%	23.95%
Coco			
Materia seca	80.83%	90.00%	100.00%
Humedad	19.17%	10.00%	0.00%
Fibra cruda	28.33%	31.55%	35.05%

La humedad es la cantidad de agua que contiene el alimento; la diferencia entre el peso total del alimento y el contenido en agua se denomina materia seca. En materia seca y humedad se puede observar que los residuos de pinzote de plátano contienen mayor humedad que los residuos de coco. Los residuos de pinzote de plátano en su mayoría es agua, contando solo con un 6.38% de peso de materia seca y 93.62% en humedad.

3.4 Obtención de nanofibrillas de plátano

Se tomaron 300 gramos de residuos de pinzote de plátano cortados en secciones de 30 cm y posteriormente en fibras de 2 cm de largo como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Pinzote en secciones de 30 cm

Se desfibraron los pinzotes manualmente y se colocó la fibra obtenida en proceso de secado para posteriormente realizar el tratamiento alcalino para obtener celulosa con residuos de lignina y licor negro.

Seguido de esto se realizó un blanqueamiento para así obtener 3.96 g de celulosa de 100 g de plátano. Usando ciclos repetidos de centrifugación de 10 a 3500 rpm en una centrífuga refrigerada Avanti J-26S XPI se obtuvo 0.72 gramos de celulosa libre de lignina residual.

3.5 Obtención de nanofibrillas de coco

En la figura 3 se muestra la fibra de coco que se secó posteriormente a su triturado, ya que para iniciar todo el procedimiento experimental era necesario que la fibra tuviera un bajo contenido de humedad para facilitar la extracción de celulosa.



Figura 3. Fibra de coco seca

3.6 Caracterización de las nanofibrillas obtenidas.

Se realizó un análisis morfológico de las nanofibrillas obtenidas por medio de microscopía electrónica de barrido. En la figura 4 se observa la primera muestra de nanofibras de plátano. Se puede observar que son fibras de aproximadamente 104 micras, conformadas por microfibras de un espesor de 4 micras, y estas mismas se encuentran conformadas por fibras de un espesor aproximado de 500 nanómetros.

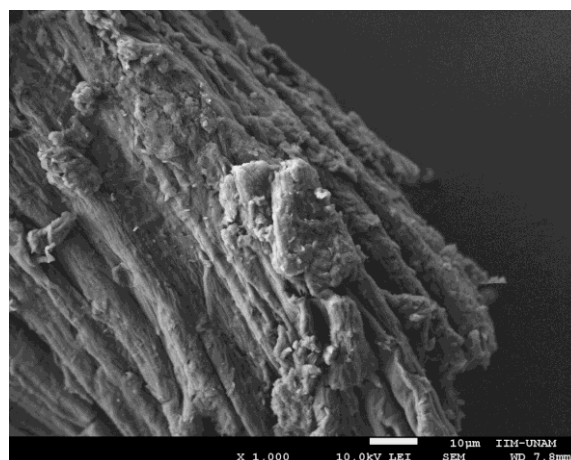


Figura 4. NFC Plátano II

Con respecto a la nanofibras de coco. Se pudo observar que es una fibra porosa conformada por fibras con un espesor entre 50 y 60 nanómetros. Teniendo la fibra compuesta un espesor de 875 nm aproximadamente.

3.7 Producción de fibras mediante electrospinning.

El material a electrohilar se disolvió completamente en la solución que se inyectó (solución de acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-Dimetilformamida), tanto en electrospinning como en forcespinning. Finalmente se combinaron las soluciones con una solución de PCL/Acetona que es usada para recubrir diferentes andamios 3D (ver figura 5).

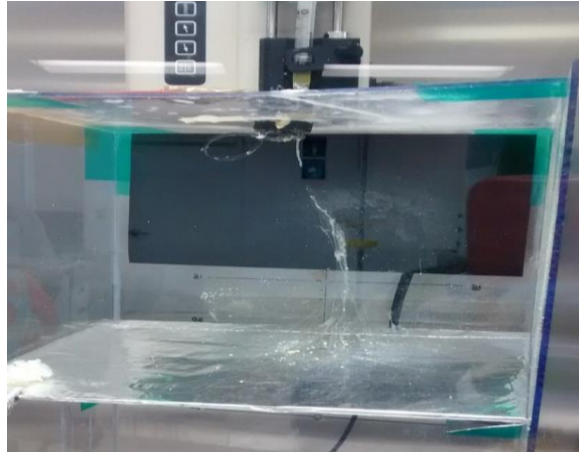


Figura 5 Fibra obtenida mediante electrospinning de solución plátano-PCL/Acetona

Las fibras obtenidas se analizaron posteriormente mediante microscopia electrónica de barrido para determinar su morfología. En la figura 6 se muestra la imagen de las fibras de PCL/Acetona para poder comparar el comportamiento de éstas con las de mezclas con el material de nanofibras de los residuos.

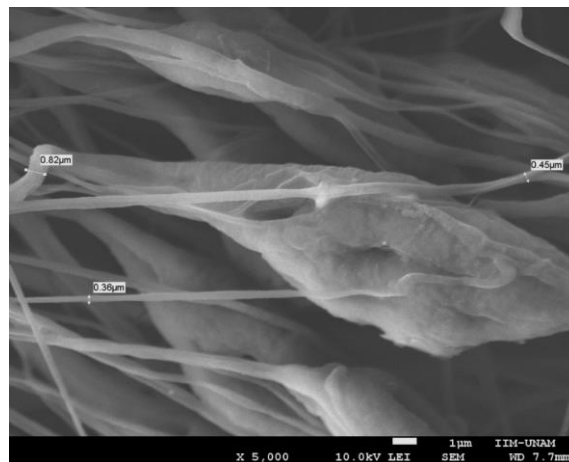


Figura 6. Fibras electrohiladas de PCL/Acetona

En la figura 6 se puede observar que las fibras tienen un espesor de entre 0.35 y 0.85 nanómetros, con algunas secciones más gruesas que se considerarían como los llamados “beads”.

En la figura 7 se muestra el comportamiento de la solución de coco al 14% en 99% de la solución de PCL/Acetona. Las nanofibrillas aquí observadas tienen un espesor de entre 1.065 a 5.540 μm .

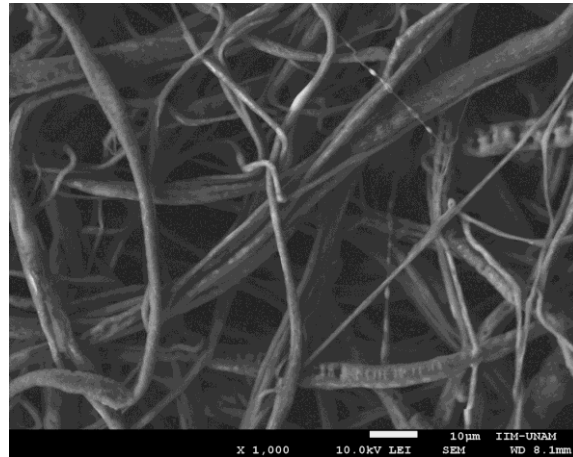


Figura 7. Fibras electrohiladas de Coco al 14% y PCL/Acetona al 99%

En la figura 8 se aprecian las fibras obtenidas a partir de la solución de plátano al 12% y solución de PCL/Acetona al 99% con un espesor de fibras de 2.24 y 5.60 μm .

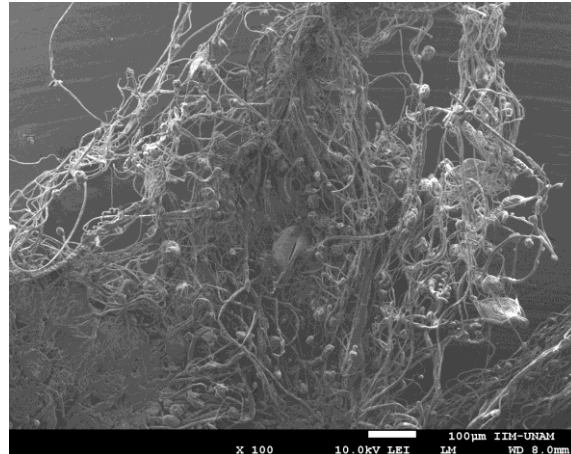


Figura 8. Fibras electrohiladas de plátano al 12% y PCL/Acetona al 99%

En la figura 10 se aprecian las fibras obtenidas por electrospinning de la solución al 14% de plátano y 99% de PCL/Acetona. El espesor de estas fibras es de 0.50 a 2 μm .

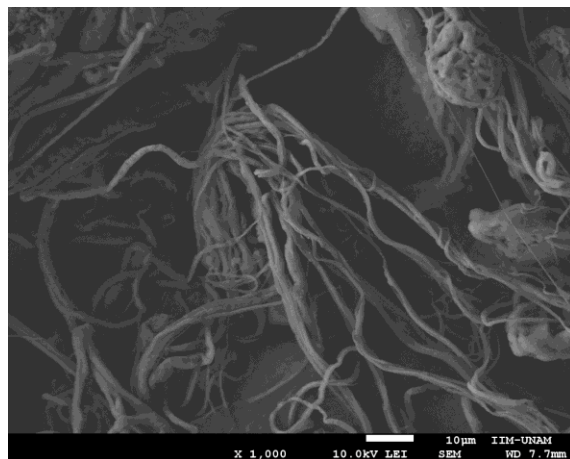


Figura 10. *Fibras electrohiladas de plátano al 14% y PCL/Acetona al 99%*

Por último, en la figura 11 se pueden observar las fibras obtenidas a partir de la solución de plátano al 16% y PCL/Acetona al 99%. Estas fibras tienen un espesor aproximado de 12.14 a 2 µm.



Figura 11. *Fibras electrohiladas de plátano al 16% y PCL/Acetona al 99%.*

4. Conclusiones

Tanto los residuos de pinzote de plátano como de coco tienen un amplio aprovechamiento, pero tiene mejores propiedades la fibra de coco debido a que es más resistente a la biodegradación y posee una durabilidad y tensión alta, comparada con otras fibras naturales. El aprovechamiento que se le dio en este estudio a estos residuos a la fecha nadie se lo ha dado.

El procedimiento de obtención de celulosa a partir de los residuos de fibra de coco es un proceso largo que requiere un adecuado control en las variables de temperatura y tiempo. La obtención de nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de plátano es un proceso más rápido y sencillo. En ambos procedimientos se obtuvo un rendimiento similar (17.75% en el caso del plátano, 17.34% en el coco), pero se considera que la obtención de las nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de pinzote de plátano es un proceso más factible y efectivo.

El hilo se obtuvo a partir de la técnica de electrospinning, utilizando una mezcla de dos soluciones. Se concluyó que la solución con mejor calidad fue la de 16% en peso, tanto en plátano como en coco.

En el estudio de factibilidad se concluyó que los residuos de pinzote de plátano y coco pueden efectivamente ser utilizados para la obtención de nanofibrillas de celulosa y de esta manera contribuir a disminuir el impacto ambiental, ya que se le estaría dando un reúso alternativo a casi 1, 783,006 toneladas de residuos generados en 1 año. Sin embargo, se debe destacar que el procedimiento de obtención de nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de pinzote de plátano presenta una mayor factibilidad debido a que se utiliza menor cantidad de reactivos químicos, horas hombre y cantidad de energía utilizada; y por lo tanto genera menor cantidad de residuos con respecto a la de coco. En cuanto al proceso de electrospinning como método para la fabricación del hilo, aunque es un método innovador y prometedor, no se considera factible para los fines de esta investigación; debido a su alto costo y requerimiento de energía y material disponible muy alto.

Referencias

- [1] Galeana-Olvera E, Rojas-Valencia M.N, Mendoza-Buenrostro C. (2017) Synthesis of Cellulose Nanofibrils from Banana Residues for the Production of Textile Fibers. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 4(11):108-113.
- [2] Galeana O.E. (2018) Aislamiento de nanofibrillas de celulosa a partir de residuos sólidos orgánicos agrícolas para la producción de biomateriales que puedan sustituir a las fibras sintéticas. Tesis de Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental, UNAM.
- [3] Ortega Z, Morón M, Monzón M, Badalló P, Paz R. (2016). Production of Banana Fiber Yarns for Technical Textile R Composites. *Journal List Materials (Basel)*. 9(5):370-380.
- [4] Monteiro MS, de Farias RF, Chaves JAP, Santana SA, Silva HAS, Bezerra CWB (2017) Wood (Bagassa guianensis Aubl) and green coconut mesocarp (cocos nucifera) residues as textile dye removers (Remazol Red and Remazol Brilliant Violet). *J Environ Manage*. 204(Pt 1):23-30. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.08.033
- [5] Khan S, Malik A. (2013). Environmental and Health Effects of Textile Industry Wastewater. Chapter from book Environmental deterioration and human health: Natural and anthropogenic determinants (pp.55-7). DOI 10.1007/978-94-007-7890-0_4

Diseño y construcción de un sistema respirométrico a escala para evaluar la degradación de plásticos

¹Itzel Rubi Jimenez Escamilla, ¹Alethia Vázquez Morillas, ¹Juan Carlos Alvarez Zeferino

¹Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, 5573669708 y irje@azc.uam.mx, alethia@correo.azc.uam,
jucaf@correo.azc.uam,

Resumen

La generación de residuos sólidos urbanos se ha incrementado considerablemente en los últimos años. En el 2010, en México generó el 12.88% de residuos plásticos, que en su mayoría fueron dispuestos en rellenos sanitarios y vertederos a cielo abierto. En la actualidad se han diseñado distintos tipos de plásticos biobasados y biodegradables. Para la determinación del porcentaje de biodegradación de dichos plásticos existen normas internacionales que establecen condiciones controladas para su evaluación. En el presente proyecto se realizaron pruebas de biodegradación a escala de 100 ml con muestras plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) y de plástico composteable (ECOVIO®), con base en la norma ASTM D5338. El método determina la biodegradación aerobia de los materiales plásticos en condiciones controladas de composteo. La prueba de biodegradación se realizó a escala de 100 ml durante 48 días en 2 sistemas con determinación de CO₂ por titulación: con aireación continua y aireación discontinua. El primer sistema obtuvo 3.94% de biodegradación en PEBD y 6.40% en ECOVIO®; mientras que el segundo obtuvo el 1.61% PEBD y 3.95% en ECOVIO®. El sistema con aireación continua presentó los mejores resultados y puede mejorarse para constituir una opción viable para la evaluación de la biodegradación de los plásticos.

Palabras Clave: *Biodegradación, sistema respirométrico, polietileno.*

1. Introducción

Los materiales plásticos están conformados por moléculas de origen natural o sintético. Sus propiedades físicas pueden variar, incluyendo características como la flexibilidad y la elasticidad, entre otras [1]. Los avances de la ciencia y tecnología han llevado a la aplicación de los plásticos en diferentes ramas tan variadas como la medicina, las telecomunicaciones y el envasado [2].

Los plásticos están compuestos principalmente por largas cadenas ramificadas o lineales conocidas como polímeros, [3] conformados a su vez por pequeñas moléculas llamadas monómeros, que están compuestas de carbono e hidrógeno, y en algunos casos pueden contener oxígeno y nitrógeno. La clasificación de los plásticos depende de las propiedades de los polímeros, los cuales se clasifican en tres tipos: termoplásticos, termoestables y elastómeros [1]. Los termoplásticos principales son polietileno tereftalato (PET), polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), y policloruro de vinilo (PVC) [4].

La generación excesiva de los plásticos ha creado una problemática ambiental, debido a su acumulación en el ambiente. Esto ha dado pauta al desarrollo de nuevos materiales y métodos que generen bioplásticos o plásticos biodegradables con las mismas propiedades y periodos más cortos de degradación. Los bioplásticos contienen una porción de carbono orgánico proveniente de materiales renovables, expresado como un porcentaje de peso, sobre el carbono orgánico, que puede determinar mediante análisis de carbono 14. Por otro lado, los plásticos biodegradables se definen como plásticos que pueden degradarse por acción de microorganismos como bacterias, hongos y algas, produciendo dióxido de carbono en condiciones aerobias y una mezcla de metano y dióxido de carbono en condiciones anaerobias [5].

Uno de los métodos utilizados para la evaluación de la biodegradación es a través de pruebas respirométricas. Éstas suelen ser costosas y emplean una gran cantidad de materiales. Por ello, es importante

desarrollar métodos para la evaluación de degradación de plásticos en laboratorio a menor escala, de manera que se reduzcan la utilización de materiales, recursos y espacios, minimizando la generación de residuos químicos. En este trabajo se presenta una propuesta de un método respirométrico a pequeña escala.

2. Metodología

Las pruebas de biodegradación de plástico se desarrollaron en reactores de 100 ml. La experimentación se basó en una adaptación de la norma ASTM D5338-15 [6], que establece el método estándar para la determinación de biodegradación aerobia de los materiales plásticos en condiciones de composteo, en reactores de 2 L. El método consiste en la exposición de muestras plásticas y un control positivo (celulosa) en un inóculo (composta madura), contenido en reactores que se mantuvieron en condiciones constantes de aireación, humedad y temperatura durante un periodo de 48 días.

2.1. Muestras plásticas

Las muestras plásticas utilizadas en la prueba fueron polietileno de baja densidad (PEBD) y plástico composteable ECOVIO®. Para la experimentación fue necesario que la película plástica tuviera un tamaño no mayor a los 0.5 x 0.5 cm para los reactores. Para la caracterización de las muestras plásticas se determinó el contenido de nitrógeno total, carbono orgánico total y materia orgánica bajo la técnica de Sadzawka [7].

2.2. Inóculo

La composta empleada como inóculo para las pruebas de biodegradación se generó a partir de residuos de poda y jardinería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, con un periodo de maduración de cuatro meses. Se realizó la caracterización de la composta antes y después de las pruebas, determinando el pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, relación carbono nitrógeno y fitotoxicidad (Porcentaje de germinación relativa), con base en la norma ambiental del Distrito Federal para composta [8], así mismo se determinaron los macro nutrientes con un kit HANNA® (fósforo y potasio).

2.3 Reactores

Para realizar el diseño del sistema respirométrico a escala de 100 ml se utilizaron como reactores frascos de vidrio transparente con capacidad de 100 ml, en cada frasco se colocaron 15 g de composta con una humedad del 70%. Posteriormente se agregó 1 g de las muestras plásticas PEBD y ECOVIO® (las cuales fueron cortadas en cuadros de 0.5 x 0.5 cm). Se utilizó como control positivo una mezcla celulosa-composta y como blanco composta madura. Los frascos fueron cerrados con tapones de goma y anillos de aluminio, logrando condiciones herméticas. Con el fin de evaluar la factibilidad de construir un sistema a escala, se evaluaron dos sistemas:

- Sistema respirométrico con aireación continua
- Sistema respirométrico con aireación discontinua

Las dos pruebas se realizaron por triplicado y de forma simultánea.

2.3.1. Sistemas con aireación continua

Los reactores se colocaron dentro de una pecera, que contenía agua desionizada y se mantuvieron a 58°C. El sistema respirométrico incluyó el ingreso de aire proveniente de un compresor, que pasaba por una trampa de hidróxido de sodio contenida en un frasco ámbar para eliminar el CO₂ que pudiese estar presente en el aire. Después pasaba a los reactores, donde se generaban gases debido al proceso, mediante agujas con calibre 14G. Los gases generados en los reactores pasaban a las trampas de hidróxido de sodio a 0.25 N de 6 ml mediante agujas de menor calibre, para la captura de CO₂. La solución de las trampas fue titulada con ácido clorhídrico a 0.5 N (ver Figura 1), utilizando como indicador fenoltaleína (indicado un vire de color rosado a transparente).

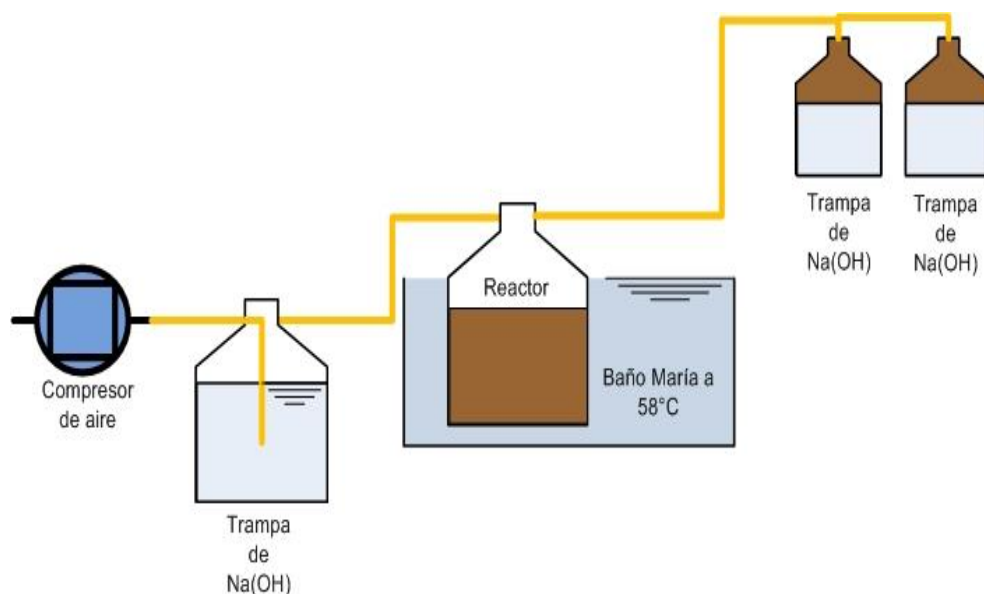


Figura 8. Sistema de aireación a escala de 100ml

Las trampas de hidróxido de sodio que se emplearon en el estudio fueron valoradas y cambiadas diariamente en los primeros 15 días de la prueba. Posteriormente, la valorización y el cambio de las trampas se realizaron cada tres días.

2.3.2 Sistemas con aireación discontinua

Los reactores fueron colocados en una pecera con agua desionizada a temperatura de 58°C. El aire de ingreso provenía de un compresor que se conectaba a los reactores durante 5 minutos al día. En el mismo periodo los gases generados en los reactores se enviaban a las trampas de hidróxido de sodio que contenían 6 ml de solución a 0.25 N a través de agujas de calibre 14G (ver Figura 2). La medición de CO₂ se realizó por titulación. Las valorizaciones de las trampas fueron realizadas diariamente en los primeros 15 días de la prueba, posteriormente se realizaron cada tres días.



Figura 9. Montaje del sistema con aireación discontinua

2.4 Porcentaje de biodegradación

Para determinar el porcentaje de biodegradación de las muestras, se cuantificó la generación CO_2 de los reactores, descontando el que se produjo por la actividad de la composta. El porcentaje de biodegradación se determinó según la siguiente formula:

$$\% \text{ de biodegradación} = \frac{(\text{CO}_2)_T - (\text{CO}_2)_B}{\text{ThCO}_2} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$(\text{CO}_2)_T$ = masa acumulada de CO_2 generado en cada reactor que contiene el material de ensayo (mg por recipiente)

$(\text{CO}_2)_B$ = masa acumulada de CO_2 generado en el control negativo (mg por recipiente)

ThCO_2 = masa teórica de CO_2 que puede producir el material de ensayo (mg por recipiente).

3. Resultados y discusión

A continuación, se muestra la caracterización fisicoquímica inicial y final de la composta empleada en la prueba, la caracterización de las muestras plásticas y el porcentaje de biodegradación de los diferentes sistemas respirométricos.

3.1. Caracterización del inóculo

3.1.1. Sistema respirométrico con aireación continua

En la caracterización inicial y final de la composta se determinó el incremento de algunas de las propiedades de la misma en las cuatro muestras (blanco, celulosa, ECOVIO® y PEBD) como se muestra en la Tabla 1. Esto se debió al sifoneo de las trampas de hidróxido de sodio, el cual se introdujo a los reactores modificando las propiedades de la composta. Tal es el caso de pH y la conductividad eléctrica, ya que aumentaron los iones OH y las sales que se encontraban en la composta, así mismo alteró los demás parámetros, exceptuando la materia orgánica y el carbono orgánico. Sin embargo, este fenómeno no afectó la capacidad de germinación de la composta, que tampoco se vio alterada por la presencia de los plásticos.

Tabla 8. Caracterización inicial y final del inóculo del sistema respirométrico a escala de 100 ml con aireación continua

Parámetros	Valores iniciales	Blanco final	Celulosa final	ECOVIO® final	PEBD final
pH (unidades)	7.08	10.30	10.58	10.50	10.21
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1676.66	3334.33	3225.00	4131.33	3946.67
Materia orgánica (%)	50.30	49.55	54.72	52.69	52.38
Carbono orgánico (%)	27.94	27.53	30.40	29.27	29.10
Porcentaje de germinación relativa (%)	93.33	112.50	100.00	104.17	108.33
Fósforo	Alto	N/D	N/D	N/D	N/D
Potasio	Alto	Medio	Trazas	Bajo	Bajo

*N/D – No Detectado

3.1.2. Sistema respirométrico con aireación discontinua

Los resultados de la caracterización inicial y final del sistema respirométrico con aireación discontinua se observan en la Tabla 2, donde se muestra una mayor madurez de la composta. Esto se observa en el aumento pH por la reducción de hidrógenos al transformar los nitrógenos a amoníaco, mientras que la conductividad eléctrica bajó por la reducción de sales solubles en el proceso termófilo de la composta.

El aumento del porcentaje de germinación en la composta se debe a varios factores, entre ellos la presencia de lignina, hemicelulosa y otros compuestos al inicio de la prueba, los cuales, al someterse en condiciones controladas, se transformaron a sustancias húmicas y fúlvicas, permitiendo el incremento de la germinación.

Tabla 9. Caracterización del inóculo empleado en el sistema respirométrico a escala da 100 ml con aireación discontinua

Parámetros	Valores iniciales	Blanco final	Celulosa final	ECOVIO® final	PEBD final
pH(unidades)	7.08	9.31	8.26	8.57	8.88
Conductividad eléctrica (µS/cm)	1676.66	935.67	1204	1267.67	1229
Materia orgánica (%)	50.30	56.51	53.76	56.96	53.67
Carbono orgánico (%)	27.94	31.40	29.86	31.65	29.82
Porcentaje de germinación relativa (%)	93.33	116.67	120.83	120.83	116.66
Fósforo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Potasio	Alto	Alto	Medio	Trazas	Bajo

3.2. Porcentaje de biodegradación

3.2.1. Sistema respirométrico con aireación continua

El porcentaje de biodegradación que se obtuvo durante la prueba a escala de 100 ml con aireación continua fue del 15.31% en celulosa, 6.40% en ECOVIO® y 3.94% en PEBD, como se puede observar en la Figura 3. Las muestras plásticas empleadas no presentaron algún cambio físico aparente al término de la prueba.

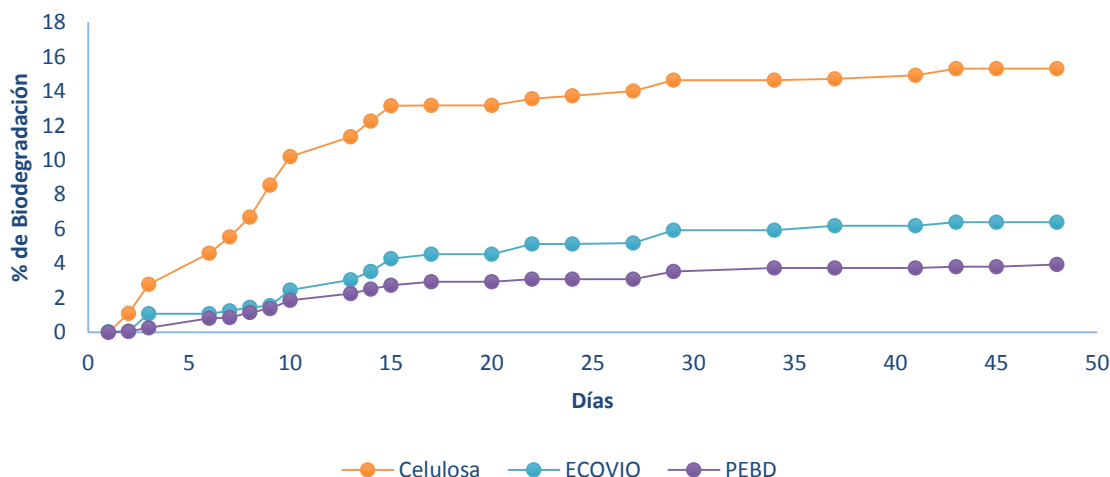


Figura 10. Porcentaje de biodegradación del sistema respirométrico ml con aireación continua

3.2.2. Sistema respirométrico con aireación discontinua

El porcentaje de biodegradación en la prueba con aireación discontinua muestra que nuevamente el material que más se degradó fue la celulosa obteniendo 5.35%, mientras que las muestras plásticas se degradaron en 3.95% (ECOVIO®) y 1.61% (PEBD) como se muestra en la Figura 4. Al igual que en la prueba anterior, se observa que las muestras plásticas no mostraban algún cambio físico al finalizar la prueba.

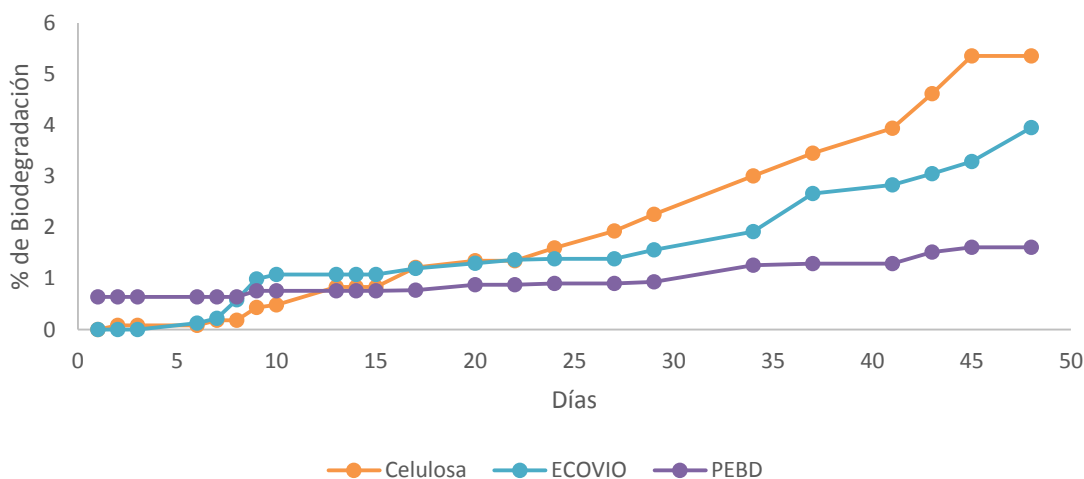


Figura 11. Porcentaje de biodegradación del sistema respirométrico con aireación discontinua

Durante la prueba se observaron los cambios de las propiedades mecánicas del polímero, indicando la biodegradación aerobia mediante el consumo de oxígeno y la evaluación del dióxido de carbono. Esto indica que los microorganismos emplearon el polietileno como fuente de carbono para su crecimiento y su metabolismo para la producción de CO₂. La cantidad de CO₂ que se generó durante el metabolismo dependió del tipo de polímero y las concentraciones en las que se encontraba[9].

En la Tabla 3 se realizó una comparación de sistemas respirometricos a diferentes escalas y periodos de tiempo, manteniendo constantes las condiciones de humedad, aireación y temperatura de los sistemas. Los valores obtenidos en el sistema respirométrico con aireación continua a escala de 100 ml fueron los más cercanos a los sistemas de escala de 1000 ml y 1500 ml, por lo que resulta una opción viable para la evaluación de la biodegradabilidad de los materiales.

Tabla 10 Cuadro comparativo de sistemas respirométricos

Muestras	Sistema respirométrico de 100 ml		Sistema respirométrico de 1000 ml	Sistema respirométrico de 1.0 L	Sistema respirométrico de 1.5 L
	Aireación continua	Aireación discontinua	Aireación continua	Aireación continua	Aireación continua
Material 1	PEBD	PEBD	PEBD	N/P	PEBD Oxidado
% de biodegradación	3.94	1.61%	6.13%	N/P	13.48%
Material 2	ECOVIO®	ECOVIO®	ECOVIO®	Botella de PLA	Acido Poli láctico
% de biodegradación	6.40%	3.95%	9.75%	84%	41.5%
Material 3	Celulosa	Celulosa	Celulosa	Celulosa	Celulosa
% de biodegradación	15.31%	5.355	28.85%	86%	58.45%
Periodo	48 días	48 días	45 días	58 días	180 días
Referencia			[10]	[11]	[12]

*N/P – No Presentó

Aunque el sistema de 100 ml con aireación continua presentó valores de degradación más cercanos a los de los estudios de referencia, se observa que la biodegradación de la celulosa (control positivo) fue menor. Esto se debe, en primer lugar, a la menor duración de la prueba y, en segundo lugar, al ingreso de la solución de titulación a los reactores. El sistema, por tanto, parece una opción viable, pero requiere de la adición de alguna válvula que evite el flujo de la solución de NaOH a los reactores.

4. Conclusiones

Los plásticos biodegradables se han presentado como una de las opciones para la mitigación de los efectos adversos de los residuos plásticos. Sin embargo, sus posibles beneficios ambientales se ven limitados por múltiples factores, que incluyen la carencia de mecanismos de gestión que permitan su acopio y su biodegradación en sistemas de composteo. Uno de los retos relevantes es la certificación de estos materiales; las pruebas de biodegradabilidad son costosas, tienen larga duración, y requieren instalaciones especializadas. Esto vuelve inviable que los productores de estos materiales, que tienen un bajo valor agregado, puedan costearlas.

Bajo este escenario cobra relevancia la generación de procedimientos alternativos de evaluación. Los métodos propuestos en esta investigación se basan en los mismos principios de los métodos estandarizados, pero en una escala que reduce considerablemente la complejidad de la prueba. La implementación de un sistema respirométrico a menor escala permitiría la reducción de costos, materiales, reactivos, servicios y espacio en la prueba.

En el sistema respirométrico a escala de 100 ml con aireación continua se obtuvieron porcentajes de biodegradación del 15.3% en celulosa, 6.4% en ECOVIO® y del 3.94% en PEBD, a pesar de que el sistema presentó fallas, como el vertimiento de la trampa de hidróxido de sodio en los reactores, alterando las propiedades de la composta. Aunque no generó resultados óptimos, puede mejorarse y constituir una opción viable para la evaluación de los plásticos biodegradables.

Referencias bibliográficas

- [1] Instituto Mexicano del Plástico, (1997), *Enciclopedia del plástico*. México, D.F.
- [2] Méndez J, (1997). *Introducción a la ciencia y tecnologías de los plasticos X*. Mexico: Trillas.
- [3] Askeland D. R. and Phule P. P. (2011). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México.
- [4] Baker A.-M. M. and Mead J., (2004). “Termoplásticos,” in *Manual de plásticos volumen1*. Primera., McGraw-Hill Interamericana, Ed. Mexico.
- [5] NMX-E-260-CNCP-2014, (2014). “INDUSTRIA DEL PLÁSTICO-MATERIALES BIOPLÁSTICOS-TERMINOLOGÍA.” *D. Of.*
- [6] ASTM D5338-15, (2015). “Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions, Incorporating Thermophilic Temperatures,” *ASTM Int. West Conshohocken, PA*.
- [7] Sadzawka R. Angélica, Carrasco R. María Adriana, Grez Z. Renato, and Mora G. María de la Luz. (2005), “MÉTODOS DE ANÁLISIS DE COMPOST,” p. 152, 2005.
- [8] NADF-020-AMBT-2011, (2012), “NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta,” *Secretaría del medio Ambiente del Distrito Federal*, Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal del 30 de noviembre de 2012.
- [9] Castro Aguirre E., Auras R., Selk S., Rubino M., and Marsh T. (2017), “Polymer Degradation and Stability,” *ScienceDirect*, vol. 137, pp. 251–271.
- [10] Jimenez Escamilla I. R., Vazquez Morillas A., and Alvarez Zeferino J. C. (2016), “Evaluación de la mineralización de dos plásticos mediante la norma internacional ASTM D5338,” *Los residuos solidos como fuentes Mater. y energía*, vol. 9.
- [11] Kale G., Auras R., Singh S. P., and Narayan R. (2007), “Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions,” *Polym. Test.*, vol. 26, no. 8, pp. 1049–1061.
- [12] Vázquez-Morillas A., Beltrán-Villavicencio M., Alvarez-Zeferino J. C., Osada-Velázquez M. H., Moreno A., Martínez L., and Yañez J. M. (Apr, 2016), “Biodegradation and Ecotoxicity of Polyethylene Films Containing Pro-Oxidant Additive,” *J. Polym. Environ.*,

Aprovechamiento de los residuos de cáscara de naranja como coagulante en el tratamiento de aguas residuales

¹Salvador González Ramírez, Israel Labastida Núñez², Maribel Velasco Pérez^{3*}, Margarita Beltrán Villavicencio⁴

¹⁻⁴ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av San Pablo Xalpa 180, Reynosa Tamaulipas, 02200 Ciudad de México, México. Tel: 5318 9057 correo electrónico*: mvp@azc.uam.mx

Resumen

Se propone la valorización de residuos de cáscaras de naranja mediante la preparación de coagulantes para su implementación en el tratamiento de aguas de residuales. Se comparó el desempeño del coagulante de naranja (NA) contra un coagulante de nopal (NO) y sulfato de aluminio (SA). Se requirieron 563.63 g de nopal y 19.78 g de cáscaras de naranja para preparar 1 g de coagulante de NO y NA, respectivamente. La mayor remoción de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y color del agua residual se obtuvo a un pH de 10 unidades para el NO y NA. La dosis de coagulante que presentó mayor remoción de turbidez, SST y color al pH natural del agua residual tratada (8 ± 0.5 unidades) fue de 40 mg/L para el NO y de 150 mg/L para NA. Se encontró que al utilizar dosis en intervalos de 10 mg/L-40 mg/L para el NO y 67.5 mg/L-270 mg/L de SA; y entre 37.5 mg/L-150 mg/L de NA y 67.5 mg/L-270 mg/L de SA (8 ± 0.5 unidades), la remoción de turbidez, SST y color aumenta con la concentración de SA, con una contribución marginal del NO y NA. El costo en pesos mexicanos de producir 1 g de NO se estimó en \$5.90 y de NA en \$7.51. Se recomienda estudiar los mecanismos de remoción de NO y NA, para identificar estrategias para su implementación y reducción de costos en la preparación.

Palabras Clave: *coagulantes naturales, mucílago, pectina, sólidos suspendidos totales, turbidez.*

1. Introducción

La producción de naranja a nivel mundial en el año 2016 fue de 67 millones de toneladas, de la que el 5.28% fue de México [1]. En ese mismo año, en el país, la naranja fue el cultivo perenne con mayor extensión sembrada, con 335 336 ha [2].

En México, los cítricos son una fruta de alto consumo y uno de los productos principales de exportación. La naranja se consume fresca o en jugo, forma parte de postres y ensaladas, en la agroindustria también se utiliza para la producción de jugos envasados, y además se extraen aceites esenciales de ésta [2].

La cáscara corresponde a aproximadamente el 25% en masa de la naranja [3], por lo que los residuos que se generan una vez que se ha consumido la fruta o extraído el jugo son considerables. Actualmente se están estudiando la valorización de este residuo como fuente de biomasa para procesos de digestión anaerobia, como adsorbente de colorantes y metales pesados entre otros procesos [4]–[7].

En este estudio se investiga la aplicación de un coagulante preparado a partir de cáscaras de naranja para el tratamiento de aguas residuales. En el 2015, en México se generaron 14 000 millones de m³ de aguas residuales, de las cuales se descargó el 57% en cuerpos de agua sin recibir ningún tratamiento [8].

La clarificación del agua residual se puede llevar a cabo por medio de coagulación-floculación, etapa en la que se adiciona un coagulante para que los sólidos suspendidos se aglomeren y sedimenten. La mayor parte de los coagulantes que se utilizan actualmente son sales inorgánicas como el sulfato de aluminio, cloruro férrico o sulfato férrico. Sin embargo, durante el tratamiento se generan como subproductos lodos que contienen metales, dificultando su tratamiento, el aprovechamiento de la materia orgánica contenida en éstos y haciendo costosa su disposición final. En este contexto se ha investigado el desarrollo de coagulantes a partir de recursos renovables para su aplicación en el tratamiento de aguas o aguas residuales [9]–[12].

La Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales (PPTAR) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A) trata entre el 5% y 10% en volumen del agua residual que se genera en la Unidad. La PPTAR cuenta con un tren de tratamiento fisicoquímico avanzado, que en la etapa de clarificación utiliza sulfato de aluminio como coagulante. La sustitución de este coagulante por uno de origen renovable tiene como ventajas el aprovechamiento de un residuo (en este caso las cáscaras de naranja), la disminución del uso de coagulantes con sales metálicas y facilita el aprovechamiento de los lodos que se generan en la PPTAR.

2. Metodología

El desarrollo experimental se divide en tres etapas generales, la preparación de los coagulantes, la determinación de la dosis de coagulantes para el tratamiento del agua residual y las pruebas para comparar el desempeño del coagulante de cáscaras de naranja con otros. Para esta última etapa se utilizó un coagulante de nopal (por ser ampliamente estudiado como coagulante natural) y sulfato de aluminio (por su uso extendido en el tratamiento de aguas residuales).

2.1 Preparación de coagulantes naturales

2.1.1 Coagulante de nopal

Este coagulante se preparó con el método que se describe brevemente a continuación [13]. Con un cuchillo se removieron las espinas de las pencas de nopal y éstas se cortaron en trozos. El nopal se molió en una licuadora con agua desionizada, en proporción masa 1:1. Después se pasó esta mezcla por un tamiz No 30 (590 μm), el filtrado se hirvió durante 15 min en una parrilla de calentamiento. Se dejó sedimentar esta mezcla en un refrigerador a 4 °C y después se decantó el sobrenadante. Para remover el color del material sedimentado, éste se mezcló con acetona en una proporción volumétrica 3:2. El precipitado obtenido del paso anterior se separó por filtración al vacío y se secó en una estufa por 6 h a 37 °C. El precipitado seco se molió con un mortero, se pasó por un tamiz No 30 (590 μm) y se almacenó en un frasco limpio hasta su uso.

2.1.2 Coagulante de cáscara de naranja

La preparación de este coagulante se llevó a cabo en dos etapas: la desmetoxilación y la reticulación [14].

Desmetoxilación: se cortaron las cáscaras de naranja en trozos pequeños. Después se lavaron tres veces con agua potable a 60°C, tres veces más con agua desionizada a temperatura ambiente y se secaron a 50 °C en una estufa. La cáscara seca se molió en un mortero, se pasó por un tamiz No 30 (590 μm) y se secó a 37°C por 6 h en una estufa. Después se lavó con agua desionizada, se decantó el agua y se lavó en veces sucesivas con soluciones de etanol al 50%, 70% y 96% (en volumen). Posteriormente se separó la cáscara de naranja del etanol por filtración al vacío y se secó a 37°C por 6 h. Se mezcló con una solución 0.2 M de hidróxido de sodio (NaOH) a un pH entre 10 y 11 unidades, la mezcla se mantuvo en agitación lenta por 2 h y después se filtró y se secó a 50 °C por 4 h.

Reticulación: a 500 mL de una solución 0.2 M de cloruro de calcio (CaCl_2) se agregaron 4 g de cáscara de naranja desmetoxilada y se ajustó el pH a 5 unidades con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 M. Esta mezcla se mantuvo en agitación a 200 r/min durante 24 h. Después se lavó el producto con agua desionizada, se filtró al vacío, se secó a 40°C por 6 h y se pasó por un tamiz No 30 (590 μm). Finalmente, el coagulante se almacenó en un frasco limpio hasta su uso.

2.2 Caracterización fisicoquímica del agua residual

El agua residual se caracterizó antes y después de cada prueba de coagulación con los siguientes parámetros: pH [15]; sólidos suspendidos totales, SST [16], turbidez [16]; color [16] y demanda química de oxígeno,

DQO [17].

2.3 Determinación de la dosis cuantitativa de los coagulantes

Esta prueba se llevó a cabo con agua residual cruda de la PPTAR de la UAM-A para los coagulantes naturales (nopál y cáscara de naranja) y sulfato de aluminio. Primero se determinó la dosis cualitativa (DCL), después el pH óptimo y finalmente la dosis cuantitativa de los coagulantes. Las dos últimas se realizaron en un equipo de prueba de jarras, con seis jarras con velocidad variable controlada y con capacidad máxima de 2 L cada una.

2.3.1 Dosis cualitativa

Se prepararon soluciones stock del coagulante de nopál (55 000 mg/L), del coagulante de cáscara de naranja (50 000 mg/L) y del sulfato de aluminio (90 000 mg/L). En un vaso de precipitados se colocaron 200 mL de agua residual cruda y se agregaron dosis de 0.1 mL de solución stock de coagulante hasta observar la formación de flóculos, ésta se seleccionó como la DCL.

2.3.2 pH óptimo

En cada una de las jarras se colocó 1 L de agua residual cruda y se ajustó el pH en cada una a diferentes valores entre 5 y 10 unidades. El ajuste se realizó con soluciones 1M de ácido sulfúrico (H_2SO_4) o 1M de hidróxido de sodio (NaOH). A cada jarra se añadió la DCL del coagulante, se agitó a 70 r/min durante 15 min, después a 28 r/min por 15 min y finalmente se permitió la sedimentación de los flóculos por 20 min. El pH al que se observó la mayor remoción de SST se seleccionó como el pH óptimo.

2.3.3 Dosis cuantitativa

En cada una de las jarras del equipo de prueba de jarras se agregó 1 L de agua residual cruda y una dosis de coagulante entre el 25% y el 200% de la DCL, se agitó a 70 r/min durante 15 min, después a 28 r/min por 15 min y finalmente se permitió la sedimentación de los flóculos por 20 min. Se seleccionó como dosis cuantitativa (DCT) aquella con la mayor remoción de SST.

2.4 Pruebas de coagulación

Para los coagulantes naturales de nopál y de cáscara de naranja se estudió la remoción de SST utilizando diferentes proporciones del coagulante natural y del sulfato de aluminio (Tabla 1). La prueba se realizó al pH del agua residual de la PPTAR y por duplicado. Las dosis de los coagulantes se seleccionaron con respecto a la DCT. Las pruebas de coagulación se llevaron a cabo en el equipo de prueba de jarras con 1 L de agua residual cruda, con agitación rápida de 70 r/min por 15 min, agitación lenta de 28 r/min durante 15 min y 20 min de sedimentación.

Tabla 1. Combinaciones de coagulante natural y sulfato de aluminio estudiadas p-ara el tratamiento del agua residual de la PPTAR de la UAM-A

Tratamiento	% de dosis cuantitativa de coagulante natural	% de dosis cuantitativa de sulfato de aluminio
1	100	---
2	75	25
3	50	50

4	25	75
5	---	100

2.5 Análisis de costos

Se llevó un registro cuidadoso de los materiales y sus cantidades utilizadas para la preparación de los coagulantes naturales. A partir de éste se calculó el costo para producir suficiente coagulante para tratar el agua residual de la PPTAR por una semana. Se consideraron los siguientes escenarios: tratamiento con 100% DCT de sulfato de aluminio, 100% DCT de coagulante de nopal y 100% de la DCT de cáscaras de naranja ajustando al pH al óptimo; y las combinaciones nopal-sulfato de aluminio y cáscaras de naranja-sulfato de aluminio al pH del agua residual de la PPTAR.

3. Resultados

3.1 Preparación de coagulantes naturales

Para obtener 1 g de coagulante de nopal y de cáscara de naranja se requirieron 563.63 g de pencas de nopal y 19.78 g de cáscaras de naranja, respectivamente (Figura 1).

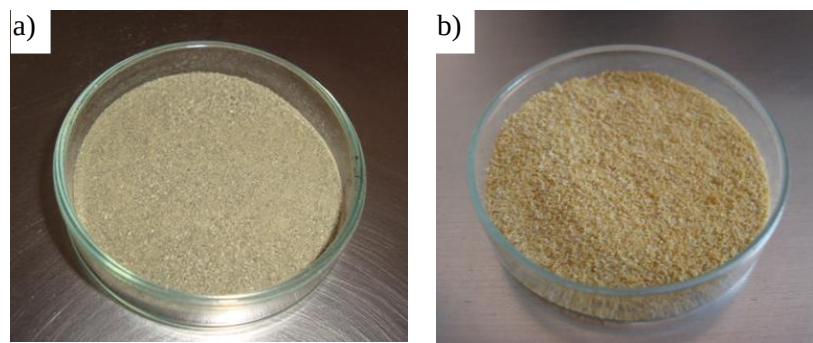


Figura 1. Coagulantes preparados a partir de a) nopal y b) cáscara de naranja

3.2 Dosis cuantitativa

Las DCL para los coagulantes de nopal, de cáscara de naranja y sulfato de aluminio fueron de 220 mg/L, 100 mg/L y 180 mg/L, respectivamente. El pH óptimo para el coagulante de nopal y de cáscaras de naranja se encontró en 10 unidades, alcanzando porcentajes de remoción de SST de 57% para el coagulante de nopal y de 72% para el de cáscaras de naranja (Figuras 2 y 3). Para los dos coagulantes naturales la remoción de turbidez, SST y color depende del pH del agua a tratar, pero la dependencia es más notoria para el coagulante de cáscaras de naranja, para éste la remoción de turbidez varía entre 14% y 20% para valores de pH entre 5 y 9 unidades, mientras que a un pH de 10 unidades es 70% (Figura 3). El pH óptimo para el sulfato de aluminio se determinó en estudios anteriores en 5 unidades [18], [19].

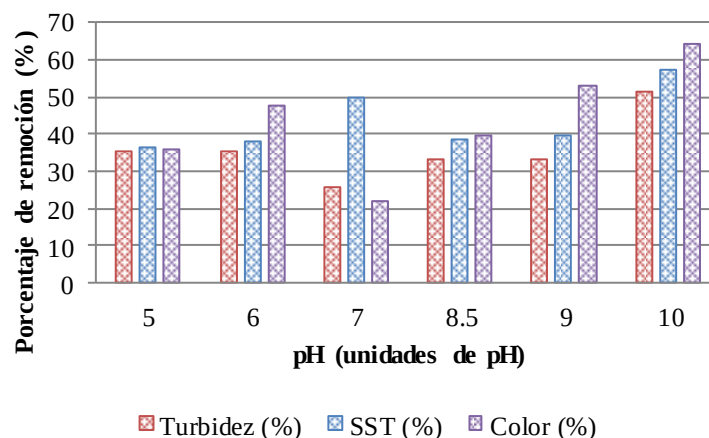


Figura 2. pH óptimo del coagulante de nopal

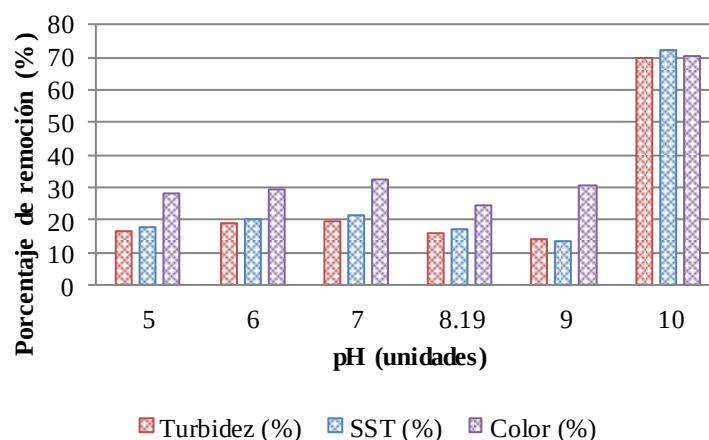


Figura 3. pH óptimo del coagulante de cáscaras de naranja

La DCT se determinó al pH del agua residual cruda de la PPTAR (8 ± 0.5 unidades), esto con el propósito de simplificar la administración de coagulantes en el tratamiento de aguas residuales y disminuir costos y corrosión de los equipos al tener valores de pH de trabajo básicos o ácidos (10 unidades para los coagulantes naturales y 5 unidades para el sulfato de aluminio).

Para el coagulante de nopal los porcentajes de remoción de turbidez, SST y color oscilaron entre 23% y 36% para dosis entre 10 mg/L y 100 mg/L (Figura 4). Se seleccionó 40 mg/L como la DCT de este coagulante, con 24.65% de remoción de turbidez, 26.48% de SST y 29.56% de color.

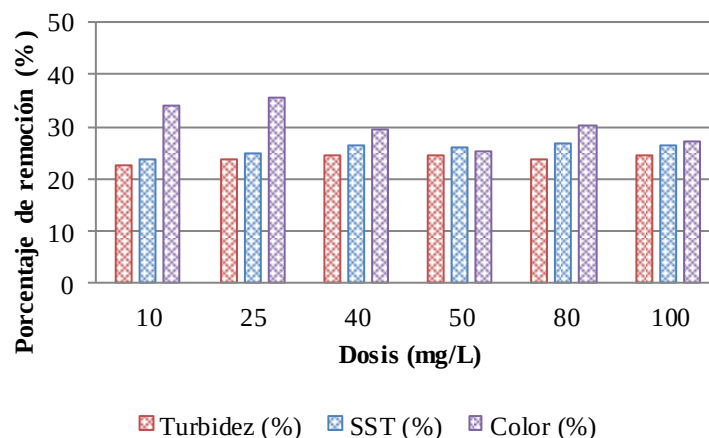


Figura 4. Dosis cuantitativa del coagulante de nopal al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

Para el coagulante de cáscaras de naranja se obtuvieron remociones de turbidez y SST de alrededor de 35% para dosis entre 25 mg/L y 200 mg/L, aunque la remoción de color a una dosis de 150 mg/L fue ligeramente mayor (31%), por lo que esta última se seleccionó como la DCT (Figura 5).

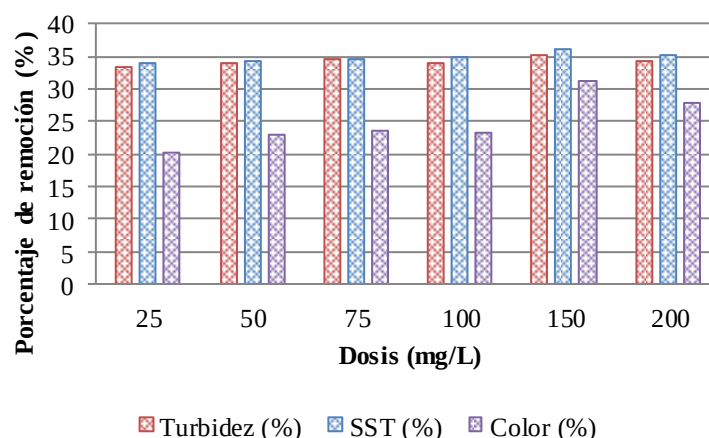


Figura 5. Dosis cuantitativa del coagulante de cáscaras de naranja al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

Para el sulfato de aluminio se obtuvieron remociones de turbidez, SST y color superiores al 90% para dosis entre 270 mg/L y 360 mg/L (Figura 6); se seleccionó como DCT 270 mg/L.

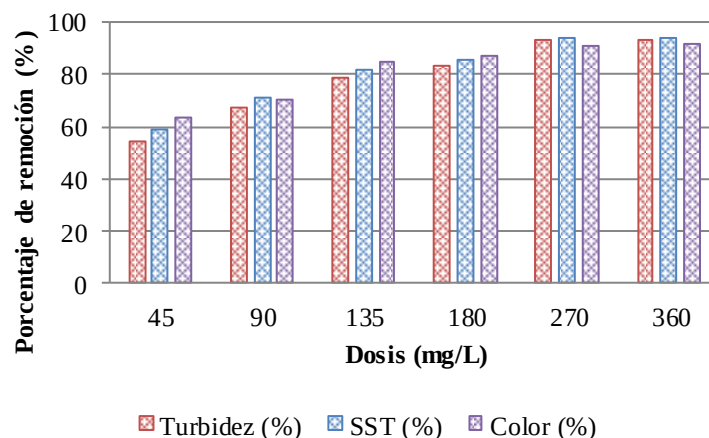
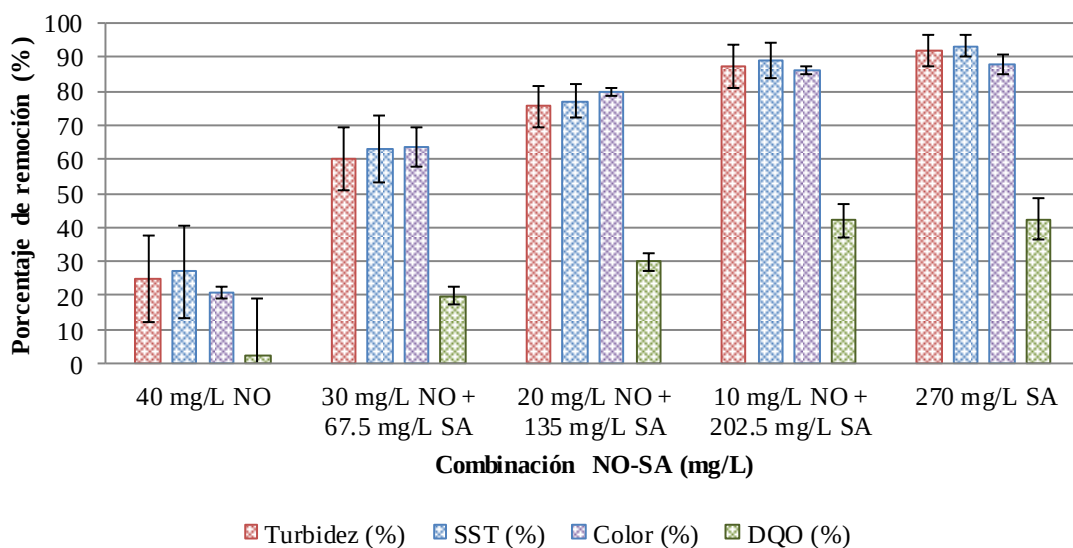


Figura 6. Dosis cuantitativa del sulfato de aluminio al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

3.3 Pruebas de coagulación

La figura 7 presenta la remoción de turbidez, SST, color y DQO para las pruebas de coagulación con nopal y sulfato de aluminio al pH del agua residual de la PPTAR. El sulfato de aluminio usado de forma individual alcanzó remociones superiores al 88% para turbidez, SST y color y al 40% para DQO, mientras que para el nopal la remoción osciló entre 2% y 25%.



Figura

7. Pruebas con el coagulante de nopal y sulfato de aluminio al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

La remoción de turbidez, SST, color y DQO con el coagulante de cáscaras de naranja presentó una tendencia similar a la observada para el de nopal (Figura 8). Los porcentajes de remoción con el coagulante de cáscaras de naranja (33% turbidez, 37% SST, 32% color, 8% DQO) fueron ligeramente superiores a los obtenidos con nopal (25% turbidez, 26% SST, 20% color, 2% DQO), cuando éstos son usados de forma individual.

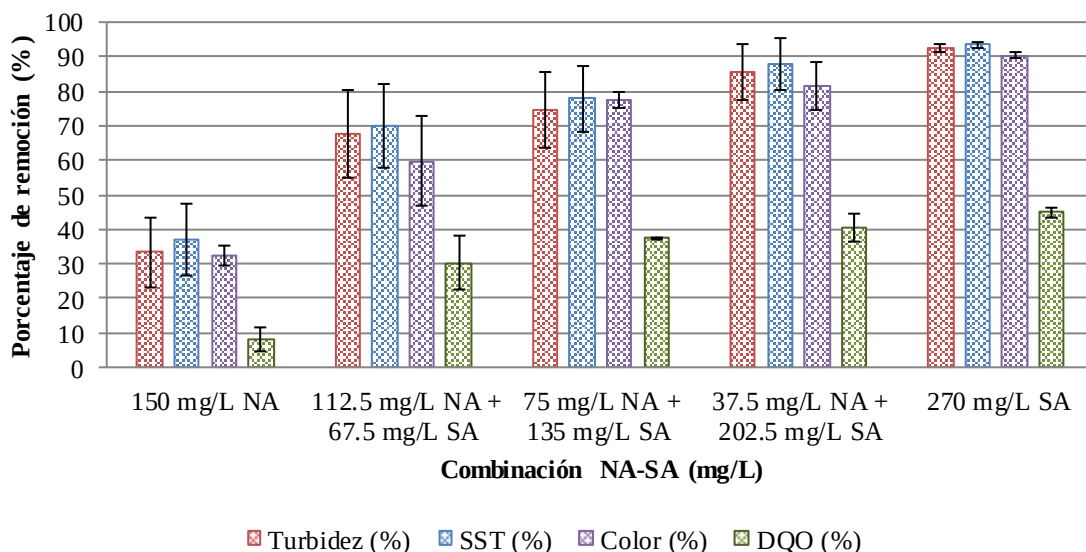


Figura 8. Pruebas con el coagulante de cáscaras de naranja y sulfato de aluminio al pH del agua cruda de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM-A (8 ± 0.5 unidades)

En las pruebas de coagulación se observa claramente como la eficiencia de remoción de turbidez, SST, color y DQO aumenta conforme se utiliza una mayor dosis del sulfato de aluminio. Este comportamiento se puede explicar pues la remoción de estos parámetros depende en gran medida del pH del agua a tratar, para los coagulantes de nopal y de cáscaras de naranja el pH óptimo es a 10 unidades.

La capacidad coagulante del nopal se atribuye en la literatura al mucílago, que es un carbohidrato complejo y viscoso, que le permite a la planta retener grandes cantidades de agua [20]. Recientemente se identificó al ácido galacturónico como uno de los ingredientes activos en el proceso de coagulación, éste existe en la naturaleza predominantemente en su forma polimérica como ácido poligalacturónico. Cuando este ácido entra en contacto con el agua el grupo carboxilo (COOH) se deprotoniza, confiriéndole una naturaleza aniónica (COO^-) [20]. Por otro lado, uno de los componentes principales de la cáscara de naranja es la pectina, que a su vez está compuesta por ácido poligalacturónico [14], el tratamiento para la cáscara de naranja utilizado en este trabajo se utiliza para extraer la pectina de ésta. Lo anterior podría explicar el comportamiento similar de los coagulantes naturales obtenidos.

3.4 Análisis de costos

El costo para producir 1 g de coagulante de nopal y de cáscara de naranja se calculó en \$5.90 y \$7.51 pesos mexicanos, respectivamente. Éste se calculó considerando que se tuviera que preparar suficiente coagulante para tratar el agua residual de la PPTAR por una semana (un caudal aproximado de $72 \text{ m}^3/\text{semana}$), si el coagulante se produjera a una mayor escala probablemente su costo disminuiría, haciéndolo más competitivo con el sulfato de aluminio.

La figura 9 presenta el costo de tratar 1 L de agua residual y de remover 1 g de SST en pesos mexicanos ajustando al pH óptimo para los coagulantes de nopal ($\text{pH} = 10$ unidades), de cáscara de naranja ($\text{pH} = 10$ unidades) y sulfato de aluminio ($\text{pH} = 5$ unidades).

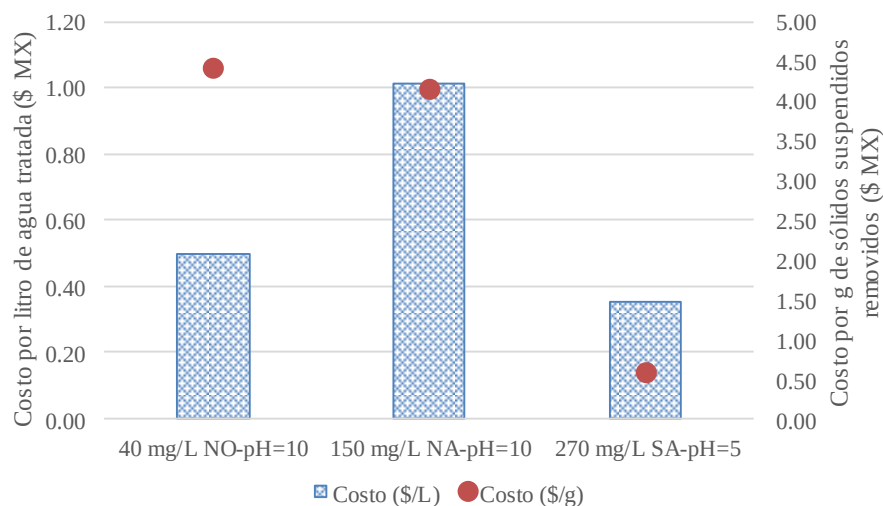


Figura 9. Costo, en pesos mexicanos, por tratar 1 L de agua residual (barras) y por remover 1 g de SST del agua residual (marcadores circulares). Notación: SA-sulfato de aluminio, NO-coagulante de nopal y NA-coagulante de cáscaras de naranja

En las figuras 10 y 11 se pueden observar los costos para tratar 1 L de agua residual o remover 1 g de SST en pesos mexicanos para las combinaciones coagulante de nopal-sulfato de aluminio y cáscara de naranja-sulfato de aluminio al pH del agua de la PPTAR. Considerando los resultados presentados en las secciones 3.2, 3.3 y el análisis de costos, la implementación del coagulante de cáscaras de naranja podría ser viable si se ajustara el pH del agua a tratar a 10 unidades, pero habría que considerar los problemas de corrosión que se deriven de trabajar a un pH básico.

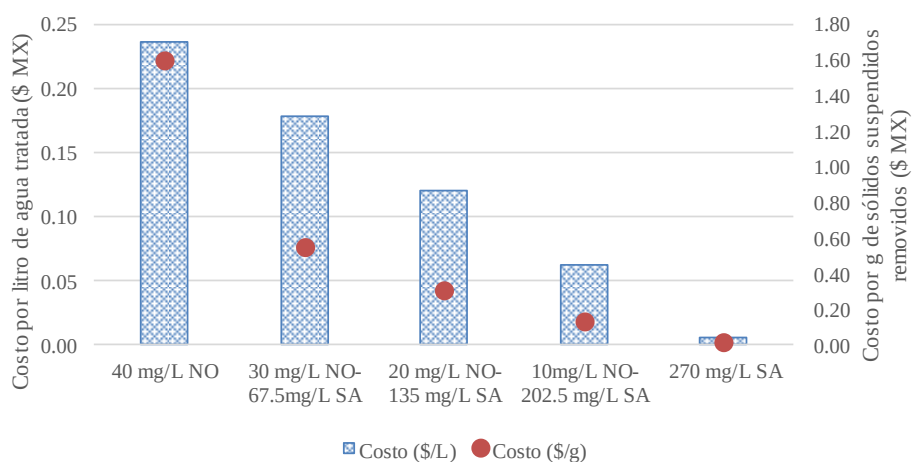


Figura 10. Costo, en pesos mexicanos, por tratar 1 L de agua residual (barras) y por remover 1 g de SST del agua residual (marcadores circulares) con diferentes combinaciones de la dosis cualitativa de coagulante de nopal (NO) y sulfato de aluminio (SA)

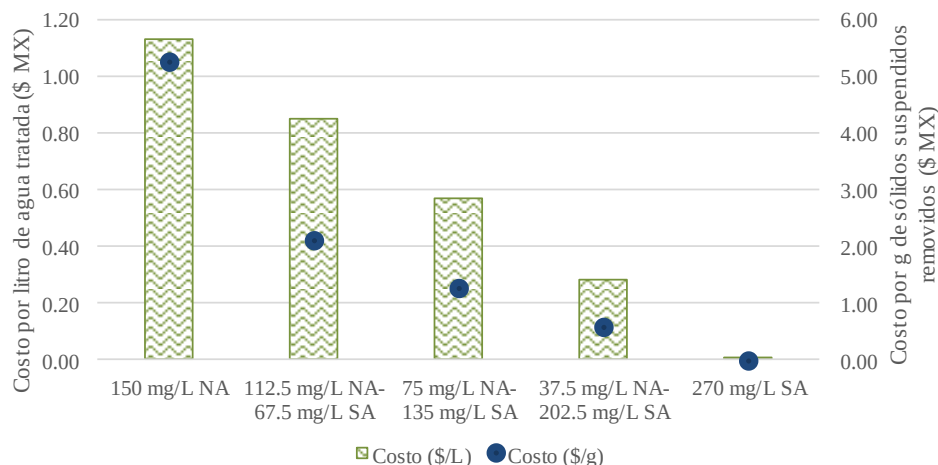


Figura 11. Costo, en pesos mexicanos, por tratar 1 L de agua residual (barras) y por remover 1 g de SST del agua residual (marcadores circulares) con diferentes combinaciones de la dosis cualitativa de coagulante de cáscaras de naranjal (NA) y sulfato de aluminio (SA)

4. Conclusiones

En este trabajo se estudió la valorización de la cáscara de naranja como coagulante en el tratamiento de aguas residuales. Se encontró que la remoción de turbidez, SST y color con el coagulante preparado a partir de las cáscaras de naranja depende en gran medida del pH del agua a tratar, con porcentajes de remoción cercanos al 70% para un pH de 10 unidades. Cuando el coagulante de cáscaras de naranja se utilizó en combinación con el sulfato de aluminio al pH del agua residual de la PPTAR (8 ± 0.5 unidades), la contribución del coagulante de naranja a la remoción de turbidez, SST o DQO es marginal. Por lo que para que fuese viable su implementación tendría que ajustarse el pH del agua a tratar a 10 unidades, lo que podría causar problemas de corrosión en el tren de tratamiento.

Se recomienda estudiar los mecanismos de remoción de los coagulantes naturales preparados a partir del nopal y de la cáscara de naranja, para identificar estrategias para su implementación y reducción de costos en la preparación.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, especialmente al responsable técnico Adán Pérez Alva.

Referencias Bibliográficas

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Citrus fruit fresh and processed. Statistical Bulletin 2016," *Mark. policy Anal. raw Mater. Hort. Trop. Prod. team*, p. 77, 2017.
- [2] SAGARPA, "Cítricos: limón, naranja y toronja mexicanos," *Planeación agrícola Nac. 2016-2030*, 2016.
- [3] Centro de investigación en alimentación y desarrollo A. C., "Determinación de la calidad de compuestos orgánicos en residuos de la naranja," *Fund. Prod. Sinaloa A. C.*
- [4] Becerra J.A., González L.M., y Villa A.L. (2018). "A bio-inspired heterogeneous catalyst for the transformation of limonene from orange peel waste biomass into value-added products," *Catal. Today*, vol.

302, pp. 250–260.

- [5] Munagapati V. S. y Kim D.-S. (2016) “Adsorption of anionic azo dye Congo Red from aqueous solution by Cationic Modified Orange Peel Powder,” *J. Mol. Liq.*, vol. 220, pp. 540–548.
- [6] Wikandari R., Nguyen H., Millati R., Niklasson C. y Taherzadeh M. J. (2015). “Improvement of Biogas Production from Orange Peel Waste by Leaching of Limonene,” *Biomed Res. Int.*, vol. 2015, pp. 1–6.
- [7] Shehzad K., Xie C., He J., Cai X., Xu W. y Liu J. (2018). “Facile synthesis of novel calcined magnetic orange peel composites for efficient removal of arsenite through simultaneous oxidation and adsorption,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 511, pp. 155–164.
- [8] CONAGUA. (2016), “Estadísticas del agua en México, Edición 2016,” Ciudad de México.
- [9] Miller S. M., Fugate E. J., Craver V. O., Smith J. A. y Zimmerman J. B. (2008). “Toward understanding the efficacy and mechanism of opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42, no. 12, pp. 4274–4279.
- [10] Velasco Pérez M., Labastida Núñez I., Beltrán Villavicencio M., Ochoa Aarón E. A., González Aragón A. (2017) “Coagulantes naturales en el tratamiento de agua residual municipal,” en *Memorias del 3er Congreso Nacional AMICA*, pp. 1–5.
- [11] Kakoi B., Kaluli J. W., Ndiba P. y Thiong’o G. (2016). “Banana pith as a natural coagulant for polluted river water,” *Ecol. Eng.*, vol. 95, pp. 699–705.
- [12] Velasco Pérez M., Beltrán Villavicencio M., Gutiérrez Alcaraz K. P. y González Aragón A. (2017) “Coagulantes Naturales como coadyuvantes en la clarificación de agua residual,” en *Memorias del 3er Congreso Nacional AMICA*, 2017, p. 5.
- [13] Vazquez Gonzalez O. “Extracción de coagulantes del nopal y aplicación en la clarificación de aguas residuales,” Universidad Autónoma de Nuevo León, 1994.
- [14] Muñoz Carpio J. C. “Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja ‘citrus cinensis’ pretratada,” Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2007.
- [15] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, “NMX-AA-008-SCFI-2000, Análisis de agua, Determinación del pH, método de prueba.” México, p. 38, 2000.
- [16] HATCH company, “Procedures manual colorimeter, suspended solids photometric method manual.”.
- [17] HATCH company, “Método 8000 Hatch, Demanda química de oxígeno,” in *Manual de análisis de agua*, 3a ed., Loveland, Colorado, 2000, pp. 182–189.
- [18] Gutiérrez Alcaraz K. P. “Tratamiento de aguas residuales con coagulantes naturales,” Proyecto de integración. Licenciatura en ingeniería química. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2016.
- [19] Abogado Ochoa E. A. “Coagulantes de origen natural para el tratamiento de aguas residuales,” Proyecto de integración. Licenciatura en ingeniería ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2017.
- [20] Yin C.-Y. (2010). “Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment,” *Process Biochem.*, vol. 45, no. 9, pp. 1437–1444.

Aislamiento de nanofibrillas de celulosa a partir de residuos sólidos orgánicos agrícolas para la producción de hilo que puedan sustituir a los hilos sintéticos

Ma. Neftalí Rojas-Valencia¹, Elsa Galeana-Olvera¹; Cristian Mendoza-Buenrostro², Juan Araiza Aguilar¹, Mabel Vaca Mier³

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería. Coordinación de Ingeniería Ambiental Edificio 5, cubículo 212. Avenida Universidad # 3000. Colonia Coyoacán, Distrito Federal, México. Tel. 55 52-56-23-36-00 ext. 8663. Autor correspondiente E-mail: nrov@pumas.iingen.unam.mx

²Centro de Innovación en Diseño y Tecnología, Tecnológico de Monterrey - Campus Monterrey, Av. Eugenio Garza Sada 2501, Monterrey 64849, México.

³Departamento de energía, Universidad Nacional Autónoma, Azcapotzalco Campus, México

Resumen

La industria agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos en la República Mexicana; en la industria del plátano se produce gran cantidad de residuos, ya que de la planta solo se aprovecha el fruto. En el caso del coco, sus residuos se generan como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas. El objetivo del presente trabajo fue obtener las nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de pinzote de plátano y fibra de coco, elaborando con ellas biomateriales que sustituyan a las fibras sintéticas en textiles. La metodología utilizada se dividió en dos fases: la primera se realizó el estudio de generación y muestreo en la central de abasto de la Ciudad de México, basándose en la normativa. En la segunda se trabajó para obtener las nanofibrillas de celulosa mediante método químico con NaOH. Las nanofibrillas obtenidas se disolvieron en acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-dimetilformamida; posteriormente mezclándose con PCL/acetona e introduciéndose en un equipo de electrospinning para obtener hilo. El estudio de generación demostró que en la central de abasto se generan hasta 6 toneladas diarias de residuos de pinzote de plátano y de 250 a 300 kg diarios de residuos de fibra de coco. En cuanto a la elaboración del hilo mediante electrospinning se mostraron mejores resultados de disolución en el 16% de peso de material. Se obtuvo el hilo a partir de un flujo de 5 mL/s, un voltaje de 18 Kv y distancia del colector de 20 cm.

Palabras Clave: *Coco, hilo, pinzote, nanofibrillas, textil*

2. Introducción

El presente trabajo expone la necesidad ambiental de recuperar, reutilizar y reciclar los residuos sólidos orgánicos agrícolas como son los residuos de plátano y coco que se generan como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas, y que por lo general son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan usos alternativos para dichos residuos [1].

En la industria platanera se produce una gran cantidad de residuos vegetales, ya que de la planta solamente se aprovecha el fruto y una vez cosechado la planta se desecha, teniendo que disponer de las demás partes de la misma: pseudotallo, hojas y pinzote o raquis (parte de la planta que sostiene los manojos de frutos). La producción anual de plátano en México es de alrededor de dos millones de toneladas, el racimo de frutos representa la quinta parte del peso de la planta, lo que da una idea de la enorme cantidad de residuos que se derivan de su producción. A pesar de que algunos de estos se aprovechan en diferentes formas, la gran mayoría todavía se desperdicia [2], las fibras de pinzote de plátano tienen la ventaja de provenir de un residuo agrícola que puede ser utilizado para obtener un hilo adecuado para ser tejido [2, 3],

Por otro lado, el caso del coco (*Cocos nucifera*), la fibra producida a partir del mesocarpio es considerado como un residuo el cual podría ser reutilizado tanto de forma artesanal como tecnológica, en este sentido el mesocarpio de coco ha mostraron una buena adsorción hacia los tintes aniónicos [4]. En México el área total de los estados productores de coco llega a sumar alrededor de 162 mil 224 hectáreas.

Los químicos como los colorantes y metales pesados utilizados en la industria textil causan problemas ambientales y de salud, los problemas ambientales mundiales asociados con la industria textil son típicamente los asociados con la contaminación del agua causada por la descarga de efluentes no tratados y los causados por el uso de productos químicos tóxicos, especialmente durante el procesamiento [5]. Otros problemas importantes son el consumo de agua y energía, los malos olores, los residuos sólidos, los ruidos y la generación de emisiones atmosféricas.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos negativos, en los últimos años se vienen desarrollando alternativas a las formas de producción convencionales para poder lograr productos textiles menos contaminantes.

Lo anterior conlleva a tomar en cuenta las técnicas biotecnológicas que recientemente se han desarrollado para el aprovechamiento de los residuos con el fin de reciclarlos y a su vez generar materiales de nueva generación como los que se han desarrollado en la escala de lo nanoscópico. En este caso particular cabe resaltar el de la nanocelulosa, ya que, por ser un material de origen vegetal con propiedades mecánicas y estructurales altamente resistentes, es considerado como una alternativa para disminuir el uso de materiales derivados del petróleo; ya que además es un material biodegradable y por lo tanto amigable con el ambiente.

Al ser un producto de origen natural, la nanocelulosa puede ser considerada como un compuesto amigable con el ambiente, es decir, que al final de su vida útil puede ser desechado sin daño alguno al ambiente; a este tipo de compuestos se le puede llamar “biocompuestos” o “compuestos verdes”.

Ya se han hechos estudios previos en relación a la composición química y usos de estos materiales, aunado a la gran cantidad disponible de residuos en los lugares de siembra y comercialización de ellos, los hacen ser una atractiva materia prima para la obtención de nanofibrillas de celulosa. Además del uso tradicional de las especies vegetales para la producción de papel, cartón, biocombustibles, entre otros; también se ha analizado la obtención de compuestos nanométricos para reemplazar materiales ampliamente usados, tales como las fibras sintéticas [1]. Con base en la información previamente consultada el objetivo de esta investigación se plantea a continuación.

2. Metodología

El procedimiento de obtención de nanofibrillas constó de tres pasos: pre-lavado del gabazo de coco y pinzote de plátano para reducir la cantidad de lignina, ceras y otras impurezas de la misma fibra, seguido de un tratamiento para blanquear las fibras pre-lavadas y finalmente se obtuvieron las nanofibrillas mediante una hidrólisis ácida.

2.3 Pre-lavado

Para la síntesis de nanocelulosa primero se llevó a cabo un pretratamiento de lavado, para lo cual fue necesario que el material a usar, en este caso el mesocarpio de coco, se secará, se triturrará y se cortara lo

más fino posible, para este primer paso se requirieron 100 g del material de interés, los cuales posteriormente se lavaron con agua destilada por 10 minutos, luego con agua a 50°C por 2 horas, después de filtrarse se repitió el proceso dos veces. Al residuo se le dispersó en 500 mL de solución NaOH 2% por 2 horas a 80°C, se filtró y lavo con agua destilada. El tratamiento con NaOH se repitió una vez más para mayor remoción de impurezas. Finalmente, las fibras resultantes se secaron a 50°C por 24 horas.

2.4 Blanqueamiento

En segundo lugar, 5 g del extracto obtenido se blanqueó con 150 mL de una solución de 1.5 g de clorito de sodio NaClO_2 y 8-10 gotas de ácido acético glacial a una temperatura entre 60 y 70°C, dicha mezcla se agitó en intervalos constantes de una hora y después se enfrió en una tina con hielo, filtrado y lavado nuevamente con agua. Al final la pasta obtenida se trató con una solución de ácido nítrico 0.05N por una hora a 70°C y tamizadas en una malla de tamizado de 120µm y posteriormente se realizó un lavado con agua.

A continuación, se realizó un tratamiento alcalino con una solución de NaOH 0.1M a 45°C por 3 horas. Seguido de esto se realizaron tratamientos sucesivos con H_2O_2 , en los porcentaje volumen siguientes: 0.5%, 1%, 2%, 3% a 45°C por 15 horas en total y un pH de 11.5. Seguido de esto se realizó un tratamiento alcalino con solución NaOH 10% m/v y $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 1% m/v a 28°C por 15 horas. Finalmente se realizó un tratamiento ácido con una solución de $\text{CH}_3(\text{COOH})$ 80% v/v y HNO_3 70% v/v en una relación 10:1 a 120°C por 15 minutos.

2.3 Hidrólisis ácida

Una vez terminado el pre-lavado y el blanqueamiento de las fibras, se llevó a cabo una hidrólisis ácida a partir de una solución de ácido sulfúrico concentrado al 64% durante 30 minutos a 45°C con agitación continua. Es importante hacer notar que entre mayor sea la proporción de nanofibrillas, mejor es la dispersión y estabilidad en un medio acuoso, en este caso la hidrólisis se realizó en una proporción de 1-10 g de pulpa por mL de ácido. Después de transcurrido el tiempo necesario para que la hidrólisis se llevara a cabo, la pulpa resultante se lavó y centrifugo durante 10 minutos a una velocidad de 10,000 rpm, obteniéndose así un precipitado. El precipitado resultante fue continuamente dializado con agua por 3 días hasta que se alcanzó un pH constante.

2.6 Caracterización de las nanofibrillas obtenidas

Se realizaron los análisis de microscopia electrónica de barrido en las nanofibrillas obtenidas en el paso anterior. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio Universitario de Microscopía Electrónica (LUME) del Instituto de Investigaciones de los Materiales de la UNAM.

2.7 Producción de hilo

Con el material obtenido de nanofibrillas de celulosa de pinzote de plátano y de fibra de coco, se procedió a la elaboración del hilo mediante el uso de equipo electrospinning y forcespinning, en el Centro de Innovación en Diseño y Tecnología (CIDyT) del ITESM.

Primero se determinó el porcentaje en peso entre 12 y 16% del material en cuestión (nanofibrillas de celulosa de pinzote de plátano y de fibra de coco) para diluir en una solución a base del líquido iónico acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-Dimetilformamida; durante 12 horas a 45°C y agitación continua.

Posteriormente, a esta disolución se le agregó el 99% en peso de una solución de PCL/Acetona y se dejó en agitación continua durante 3 horas a 45°C. La solución resultante se introdujo en una jeringa de 5 mL para utilizarse en el equipo de electrospinning; variando flujo, voltaje y distancia del colector para obtener el hilo deseado.

3. Resultados

3.1 Análisis de los residuos de plátano y coco y obtención de las nanofibrillas.

Como ya se mencionó en la metodología, para cumplir con el objetivo número 4, se realizaron análisis a los residuos de pinzote de plátano y de coco y posteriormente se realizó la obtención de las nanofibrillas a partir de estos residuos.

3.2 Análisis de los residuos.

Los resultados de los análisis de química proximal y de fracciones de la fibra en los residuos de coco y plátano se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente.

3.2.1 Análisis de fracciones de la fibra.

Tabla 1. Resultados en porcentaje de fracciones de la fibra de plátano

Fracción	Porcentaje
Fibra neutro detergente	64.28%
Contenido celular	35.72%
Fibra ácido detergente	48.09%
Hemicelulosa	16.19%
Celulosa	39.94%
Lignina	11.01%

Tabla 2. Resultados en porcentaje de fracciones de la fibra de coco

Fracción	Porcentaje
Fibra neutro detergente	81.36%
Contenido celular	18.64%
Fibra ácido detergente	70.80%
Hemicelulosa	10.56%
Celulosa	28.72%
Lignina	40.25%

El total de la fibra está contenido en el NDF (Fibra neutro detergente) o paredes celulares. Esta fracción contiene celulosa y lignina. El NDF suministra la mejor estimación del contenido total en fibra del residuo. De acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla 1 y 2, de plátano y coco respectivamente, el porcentaje de NDF es alto.

Por otra parte, la fibra ácido detergente (ADF) consiste principalmente de celulosa, lignina y hemicelulosa. Con estos análisis se puede observar que ambos residuos cuentan con un alto grado de ADF.

3.2.2 Análisis de química proximal.

Para el presente estudio, los elementos de interés de este último análisis es la cantidad de humedad y materia seca presente en los residuos. En las tablas 3 se pueden observar los resultados obtenidos de los residuos de plátano y coco respectivamente, en base húmeda, y en base seca a 90% y 100%.

Tabla 3 Resultados de química proximal de residuos de plátano y coco

Parámetro	B.H.	Base 90	Base 100
Pinzote de plátano			
Materia seca	6.38%	90.00%	100.00%
Humedad	93.62%	10.00%	0.00%
Fibra cruda	1.53%	21.56%	23.95%
Coco			
Materia seca	80.83%	90.00%	100.00%
Humedad	19.17%	10.00%	0.00%
Fibra cruda	28.33%	31.55%	35.05%

La humedad es la cantidad de agua que contiene el alimento; la diferencia entre el peso total del alimento y el contenido en agua se denomina materia seca. En materia seca y humedad se puede observar que los residuos de pinzote de plátano contienen mayor humedad que los residuos de coco. Los residuos de pinzote de plátano en su mayoría es agua, contando solo con un 6.38% de peso de materia seca y 93.62% en humedad.

3.4 Obtención de nanofibrillas de plátano

Se tomaron 300 gramos de residuos de pinzote de plátano cortados en secciones de 30 cm y posteriormente en fibras de 2 cm de largo como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Pinzote en secciones de 30 cm

Se desfibraron los pinzotes manualmente y se colocó la fibra obtenida en proceso de secado para posteriormente realizar el tratamiento alcalino para obtener celulosa con residuos de lignina y licor negro.

Seguido de esto se realizó un blanqueamiento para así obtener 3.96 g de celulosa de 100 g de plátano. Usando ciclos repetidos de centrifugación de 10 a 3500 rpm en una centrífuga refrigerada Avanti J-26S XPI se obtuvo 0.72 gramos de celulosa libre de lignina residual.

3.5 Obtención de nanofibrillas de coco

En la figura 3 se muestra la fibra de coco que se secó posteriormente a su triturado, ya que para iniciar todo el procedimiento experimental era necesario que la fibra tuviera un bajo contenido de humedad para facilitar la extracción de celulosa.



***Figura 3.** Fibra de coco seca*

3.6 Caracterización de las nanofibrillas obtenidas.

Se realizó un análisis morfológico de las nanofibrillas obtenidas por medio de microscopía electrónica de barrido. En la figura 4 se observa la primera muestra de nanofibras de plátano. Se puede observar que son fibras de aproximadamente 104 micras, conformadas por microfibras de un espesor de 4 micras, y éstas mismas se encuentran conformadas por fibras de un espesor aproximado de 500 nanómetros.

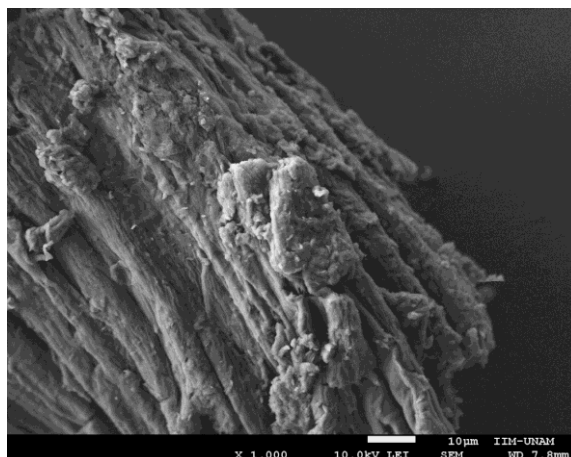


Figura 4. NFC Plátano II

Con respecto a la nanofibras de coco. Se pudo observar que es una fibra porosa conformada por fibras con un espesor entre 50 y 60 nanómetros. Teniendo la fibra compuesta un espesor de 875 nm aproximadamente.

3.7 Producción de fibras mediante electrospinning.

El material a electrohilar se disolvió completamente en la solución que se inyectora (solución de acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-Dimetilformamida), tanto en electrospinning como en forcespinning. Finalmente se combinaron las soluciones con una solución de PCL/Acetona que es usada para recubrir diferentes andamios 3D (ver figura 5).

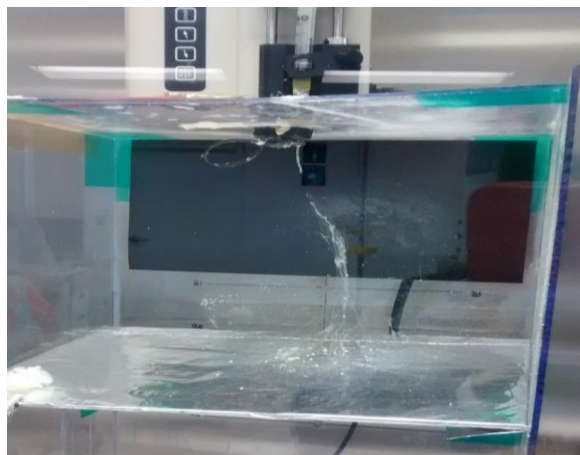


Figura 5 Fibra obtenida mediante electrospinning de solución plátano-PCL/Acetona

Las fibras obtenidas se analizaron posteriormente mediante microscopia electrónica de barrido para determinar su morfología. En la figura 6 se muestra la imagen de las fibras de PCL/Acetona para poder comparar el comportamiento de éstas con las de mezclas con el material de nanofibras de los residuos.

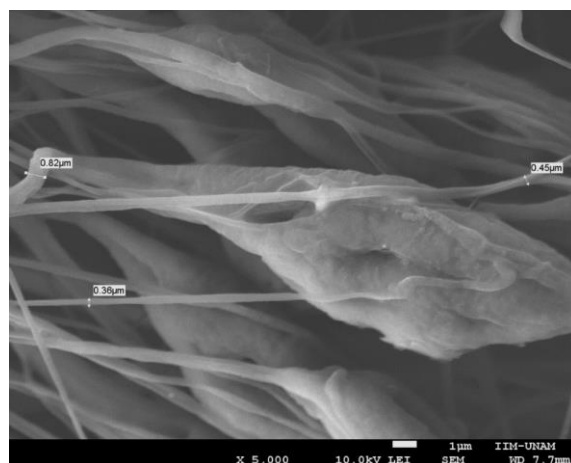


Figura 6. Fibras electrohiladas de PCL/Acetona

En la figura 6 se puede observar que las fibras tienen un espesor de entre 0.35 y 0.85 nanómetros, con algunas secciones más gruesas que se considerarían como los llamados “beads”.

En la figura 7 se muestra el comportamiento de la solución de coco al 14% en 99% de la solución de PCL/Acetona. Las nanofibrillas aquí observadas tienen un espesor de entre 1.065 a 5.540 µm.

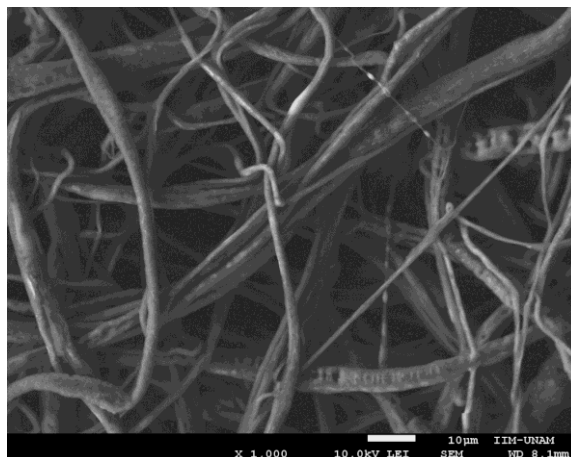


Figura 7. *Fibras electrohiladas de Coco al 14% y PCL/Acetona al 99%*

En la figura 8 se aprecian las fibras obtenidas a partir de la solución de plátano al 12% y solución de PCL/Acetona al 99% con un espesor de fibras de 2.24 y 5.60 μm .

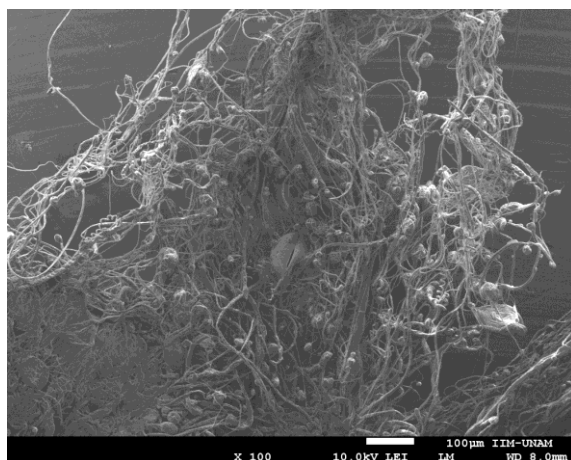


Figura 8. *Fibras electrohiladas de plátano al 12% y PCL/Acetona al 99%*

En la figura 10 se aprecian las fibras obtenidas por electrospinning de la solución al 14% de plátano y 99% de PCL/Acetona. El espesor de estas fibras es de 0.50 a 2 μm .

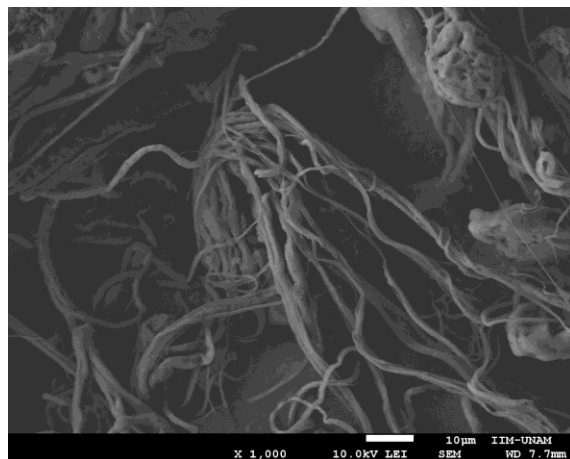


Figura 10. Fibras electrohiladas de plátano al 14% y PCL/Acetona al 99%

Por último, en la figura 11 se pueden observar las fibras obtenidas a partir de la solución de plátano al 16% y PCL/Acetona al 99%. Estas fibras tienen un espesor aproximado de 12.14 a 2 µm.



Figura 11. Fibras electrohiladas de plátano al 16% y PCL/Acetona al 99%.

4. Conclusiones

Tanto los residuos de pinzote de plátano como de coco tienen un amplio aprovechamiento, pero tiene mejores propiedades la fibra de coco debido a que es más resistente a la biodegradación y posee una durabilidad y tensión alta, comparada con otras fibras naturales. El aprovechamiento que se le dio en este estudio a estos residuos a la fecha nadie se lo ha dado.

El procedimiento de obtención de celulosa a partir de los residuos de fibra de coco es un proceso largo que requiere un adecuado control en las variables de temperatura y tiempo. La obtención de nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de plátano es un proceso más rápido y sencillo. En ambos procedimientos se obtuvo un rendimiento similar (17.75% en el caso del plátano, 17.34% en el coco), pero se considera que la obtención de las nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de pinzote de plátano es un proceso más factible y efectivo.

El hilo se obtuvo a partir de la técnica de electrospinning, utilizando una mezcla de dos soluciones. Se concluyó que la solución con mejor calidad fue la de 16% en peso, tanto en plátano como en coco.

En el estudio de factibilidad se concluyó que los residuos de pinzote de plátano y coco pueden efectivamente ser utilizados para la obtención de nanofibrillas de celulosa y de esta manera contribuir a disminuir el impacto ambiental, ya que se le estaría dando un reuso alternativo a casi 1, 783,006 toneladas de residuos generados en 1 año. Sin embargo, se debe destacar que el procedimiento de obtención de nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de pinzote de plátano presenta una mayor factibilidad debido a que se utiliza menor cantidad de reactivos químicos, horas hombre y cantidad de energía utilizada; y por lo tanto genera menor cantidad de residuos con respecto a la de coco. En cuanto al proceso de electrospinning como método para la fabricación del hilo, aunque es un método innovador y prometedor, no se considera factible para los fines de esta investigación; debido a su alto costo y requerimiento de energía y material disponible muy alto.

Referencias

- [1] Galeana-Olvera E, Rojas-Valencia M.N, Mendoza-Buenrostro C. (2017) Synthesis of Cellulose Nanofibrils from Banana Residues for the Production of Textile Fibers. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 4(11):108-113.
- [2] Galeana O.E. (2018) Aislamiento de nanofibrillas de celulosa a partir de residuos sólidos orgánicos agrícolas para la producción de biomateriales que puedan sustituir a las fibras sintéticas. Tesis de Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental, UNAM.
- [3] Ortega Z, Morón M, Monzón M, Badalló P, Paz R. (2016). Production of Banana Fiber Yarns for Technical Textile Reinforced Composites. *Journal List Materials (Basel)*. 9(5):370-380.
- [4] Monteiro MS, de Farias RF, Chaves JAP, Santana SA, Silva HAS, Bezerra CWB (2017) Wood (*Bagassa guianensis* Aubl) and green coconut mesocarp (*cocos nucifera*) residues as textile dye removers (Remazol Red and Remazol Brilliant Violet). *J Environ Manage*. 204(Pt 1):23-30. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.08.033
- [5] Khan S, Malik A. (2013). Environmental and Health Effects of Textile Industry Wastewater. Chapter from book Environmental deterioration and human health: Natural and anthropogenic determinants (pp.55-7). DOI 10.1007/978-94-007-7890-0_4

Evaluación del efecto del intemperismo acelerado y la exposición a termitas (*Nasutitermes corniger*), en el desempeño mecánico de compositos a base de HDPE reciclado y de residuos de madera de pino y de teca

^{1,2}Ricardo Herbé Cruz Estrada, ¹Edgar Zacarías Calderón, ¹Carlos Vidal Cupul Manzano

¹Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán, México. Teléfono: + (52) (999) 688 5329. E-mail: rhcruze@cicy.mx

²Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, 52227, Calimaya, México

Resumen

En este trabajo se reporta la obtención de materiales compuestos con residuos de madera y polietileno de alta densidad reciclado, formulados con partículas de madera de pino (MP) y de teca (MT), que se considera podría repeler el ataque de termitas (AT). Tanto MP, como MT son residuos de la industria forestal, por lo que este trabajo propone contribuir a solucionar el problema de la acumulación de residuos sólidos mediante su valorización. Se evaluó la efectividad de MT como un biopreservante contra AT en estos materiales, con uso potencial como elementos constructivos. Se utilizó un diseño experimental factorial 2^3 para evaluar los siguientes factores en el desempeño mecánico en flexión: (1) exposición a intemperismo acelerado (IA), (2) exposición a AT, y (3) contenido de MT (%MT). Se utilizó un ANOVA (nivel de significancia $p < 0.05$) para determinar qué factores fueron estadísticamente significativos. IA y AT por separado afectaron significativamente el módulo elástico (MOE), disminuyéndolo. Esto no ocurrió con %MT, cuyo efecto fue estadísticamente nulo. Sin embargo, la interacción entre AT y %MT (AT*%MT) sí tuvo un efecto significativo. Para el caso de la resistencia a la flexión, solamente IA fue significativo al nivel de significancia establecido. Sin embargo, a una significancia de 0.1, AT*%MT sí fue significativo, lo que se relaciona con lo ocurrido para el MOE. Por lo tanto, existió la siguiente tendencia: “La incorporación de MT ayudó a reducir la pérdida del MOE y la resistencia a la flexión, cuando los materiales fueron sometidos a AT”.

Palabras Clave: *Intemperismo acelerado, madera de pino, madera de teca, pruebas a flexión, termitas.*

1. Introducción

Los materiales compuestos (también conocidos como compositos), están conformados por una fase dispersa y una fase continua. Los materiales constituyentes mantienen sus identidades separadas en el composito. Sin embargo, su combinación produce propiedades y características que son diferentes de las de sus constituyentes originales [1] - [3]. La fase continua, que también es llamada matriz, soporta y mantiene el arreglo geométrico de la fase dispersa y además le transmite las cargas que actúan sobre el composito [2]. La fase dispersa se puede presentar en forma de fibras o partículas [1], [4], y dependiendo de sus propiedades será la función que tenga en el composito, ya sea como refuerzo o para impartir una propiedad específica final al material compuesto. Estos materiales pueden clasificarse en función del tipo de matriz, que puede ser polimérica, metálica o cerámica; o según la geometría de la fase dispersa, que pueden ser fibras, partículas, hojuelas o “whiskers” [3], [5]. En esta investigación se trabajó con compositos de matriz polimérica, específicamente con compositos de madera y plástico (WPC por sus siglas en inglés, es decir *Wood-plastic composites*). Los WPC forman parte de los compuestos en la que la fase dispersa son fibras o partículas de madera [5]. Los polímeros usados en un WPC pueden ser termoplásticos y deben de cumplir con la condición de que su punto de fusión o reblandecimiento debe ser inferior al punto de degradación

térmica de la madera (200 – 220°C), por lo cual solamente algunos, tales como el polietileno de alta (HDPE) y baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y polivinilos (e.g., PVC) pueden ser empleados [6], [7]. El estudio de los WPC genera interés debido a que su fabricación puede llevarse a cabo a partir de residuos, tales como los plásticos de reciclaje y del material lignocelulósico residual, obtenido de procesos de la transformación primaria de la madera. En México, de acuerdo con Gutiérrez-Avedoy [8], los plásticos conformaban el 4% de los residuos sólidos totales en 2004. De igual modo, se estima que en México hay 1,250 aserraderos instalados, los cuales tienen un coeficiente de aserrío (relación entre los productos aserrados y la madera rolliza), inferior al 60% [9], el 100% es completado por subproductos como la costera, desorilles, leña y aserrín. Al igual que la madera, los WPC también son susceptibles a la degradación biótica causada por insectos y hongos [10], [11]. Sin embargo, debido al encapsulamiento parcial de la madera por el plástico en el compuesto, el daño causado por estos agentes de biodeterioro es menos significativo comparado con el daño que sufre la madera sólida [12]. Existen diversas sustancias químicas que han sido usadas como agentes preservantes en la madera. Sin embargo, algunas de ellas son tóxicas. Sustancias como el pentaclorofenol, la creosota o las sales CCA (Cromo-Cobre-Arsénico), ya han sido prohibidas por la legislación de algunos países [13] - [15]. Por otro lado, existen biocidas amigables tanto para el hombre como para el medio ambiente, como los compuestos a base de Boro. Los tratamientos a base de Boro son eficaces contra hongos y termitas y además protegen la madera contra el fuego, actuando como un retardante de flama [16], [17]. Otro enfoque para disminuir la degradación biótica en los WPC se relaciona con la durabilidad natural intrínseca de la madera, la cual varía de especie a especie, e inclusive en las diferentes zonas de un mismo árbol [13], [14]. Para entender la durabilidad natural de la madera se deben distinguir sus partes anatómicas: el duramen y la albura. El duramen es la zona del árbol que ya no interviene en los procesos de alimentación y transporte de nutrientes y solamente funge como elemento estructural en los árboles. Sin embargo, puede contener sustancias ocluidas (extraíbles) en las células que le proveen durabilidad natural a la madera [13], [18]. Por el contrario, la albura es la parte de la madera que realiza las operaciones del transporte de agua y nutrientes en el árbol [18], y es más susceptible al ataque de agentes bióticos (hongos e insectos) [13]. La madera de teca (*Tectona grandis* L.f.) es conocida por su durabilidad natural contra el ataque de hongos [19] y termitas [20] - [22], gracias a la presencia de ciertos compuestos químicos presentes en esta especie. De acuerdo con Thulasidas y Bhat [20], la propiedad insecticida de la madera de teca se debe a la presencia de tectoquinona (2-metilntraquinona). Este trabajo prevé el uso de la madera de teca como relleno y biopreservante en un compuesto de madera de pino y polietileno de alta densidad reciclado, para aumentar la resistencia a la biodegradación ocasionada por termitas.

2. Metodología

2.1 Materiales

Matriz polimérica: se empleó polietileno de alta densidad reciclado (HDPE-r), proveniente de cubetas blancas inyectadas de 19 litros de capacidad, a las que se les retiraron las impresiones con un cúter. Dichas cubetas se cortaron utilizando una sierra cinta marca ChunLin modelo MJ344N. Posteriormente, los pedazos fueron procesados en un molino Pagani, modelo 2030 y después en un molino Brabender (TIPO 880804), con cuchillas rotacionales, usando una criba de 1 mm.

Residuos de madera de pino (*Pinus* sp.): fueron proporcionados por la empresa “Maderas Bajce S.A. de C.V.” (Dichos residuos estaban en forma de aserrín, proveniente del dimensionado de tablas en una sierra radial. Se utilizarán los residuos sin ningún tratamiento previo, tal como los proporcionó la empresa. En el texto se referirán como MP. Con la finalidad de determinarles el contenido de humedad, los residuos fueron inicialmente secados a la intemperie y posteriormente se les eliminó el exceso de humedad, utilizando una estufa de convección forzada, a una temperatura aproximada de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 h, de acuerdo a la norma ASTM D4442-92 [23]. Posteriormente, se redujo el tamaño de partícula empleando un molino de cuchillas marca Pagani, modelo 2030 con una criba de 2 mm. Luego se continuó la molienda en un molino

Brabender TIPO 880804, con una criba de 1 mm, para finalmente clasificar la harina de madera haciendo uso de un tamizador marca Rotap (W.S. TYLER, INCORPORATED), modelo RX-29. Se decidió utilizar el material que pasó por la malla 30, pero que fue retenido en la 40.

Residuos de madera de teca (*Tectona grandis*): fueron proporcionados también por una empresa. Los residuos fueron secados primeramente a la intemperie, con la finalidad de reducir su contenido de humedad, para después continuar el secado con la ayuda de una estufa de convección forzada a una temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 h. Los residuos fueron primeramente molidos en un equipo Pagani modelo 2030, empleando una malla de 2 mm, para después continuar la molienda en un molino Brabender TIPO 880804, con una criba de 1 mm. El material molido fue entonces clasificado de igual modo que MP, siendo colectado el material retenido en la malla 40. Estos residuos se referirán en el texto como MT.

Agente acoplante (AC): se empleó “Polybond 3029” (. Dicho material es HDPE injertado con anhídrido maleico (MAPE), el cual es recomendado para los WPC, debido a que reduce la absorción de agua y eleva las propiedades mecánicas. Este aditivo tiene un índice de fluidez (MFI) a 190°C y 2.16 kg de 4.0 g/10 min. Se considera que tiene un contenido alto de anhídrido maleico de entre 1.5 y 1.7%, además de una densidad de 0.95 g/cm^3 y un punto de fusión de 130°C . Para su procesamiento el aditivo fue molido en un equipo Brabender (TIPO 880804) de cuchillas rotacionales, empleando una criba de 1 mm.

Ayuda de proceso (AP): se utilizó Struktol TPW 113 (Struktol Company of America, Cuyahoga Falls, OH, USA). Fue empleado para facilitar el procesamiento de los WPC mediante extrusión. El Struktol es una mezcla compleja de ésteres de ácidos grasos modificados, diseñado para proveer un mojado superior del relleno y una mejor dispersión en sistemas poliméricos, siendo recomendado para los sistemas de poliolefinas reforzadas con madera. Este aditivo tiene una gravedad específica de 1.005 y un punto de goteo de $70\text{--}88^{\circ}\text{C}$. Al igual que el Polybond, el Struktol fue también molido en el equipo Brabender TIPO 880804, empleando una criba de 1 mm.

2.2 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental 2^3 , con repeticiones en el centro para analizar el comportamiento mecánico a flexión de los composites, en función de los siguientes factores: 1) días de intemperismo acelerado; 2) días de exposición a termitas (*Nasutitermes corniger*); 3) contenido de partículas de madera de teca con base en la madera total en el composite. De esta forma se pudo evaluar los efectos individuales o combinados de los factores. La Tabla 1 ilustra los niveles y factores empleados, mientras que en la Tabla 2 se presenta la matriz del diseño experimental.

Tabla 1. Factores y niveles del diseño experimental

Factores	Nivel bajo	Punto intermedio	Nivel alto	Unidad de medida
Intemperismo Acelerado (IA)	0	15	30	Días
Exposición a Termitas (AT)	0	15	30	Días
Concentración de partículas de madera de teca (%MT)	0	25	50	% en peso con respecto al % total de partículas de madera (MP y MT)

El diseño factorial 2^3 con repeticiones en el centro consiste de un total de 11 experimentos. En la Tabla 2 se presenta la matriz del diseño con los experimentos aleatorizados.

Tabla 2. Matriz de diseño con valores para cada factor

Experimentos	Factores		
	IA	AT	%MT
1	30	30	50
2	30	0	50
3	30	0	0
4	0	30	50
5	0	0	0
6	0	30	0
7	15	15	25
8	30	30	0
9	15	15	25
10	15	15	25
11	0	0	50

Se fabricaron 10 probetas por experimento. Las variables de salida que se evaluaron fueron el módulo de elasticidad (MOE) y la resistencia a la flexión. Los resultados obtenidos de la experimentación fueron cargados al software Minitab 17 para realizar un análisis de varianza (ANOVA), de una vía con un nivel de significancia $p < 0.05$.

2.3 Elaboración de los compositos

Primero se mezclaron MT y MP, de acuerdo a la composición del experimento en cuestión, junto con AP. Posteriormente se añadió AC. Esta pre-mezcla y el HDPE-r fueron secados en una estufa de convección forzada a 103 ± 2 °C por 24 h. El mezclado se llevó a cabo en una mezcladora de cintas marca Intertécnica, modelo ML-5 por 4 minutos. Durante ese mezclado se añadió el HDPE-r a la pre-mezcla de harina de madera (MP y MT), AP y AC. La Tabla 3 presenta la composición de las mezclas.

Tabla 3. Composición de las mezclas preparadas

Mezcla	MP (% en peso)	HDPE-r (% en peso)	MT (% en peso)
1	40	60	0
2	30	60	10
3	20	60	20
Nota: las mezclas contienen 5% en peso de AC y 3% en peso de AP con respecto a la composición total.			

Para el procesamiento de las mezclas se utilizó un extrusor doble-husillo modular Brabender, modelo TSE 20/40, acoplado a un reómetro de torque (Intelli-Torque Plasti-Corder®). El extrusor fue alimentado por un

dosificador doble-husillo Brabender, modelo DDSR20-5, al cual se le colocaron 500 g de la mezcla. Se procesaron las mezclas a una temperatura de 180°C en todas las zonas del extrusor. La velocidad de rotación de los husillos fue de 15 rpm. Se empleó un dado de extrusión de 3 mm de diámetro interno, a una temperatura de 180°C, con la finalidad de obtener los compositos en forma de varilla. Finalmente, el material fue pelletizado, empleando un equipo CW-Brabender modelo 12-74-000.

2.4 Elaboración de probetas para la caracterización mecánica

Las probetas fueron elaboradas con el material “pelletizado” de cada mezcla extrudida. El método empleado fue moldeo por compresión. Para obtener las probetas se siguió lo descrito en la norma ASTM D790 [24]. Un molde de sección transversal rectangular de aproximadamente 26 pulgadas cuadradas de área fue llenado con alrededor de 75 g de pellets y comprimido por una prensa Carver modelo C, serie 29000-035. El molde fue recubierto con láminas de Maylar, que fungió como agente desmoldante. Los pellets fueron inicialmente colocados cuando la temperatura de los platos marcaba 100 °C, de ahí se calentó hasta los 150 °C y se mantuvo dicha temperatura por un minuto. Posteriormente se aplicaron 39649 N (8900 lbf) de compresión por 4 minutos, manteniendo la misma temperatura que en el precalentamiento. El enfriamiento se llevó a cabo empleando agua corriente y manteniendo la fuerza de compresión hasta que se alcanzó la temperatura ambiente. Las placas obtenidas fueron cortadas con una sierra circular marca Craftsman, modelo 315.220100. Posteriormente, fueron rectificadas con una pulidora de disco, marca Struers LaboPol-5, empleando en primer lugar una lija ALO X-86 (40) y seguidamente una lija C-99 (180), hasta que los especímenes alcanzaron 127 x 13 x 3.7 mm (largo, ancho, espesor) (Figura 1).

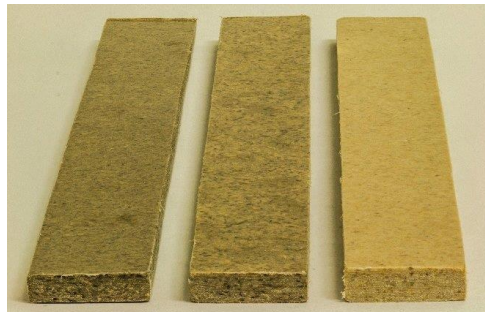


Figura 1. Probetas para ensayos a flexión: MT-MP 20:20:60 HDPE-r (izq.), MT-MP 10:30:60 HDPE-r (centro) y MP 40:60 HDPE-r (der.)

2.5 Exposición a intemperismo acelerado

Se emplearon como referencia las normas ASTM D4329 y G154 [25], [26]. El equipo utilizado fue una cámara de intemperismo acelerado Q-Panel modelo QUV/SE. Se simuló el efecto de la radiación ultravioleta del ambiente natural, haciendo uso de lámparas fluorescentes UVB-313 y la condensación de agua sobre la superficie expuesta de las probetas. El ciclo empleado consistió en 8 h de radiación UV a 60 °C y una irradiación de 0.77 W/m²/nm, seguido de 4 h de condensación a 50 °C, por 15 y 30 días de acuerdo al diseño experimental. Se tuvo un tiempo total de intemperismo acelerado de 360 h para los puntos centrales y 720 h para aquellos experimentos que requirieron 30 días de exposición.

2.6 Exposición a termitas

Se siguió la norma ASTM D 3345 [27] como referencia. Se acondicionaron recipientes de polipropileno de 41 x 25 x 14 cm³ (12.6 L), donde se llevó a cabo el experimento (Figura 2). Éstos fueron lavados y después se les aplicó una solución antiséptica de cloruro de benzalconio para esterilizarlos, dejándolos reposar por

24 h. Como sustrato se empleó arena, la cual fue lavada y se le retiró cualquier materia orgánica que pudiera contener, posteriormente se colocó en una estufa de convección a 80 °C por 72 h. De acuerdo a la norma de referencia, se calculó el punto de saturación de este sustrato, ya que la norma indica que debe mantener un contenido de humedad constante durante el experimento. Se añadieron 1.72 kg de la arena lavada, esterilizada y seca a cada caja, a las que posteriormente se le añadieron 480 mL de agua desionizada. Dichas cajas se dejaron acondicionar por un día y posteriormente se añadieron las probetas, las cuales habían sido previamente secadas a 80 °C por 24 h. Las probetas fueron pesadas en una balanza analítica y posteriormente se dejaron a las condiciones del laboratorio (~ 27-29 °C y 70-80 % de humedad), por 24 h antes de la exposición a las termitas. Las termitas fueron colectadas en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán. El termitero del tipo arbóreo se ubicó en las coordenadas 21°07'54.08" N y 86°46'44.14" O. Las termitas fueron inicialmente identificadas por comparación bibliográfica, llegando a la conclusión de que fueron termitas arbóreas (*Nasutitermes corniger*). Entonces, se procedió a la exposición de las probetas al ensayo biológico con esos organismos. Se añadieron 5 g de termitas a cada caja de los experimentos, en una proporción aproximada de 60:40 (obreras:soldados). Como medida de seguridad, se colocaron charolas con agua para evitar que las termitas escaparan.



Figura 2. Vista del sistema empleado para el experimento con termitas

2.7 Evaluación de las propiedades mecánicas

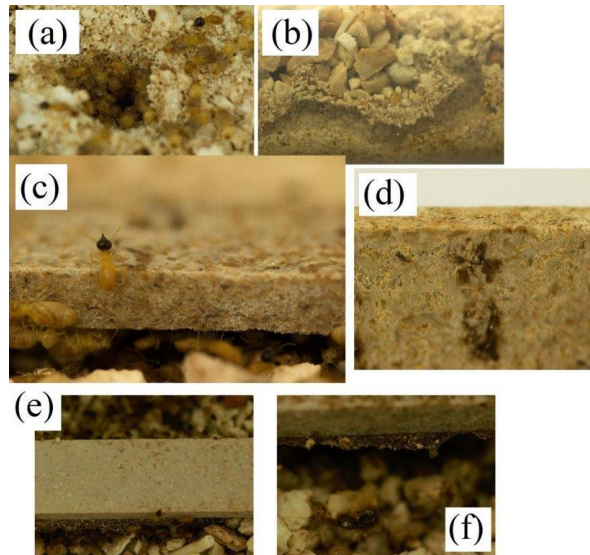
Para determinar las propiedades mecánicas a flexión, se siguió como referencia lo establecido en la norma ASTM D790-15 [24], empleando una máquina de pruebas universales mini-Shimadzu modelo AGS-X, con una celda de carga de 1000 N y una velocidad de cabezal de 1.65 mm/min. Previo a la caracterización mecánica, se acondicionaron las probetas por 40 h a 25°C. Se probaron 10 probetas por cada experimento. Los parámetros medidos fueron el módulo de elasticidad (MOE) y la resistencia a la flexión.

3. Resultados

3.1 Exposición a termitas de las probetas de flexión

Al finalizar la primera semana, virtualmente todas las termitas permanecían vivas, lo que corroboró su vigorosidad. En la mayoría de las cajas, las termitas se colocaron en la zona más alejada de la luz y se posicionaron debajo de las probetas, dicho comportamiento responde a su carácter lucífugo. En la caja que contenía las probetas MT:HDPE-r (TCI), las termitas mostraban actividad esporádica y solamente se posicionaron debajo de dos probetas. En las demás cajas (experimentos 1, 4, 6, 7, 8, 9, y 10), las termitas se apreciaban más activas, moviéndose entre las diferentes probetas. En la mayoría de las cajas se percibió la formación de túneles, lo cual es también un signo de la vigorosidad de las termitas (Figuras 3a y 3b). A los 13 días del experimento, prácticamente todas las termitas habían muerto en el experimento de referencia TCI, siendo una de las causas probables la toxicidad y/o repelencia que la madera de teca tiene contra estos

insectos y que evitó que las termitas se alimentaran de las probetas, muriendo de inanición. Se observó que las termitas atacaron principalmente las zonas que habían sido expuestas al intemperismo acelerado y los bordes de las probetas (Figuras 3c y 3d). Otra observación importante, fue la capacidad de adaptabilidad que tuvieron algunos grupos de termitas, sobre todo en los experimentos 8 y 10, donde se apreció la



formación de lo estructuras, lo que podrían ser indicios de la formación de un termitero,, tal como lo muestra las Figura 3e y 3f.

Figura 3. Formación de túneles (a y b). Zonas atacadas en el ensayo (c y d). Indicios de formación de termitero en los experimentos 8 (e) y 10 (f)

3.2 Ensayos mecánicos a flexión

Los resultados para cada experimento del diseño experimental se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resistencia a la flexión y al MOE para pruebas sometidas a los distintos tratamientos planteados en el diseño experimental

Experimentos	IA	AT	%MT	MOE (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)
1	30	30	50	1191.92	20.37
2	30	0	50	1280.96	19.81
3	30	0	0	1434.29	23.31
4	0	30	50	1532.79	24.88
5	0	0	0	1771.14	24.64
6	0	30	0	1346.14	23.70
7	15	15	25	1179.63	21.17
8	30	30	0	968.98	19.71

9	15	15	25	1197.34	21.38
10	15	15	25	1259.01	22.31
11	0	0	50	1689.87	23.92

Los resultados del ANOVA para el MOE se presentan en el cuadro de la Figura 4.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	565472	70684	40.71	0.024
Lineal	3	433096	144365	83.14	0.012
IA	1	267833	267833	154.25	0.006
AT	1	161435	161435	92.98	0.011
% MT	1	3827	3827	2.20	0.276
Interacciones de 2 términos	3	52129	17376	10.01	0.092
IA*AT	1	96	96	0.06	0.836
IA*% MT	1	160	160	0.09	0.790
AT*% MT	1	51873	51873	29.88	0.032
Interacciones de 3 términos	1	1468	1468	0.85	0.455
IA*AT*% MT	1	1468	1468	0.85	0.455
Curvatura	1	78780	78780	45.37	0.021
Error	2	3473	1736		
Total	10	568945			

Figura 4. ANOVA del MOE

Como puede observarse, los factores que mostraron ser estadísticamente significativos para $p < 0.05$ fueron IA, AT y la interacción entre AT y %MT (AT*%MT). Se observó una pérdida en el MOE por efecto del IA y del AT, así como un poco o nulo efecto al incorporar MT a la mezcla del material compuesto. Esto puede apreciarse con claridad en la Figura 5, correspondiente a los gráficos de los efectos principales.

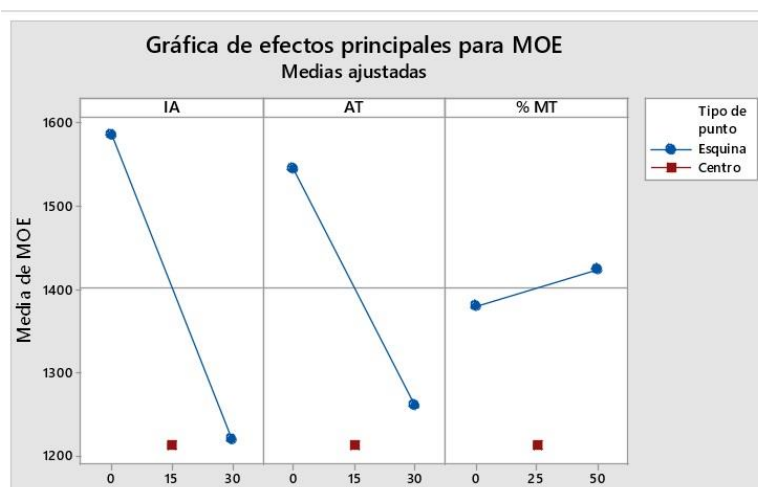


Figura 5. Gráfica de efectos principales para el MOE

Se ha reportado que la degradación superficial de un WPC por causa del IA, resulta en la aparición de grietas que corresponden a los rompimientos de cadena de la matriz polimérica. Este fenómeno se debe al proceso de degradación, mediante las reacciones de Norrish del polietileno. Dicha aparición de grietas contribuyó al decaimiento del MOE en los materiales compuestos sometidos a IA. En el caso de la reducción del MOE por el AT, es de llamar la atención que este factor lo afecte de forma individual, pues se ha considerado que las partículas de madera, que son el alimento de las termitas, están parcialmente encapsuladas por la matriz polimérica. Se propone que el agrietamiento ocasionado por el IA propició que las termitas alcanzaran de

una forma más fácil su alimento. Sin embargo, esta combinación de factores podría no ser la causa de la disminución del MOE, siendo que la interacción de estos dos factores (IA y AT), no fue estadísticamente significativa. La caída del MOE se podría atribuir a otros factores que ocurrieron durante la experimentación con las termitas, tales como los fenómenos de absorción-desorción, debido al ambiente húmedo en el que se llevó la prueba, que a su vez fueron potenciados por los daños que los insectos causaron en los WPC, dejando expuestas otras zonas a la humedad del ambiente. Se ha demostrado que la humedad influye en la pérdida de las propiedades mecánicas. El hecho de que AT*%MT fuera estadísticamente significativa, significa que la incorporación de madera de teca al compuesto, reduce de manera significativa la pérdida del MOE por el ataque de termitas, lo cual puede deberse al efecto preservante que la teca está brindando al material compuesto, evitando o limitando el daño que los insectos ocasionarían a un WPC que no contuviera teca, es decir solamente MP: HDPE-r. Lo anterior confirmaría que el efecto preservante de MT se mantiene después del procesamiento, al cual los materiales fueron sometidos, y que además ayuda a que un material compuesto que contenga una mezcla de MP y MT, sea menos susceptible al daño biológico por termitas del género *Nasutitermes* y por tanto evite la caída del MOE. La forma por la cual la madera de teca protege estos materiales, podría deberse a la presencia de sustancias con acción biocida/preservante, tales como el 4', 5'-dihidroxiiepiscatalponol, la tectoquinona (2-metilantraquinona), y otras sustancias del grupo de las quinonas, que han sido identificadas como posibles indicadores de la alta durabilidad biológica de la madera de teca. Otro factor con el cual la incorporación de MT habría contribuido en una menor pérdida del MOE por el AT, es la presencia de sustancias hidrófobas como son las gomas que redujeron la absorción de humedad, y que evitaron que los materiales sufrieran pérdidas pronunciadas en el MOE por los procesos de absorción, que presuntamente causaron la pérdida de tal propiedad mecánica.

Los resultados del ANOVA para la resistencia a la flexión se presentan en el cuadro de la Figura 6.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	35.8259	4.4782	12.14	0.078
Lineal	3	26.1926	8.7309	23.67	0.041
IA	1	24.3431	24.3431	65.99	0.015
AT	1	1.1408	1.1408	3.09	0.221
% MT	1	0.7087	0.7087	1.92	0.300
Interacciones de 2 términos	3	7.1453	2.3818	6.46	0.137
IA*AT	1	1.1752	1.1752	3.19	0.216
IA*% MT	1	1.3615	1.3615	3.69	0.195
AT*% MT	1	4.6086	4.6086	12.49	0.072
Interacciones de 3 términos	1	0.6389	0.6389	1.73	0.319
IA*AT*% MT	1	0.6389	0.6389	1.73	0.319
Curvatura	1	1.8491	1.8491	5.01	0.155
Error	2	0.7378	0.3689		
Total	10	36.5637			

Figura 6. ANOVA de la resistencia a la flexión

En la Figura 6 se observa que solamente IA acelerado resultó ser significativo al nivel de significancia establecido. Lo anterior se corrobora en la gráfica de efectos principales (Figura 7), donde se aprecia claramente la pérdida de la resistencia a la flexión en función de IA. Dicha pérdida es atribuible a los diferentes fenómenos que ocurren simultáneamente en los WPC durante el IA. El primero es el efecto de la radiación UV, que causa la formación de radicales libres por la degradación de la matriz polimérica, así como también por la despolimerización de la lignina, que eventualmente ocasionaron la formación de grietas en la superficie expuesta al IA. El segundo fenómeno es el efecto de la condensación llevada en la superficie expuesta, que promovió la absorción de humedad por parte de las partículas de madera superficiales, y las que quedaron expuestas por el agrietamiento causado por la radiación UV en la matriz. Además, debido al ciclo de IA empleado, donde la mayor parte fue la exposición a la radiación UV a 60°C, también ocurrieron fenómenos de desorción que ocasionarían daños en la interfase entre el relleno y la matriz, logrando así una mayor pérdida en la resistencia.

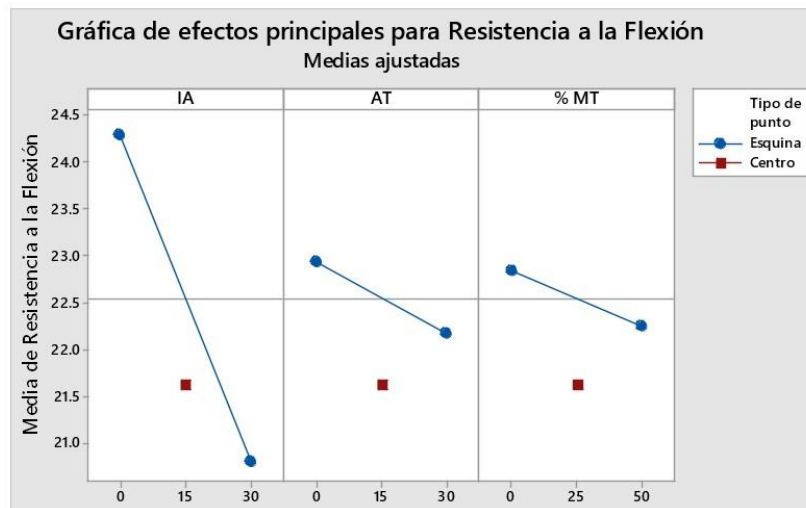


Figura 7. Gráfica de efectos principales para la resistencia a la flexión

Si bien es cierto que para $p < 0.05$ el ANOVA no mostró que las interacciones de segundo y tercer grado fueran estadísticamente significativas, para $p < 0.1$, $AT * \%MT$ sí lo sería. Esto tiene una relación con lo encontrado en el MOE, donde tal interacción sí fue significativa, estableciendo una tendencia: “la incorporación de MT también ayuda a reducir la pérdida de resistencia a la flexión, cuando estos materiales son sometidos a AT”.

4. Conclusiones

Se concluye de este estudio que la incorporación de madera de teca ayudaría a reducir las propiedades mecánicas en flexión (módulo elástico y resistencia), de un material compuesto con residuos de madera de pino y polietileno de alta densidad reciclado, cuando estos materiales fueron sometidos al ataque de termitas y a intemperismo acelerado. El intemperismo acelerado y el ataque de termitas por separado tuvieron un efecto estadísticamente significativo. No así el contenido de madera de teca. Sin embargo, la interacción entre el ataque de termitas y el contenido de madera de teca sí tuvo un efecto significativo.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán, a través del Proyecto Iniciativa clave UMT-2016-0009, “Análisis de la degradación biótica y abiótica de materiales compuestos con residuos lignocelulósicos y termoplásticos de reciclaje”. De igual forma se agradece el apoyo brindado por la Red Temática de Intemperismo de Materiales Plásticos (REDINMAPLAS).

Referencias Bibliográficas

- [1] Mallick P. K. (1997) *Composites Engineering Handbook*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- [2] Gay D. (2015) *Composite Materials: Design and Applications*. Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton.
- [3] Kumar, V. (2014) *Green composites from natural resources*. Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton.

- [4] Callister W., and Rethwisch D. (2014) *Materials science and engineering: An introduction*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [5] Stokke D. et al. (2014) *Introduction to wood and natural fiber composites*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
- [6] Laboratory, U. F. S. F. P. (2010) *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Forest Products Laboratory, Madison.
- [7] Ansell M. (2015) *Wood Composites*. Elsevier Ltd., Cambridge.
- [8] Gutiérrez-Avedoy V. (2006) *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*. Instituto Nacional de Ecología.
- [9] Torres-Rojo J. (2004) *Estudio de Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal en América Latina*. S. d. M. A. y R. N. d., (ed.), FAO, Roma.
- [10] Lopez-Naranjo, E. J., et al. (2014) "Termite resistance of wood-plastic composites treated with zinc borate and borax". *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 29, 281-293. Doi: 10.1177/0892705714563343.
- [11] Fabiyi, J. S., et al. (2011) "Effects of wood species on durability and chemical changes of fungal decayed wood plastic composites". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42, 501-510. Doi: 10.1016/j.compositesa.2011.01.009.
- [12] Klyosov, A. (2007) *Wood-Plastic Composites*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [13] Richardson, B. (2003) *Wood Preservation*. Taylor & Francis, London.
- [14] Walker, J. C. F. (2006) *Primary Wood Processing*. Springer Netherlands.
- [15] Cheremisinoff, N. R. and Rosenfeld, P. (2010) *Handbook of Pollution Prevention and Cleaner Production: Best Practices in the Wood and Paper Industries*. Elsevier, Oxford.
- [16] Gentz, M. C. and Grace, J. K. (2006) "A review of boron toxicity in insects with an emphasis on termites". *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 23, 201-207.
- [17] Ahmed, B. M., French, J. R. J., and Vinden, P. (2004) "Evaluation of borate formulations as wood preservatives to control subterranean termites in Australia". *Holzforschung*, 58, 446-454. Doi: 10.1515/HF.2004.068.
- [18] Hon, D. N. and Nobuo, S. (2001) *Wood and Cellulosic Chemistry*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- [19] Bhat, I. U., Khalil, H. P. S. A., Shuib, N. S., et al. (2010) "Antifungal activity of heartwood extracts and their constituents from cultivated tectona grandis against *Phanerochaete chrysosporium*". *Wood Research*, 55, 59-66.
- [20] Thulasidas, P. K., and Bhat, K. M. (2007) "Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood". *Holz als Roh- und Werkstoff*, 65, 121-124. Doi: 10.1007/s00107-006-0127-7.

- [21] Lukmandaru, G. and Takahashi, K. A. (2008) "Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Linn. fil.) wood as a function of tree age". *Annals of Forest Science*. 65, 708-708p8. Doi: 10.1051/forest:2008047.
- [22] Grace, J. K., Wong, A. H. H., and Tome, C. H. M. (1998) "Termite Resistance of Malaysian and Exotic Woods with Plantation Potential: Laboratory Evaluation". *Proceedings of the 29th Annual Meeting of The International Research Group on Wood Preservation*, pp 1-7, Maastricht, Netherlands.
- [23] ASTM D4442 (2003) "Standard Test for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials". ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [24] ASTM D790 (2015) "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [25] ASTM D4329 (1999) "Standard Practice for Fluorescent UV Exposure of Plastics". ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [26] ASTM G154 (2000) "Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials". ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [27] ASTM D3345 (2008) "Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Wood and Other Cellulosic Materials for Resistance to Termites". ASTM International, West Conshohocken, PA.

Elaboración de carbón activado a partir de residuos de la madera de *Piscidia piscipula*

¹Marco Antonio López Aranda, ²José Alfonzo Canche Uuh, ²José Luis Guevara Franco, ²Norma Angélica Oropeza García

¹Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Col. del Bosque C.P. 77019, Chetumal, Quintana Roo, México, Tel: (983) 83503000 ext. 224. ¹Egresado. Correo electrónico: 1214883@uqroo.edu.mx

²Universidad de Quintana Roo

Resumen

La *Piscidia piscipula* o Jabín es un árbol el cual se presenta en regiones caribeñas, teniendo en el territorio mexicano a la península de Yucatán como la zona con más presencia de dicho árbol, misma que es catalogada de acuerdo a su madera como pesada o preciosa (de gran durabilidad y resistencia), ya que es muy difícil trabajarla mediante herramienta convencional. Para la elaboración del carbón activado se tomó como materia prima un tronco el cual fue cortado debido a las actividades de limpieza y mantenimiento de la Universidad de Quintana Roo. El tronco a su vez fue cortado en trozos de 3 a 4 cm de diámetro los cuales posteriormente fueron sometidos a un proceso de pirólisis para llevarlos a su carbonización. Una vez obtenido el carbón se tamizó y se escogieron los tamaños de 0.5 y 0.7 cm, estos granos se activaron químicamente con ácido fosfórico al 30% para finalmente lavar y secar. El carbón activado fue de igual manera empleado como filtro para depurar una muestra sintética de ácidos húmicos con una turbidez inicial de 393 NTU, demostrando que puede remover hasta el 58.48% de la turbidez. De igual manera se probó el carbón activado como parte de un tren de tratamiento de aguas residuales, logrando en conjunto una remoción del 91.22% de la turbidez inicial de un agua residual de 57.2 NTU.

Palabras clave: Aguas residuales, Carbón activado, Jabín, Tren de tratamiento, Turbidez.

1. Introducción

El uso del carbón activado se remonta al uso del carbón vegetal proveniente de la madera la cual era utilizada como remedio medicinal ya que se podía apreciar de que era un buen adsorbente, pero no fue hasta aproximadamente en el año 400 a.C. donde se utilizaba como un filtro para eliminar los malos olores y sabores del agua almacenada por los antiguos griegos. Esta práctica siguió vigente aún en el siglo XVIII cuando la era de la industrialización comienza a florecer y es cuando distintas industrias europeas empleaban el carbón activado como decolorante y eliminador de sabor en la elaboración de productos mediante procesos químicos [1].

Hoy en día es el elemento adsorbente más utilizado en distintas áreas, tales como la farmacéutica, la industria química, en el tratamiento de aguas, y una amplia gama de áreas más, debido a su gran capacidad de retención y contando en la actualidad con tecnologías que ayudan a su regeneración para su continuo uso, además de ser una herramienta relativamente barata y de fácil obtención.

La *Piscidia piscipula*, habín (maya) o jabín (español) es una especie perteneciente a la familia Fabaceae y del género *Piscidia* es un árbol tropical el cual es endémico de las regiones caribeñas, encontrándose en el sureste de México, Centroamérica, el Caribe e incluyendo a Florida y las Bahamas. El árbol llega a medir hasta 20 metros con un diámetro de 50 metros, presentando un patrón caducifolio [2].

De acuerdo a la normatividad mexicana, el espécimen no se encuentra en la categoría de riesgo en las especies nativas de México. A nivel internacional, se investigó en la Lista Roja de la IUCN (International Union of Conservation and Nature) de igual manera no se presenta en la lista de las especies amenazadas, asimismo se citó en el CITES (The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) donde se cataloga al espécimen como no amenazada o que no se encuentra en riesgo.

El carbón derivado de las maderas duras presenta baja materia mineral, una morfología regular la cual permite cambios dimensionales y alteraciones, utilizando como compuesto activante el ácido fosfórico. Dicho ácido promueve alteraciones en la estructura a bajas temperaturas y la remoción del oxígeno e hidrógeno, además de un incremento en la aromaticidad y pérdida de caracteres alifáticos. Se confirma de igual manera que el rendimiento de este ácido en maderas dura es más efectivo en cuanto al rendimiento de activación en el producto. Además, a temperaturas que se elevan hasta 450°C, el ácido promueve la reducción de peso y no la eliminación de celulosa y lignina de la madera, evitando llegar a temperaturas más altas y conservando dichos compuestos. Este fenómeno promueve la escisión del enlace del polímero y el ácido, haciendo que el primero forme radicales libres y una formación reticular (formación de cadenas tridimensionales de polímeros similar a una red) [3]. Con esto se concluye que la activación con el ácido fosfórico a temperaturas no mayores a 450°C promueven la preservación de la celulosa y lignina en las paredes de las celdas de la madera, aumentando el rendimiento de formación de los poros (alta porosidad) y una extensa superficie accesible a moléculas adsorbentes, conservando las propiedades de estos elementos al final de la producción del carbón activado, a diferencia del tratamiento térmico donde estos elementos se eliminan [3].

2. Metodología

2.1 Carbón activado

El procedimiento para la obtención del carbón activado y su activación química es una adaptación del trabajo citado: [4].

La madera se cortó en trozos de 3 a 4 cm de diámetro para facilitar su carbonización.

Para la carbonización se colocaron 300 g de los pedazos de madera en cápsulas de porcelana, posteriormente se colocaron en una mufla a 300°C durante aproximadamente 45 minutos.

Una vez pasados los 45 minutos, se apagó la mufla y se esperó su enfriamiento durante 15 minutos.

Luego de haber pasado los 15 minutos se extrajeron las cápsulas de porcelana y rociaron con agua destilada para disminuir la temperatura. Posteriormente se colocaron en una estufa con temperatura de 60°C durante 60 minutos para su secado. Para su enfriamiento se dejó a temperatura ambiente 60 minutos y finalmente se procedió a la trituration y tamizado con las mallas referenciadas en la Tabla 1.

Con esto se seleccionó una granulometría del 25x35, esto quiere decir que la materia que pasa por el número de tamiz 25 (0.7 mm), queda retenida en el número 35 (0.5 mm). Se obtuvo un tamaño efectivo de al menos 0.5 mm y se clasificó como arena gruesa o grano grueso, sea arena gruesa o grano grueso 1 mm [5].

Se obtuvieron granos gruesos de 0.5mm a 1mm. Los granos se confinaron en viales de 50 ml para evitar daños por la humedad.

Se optó por un carbón activado de tipo granular (CAG) ya que es el tipo de carbón activado que comúnmente se utiliza para sistemas de aguas privados y es el tipo que se comercializa más en el mercado, con esta última, tratando de producir carbón con el mismo rango de tamaño. Además de ser efectivos para remover químicos orgánicos puede remover trazas orgánicas en desperdicios industriales, plomo, así como el olor y sabor en el agua potable [6].

Tabla 1. Tamaños de granos según la malla

Malla (número)	Pulgadas	Micrones (µm)	Milímetros
14	0.0555	1410	1.410
18	0.0394	1000	1.000
25	0.0280	707	0.707
35	0.0197	500	0.500
60	0.0098	250	0.250
100	0.0059	149	0.149
140	0.0041	105	0.105

Para la activación química, se preparó una disolución de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 30% en 250 ml, pero debido a que la solución del ácido está al 87%, se procede con lo siguiente (1) para el volumen exacto de activación y posterior dilución en 250 ml:

$$\text{concentración: } \frac{30\%}{x} : \frac{87\%}{250 \text{ ml}} ; x = 86.20 \text{ ml} \quad (1)$$

Se colocaron 50 gramos del carbón en una cápsula de porcelana y se agregaron 50 ml de la disolución, manteniendo una relación por cada gramo de carbón de un ml de la disolución. Se le agregó de igual manera 50 ml de agua destilada, dejando reposar durante una hora para su impregnación.

Se introdujeron las cápsulas durante una hora a 120°C en una mufla. Posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante una hora.

Para el lavado de las muestras, se introdujo la muestra en 300 ml de agua destilada en un vaso de precipitado de 500 ml sobre una placa agitadora, a un rango de 200 RPM durante 20 minutos. El procedimiento se efectuó de la misma manera en cada muestra obtenida e impregnada con el ácido fosfórico, así como en cada lavado hasta obtener un pH de 4.

Para su secado las muestras se introdujeron en un horno a una temperatura de 80°C durante 6 horas. Una vez secas las muestras, se confinaron en los viales de 50 ml y se pusieron en un desecador. La cantidad de carbón activado a emplearse fue de 25 g los cuales fueron puestos en una bureta de 50 ml para su uso (ver Figura 1).

El volumen de agua a depurar fue de 150 ml, esto con el fin de no saturar la adsorción del carbón activado.

Se probó de igual manera la capacidad de adsorción del carbón activado con la muestra sintética pasando un volumen de 150 ml hasta generar una disminución de la turbidez significativa en la muestra.

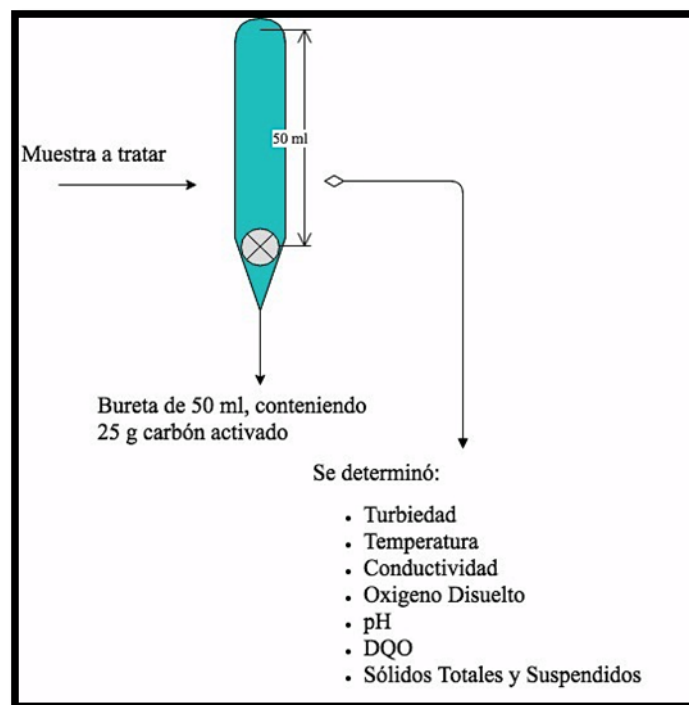


Figura 1. Filtro de carbón activado

2.2 Tren de tratamiento propuesto

Los parámetros físico-químicos establecidos para el proceso de coagulación-floculación son los siguientes:

- pH: 7
- Temperatura: 25°C
- Gradiente de velocidad:
 - a) Mezcla rápida: 100 RPM
 - b) Mezcla normal: 40 RPM
- Concentración del coagulante:
 - a) Al 30%
 - b) Al 40%
 - c) Al 50%
 - d) Al 60%

El coagulante consistió de extracto del gel de *Aloe barbadensis* con las concentraciones antes mencionadas.

Se evaluaron los siguientes parámetros para la determinación de la eficiencia del proceso antes y después de tratar el agua de paso teniendo como principal parámetro a medir la turbiedad (ver Tabla 2 y Figura 2).

Tabla 2. Parámetros físico-químicos a medir en el tren de tratamiento propuesto

PARÁMETRO	MÉTODO	INSTRUMENTACIÓN
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	Turbidímetro, marca Hanna, modelo LP2000.
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	pH-metro, marca Hanna modelo HI99131.
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000	Conductímetro, marca Hanna, modelo HI99301.
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013	Termómetro de mercurio de inmersión
Oxígeno disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001	Oxímetro, marca Hanna, modelo HI9142.
Sólidos Totales	NMX-AA-028-SCFI-2001	Cápsulas de porcelana de 125 ml.
DQO	“Método rápido al Dicromato” de Dr. de José Alfonso Canche Uuh [7]	Espectrofotómetro UV-Visible, marca HACH, modelo, DR 5000.
Sólidos Suspendidos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2015	Cápsulas de porcelana de 125 ml.

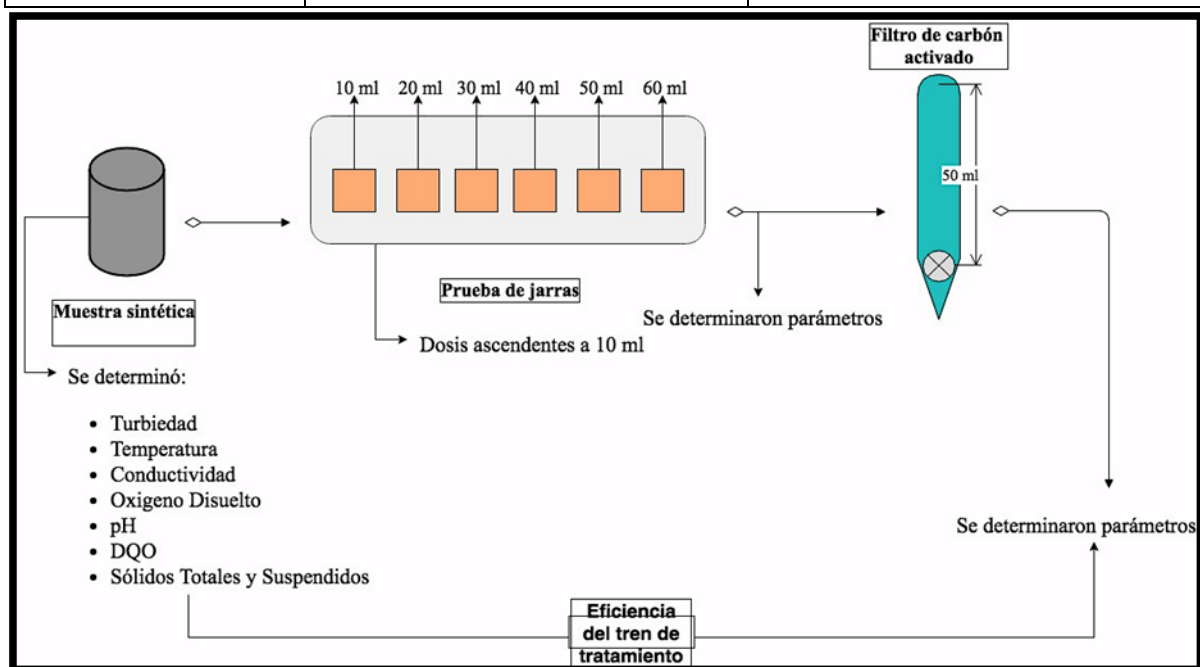


Figura 2. Diagrama general del tren de tratamiento propuesto

2.3 Muestras de agua residual

Una vez terminadas las pruebas para determinar la dosis óptima del coagulante y las pruebas mencionadas se procedió a tratar agua residual doméstica, siendo la dosis óptima definitiva del proceso de coagulación-floculación de 50 ml del coagulante al 30%, midiendo los mismos parámetros físico-químicos de las muestras sintéticas con el fin de probar la eficiencia del tren de tratamiento propuesto en muestras reales. Las muestras fueron obtenidas en la Universidad de Quintana Roo (UQROO), procurando obtener (de

acuerdo a las actividades de la institución) aguas de distintos rangos de valores físico-químicos. En la caracterización de éstas aguas residuales, se tomó como indicador contaminante la Demanda Química de Oxígeno (DQO), además de basarse en los criterios de caracterización según [8].

La Tabla 3 establece los parámetros físico-químicos del agua residual doméstica de media concentración. La muestra fue tomada en temporada de baja actividad o producción de agua residual en la institución, dando con fechas de inactividad escolar (según la Secretaría de Educación Pública, 2017) del 9 al 24 de abril del 2017 (Semana Santa); la fecha de muestreo fue el 21 de abril, esto como medida para asegurar que el agua residual presenta baja concentración de DQO.

Tabla 3. *Parámetros físico-químicos del agua residual de baja concentración*

Agua residual de baja concentración	
Parámetro	Medida
Turbidez	57.2 NTU
Temperatura	25.7 °C
pH	8.1
Conductividad	1.6 mS
Oxígeno Disuelto	2.8 mg/L
Demanda Química de Oxígeno	130 mg/L
Sólidos Totales	1237 ppm
Sólidos Suspendidos Totales	243 ppm

La Tabla 4 establece los parámetros físico-químicos del agua residual doméstica de media concentración de DQO. El muestreo se realizó dos semanas después del primer muestreo, teniendo como fecha el 9 de Mayo del 2017, esto con el objetivo de asegurar una regulación en la producción de aguas residuales.

Tabla 4. *Parámetros físico-químicos del agua residual de media concentración*

Agua residual de media concentración	
Parámetro	Medida
Turbidez	541 NTU
Temperatura	28.4 °C
pH	7.74
Conductividad	5.8 mS
Oxígeno Disuelto	0.29 mg/L
Demanda Química de Oxígeno	779 mg/L
Sólidos Totales	1914 ppm
Sólidos Suspendidos Totales	457 ppm

3. Resultados y discusión

3.1 Capacidad y eficiencia del carbón activado

De acuerdo a la Figura 3 se ilustran los resultados de la capacidad y eficiencia de la remoción de la turbiedad en las muestras sintéticas con una turbidez inicial de 395 NTU. Se puede observar en la Figura 3 que la

primera prueba arroja un resultado de 172 NTU, teniendo como diferencia con la turbidez inicial 223 NTU (56.46% de eficiencia de remoción). Posteriormente, con la segunda prueba, la turbiedad desciende 8 NTU, para luego, en la tercera prueba, subir 18 NTU. A partir de estos resultados, no se consideraron como cambios significativos (en cuanto a la diferencia general de 13 NTU como promedio), ya que en la cuarta prueba y quinta, la remoción vuelve a ser similar a las pruebas uno y dos. A partir de la prueba cinco y seis, se observa una deficiencia en la remoción, la cual fue para la quinta prueba de 31.39% (25.07% de decremento a comparación de la eficiencia de la primera prueba). Con esto se llegó a la conclusión de que el filtro de carbón activado propuesto puede tratar hasta 750 ml de agua con una turbidez cercana a los 395 NTU teniendo una eficiencia de remoción de aproximadamente del 50%.

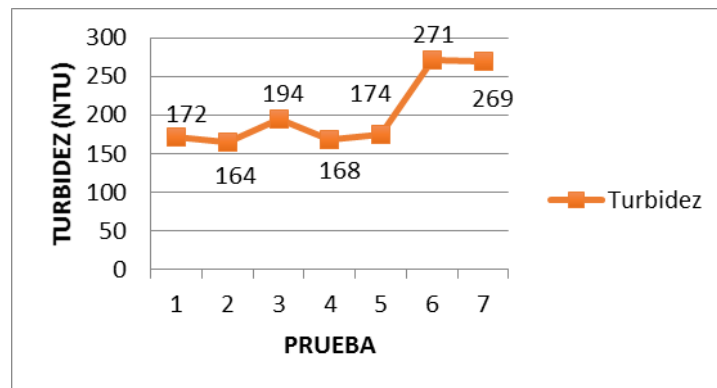


Figura 3. Capacidad y eficiencia de adsorción del carbón activado elaborado

La Figura 4 muestra las micrografías tomadas al carbón activado de *Piscidia piscipula* antes y después del tratamiento con el tren propuesto en el presente trabajo empleando agua residual de baja concentración de DQO. En la imagen derecha se puede apreciar en la superficie del carbón la materia orgánica particulada del agua residual, además de que algunos poros presentan una saturación de contenido orgánico en su interior. En la parte izquierda de la imagen se puede observar pequeños cúmulos y fragmentos del mismo carbón activado.

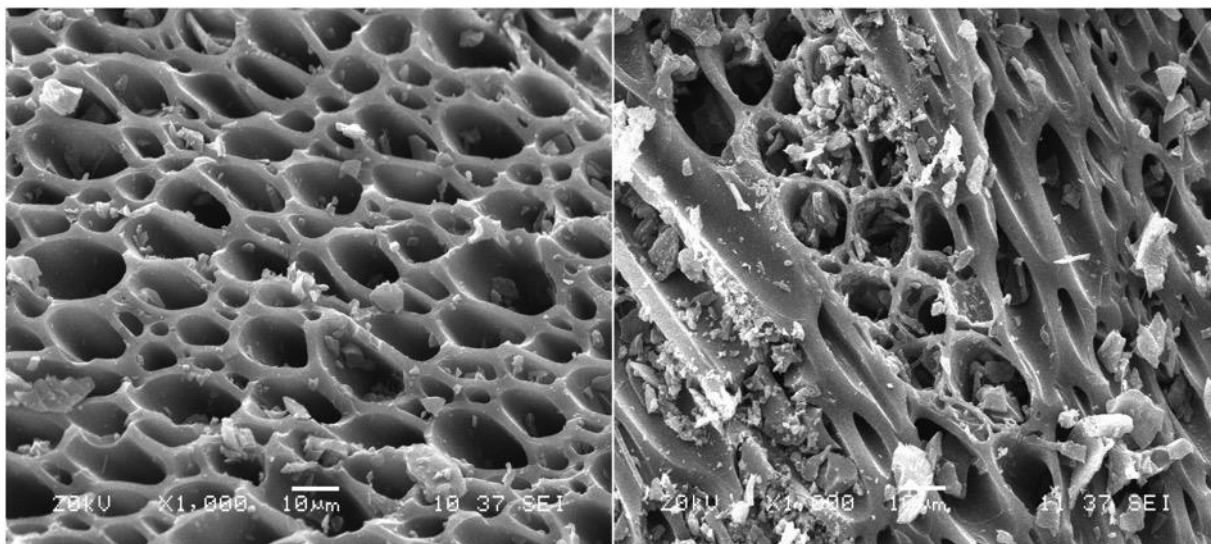


Figura 4. (De izquierda a derecha) Micrografías del carbón activado de *Piscidia piscipula* antes y después de su uso en el tren de tratamiento propuesto con agua residual de baja concentración de DQO

3.2 Muestras de Agua residual

3.2.1 Agua residual de baja concentración de DQO

La Tabla 5 representa la disminución o remoción de la turbiedad en cada proceso del tren de tratamiento propuesto. La eficiencia del proceso de coagulación- floculación fue de 37.58% aplicando el coagulante orgánico propuesto, a una concentración del 30% y una dosis de 50 ml. La eficiencia aumentó con el filtro de carbón activado, siendo el aumento a 53.63%. La eficiencia general del tren de tratamiento, en la reducción de la turbiedad del agua residual de baja concentración fue del 91.22%. La disminución de la DQO se presenta en la Tabla 5 con el tratamiento empleando el coagulante propuesto, se alcanza una reducción de la DQO del 33.84% removiendo las partículas suspendidas coloidales más pesadas. La muestra tratada se sometió a la filtración con el carbón activado aumentando la eficiencia del tren de tratamiento y de la reducción de la DQO, alcanzando un 53.84%. Con las eficiencias de remoción de cada proceso, se estableció que la eficiencia general en la disminución de la DQO empleando el tren de tratamiento propuesto es del 87.69%.

Uno de los parámetros que más se redujo fueron los sólidos suspendidos totales. La eficiencia de remoción que se obtuvo en el proceso de coagulación-floculación fue del 37.44% de SST removidos. En conjunto con el proceso de filtración éste aumentó la eficiencia en un 55.14% de SST removidos. Con estas eficiencias se concluye que la eficiencia general en la reducción o eliminación de SST empleando el tren de tratamiento propuesto es del 92.59%. Se hace mención que con la filtración empleando el carbón activado se obtuvieron resultados variables, aumentando la eficiencia del tren de tratamiento después del proceso de coagulación-floculación tomando en cuenta el parámetro de turbidez como el principal. La muestra sintética en la cual se obtuvo un mayor rendimiento de remoción empleando el filtro de carbón activado fue la que se trató con el coagulante al 40% con una dosis óptima de 60 ml (77.31% de remoción de la turbiedad).

Tabla 5. *Parámetros fisicoquímicos del agua residual de baja concentración y su variabilidad de acuerdo al proceso de tratamiento*

Agua residual de baja concentración		Coagulación	Filtración
Parámetro	Unidad	Unidad	Unidad
Turbidez	57.2 NTU	35.7 NTU	5.02 NTU
Temperatura	25.7 °C	25.2 °C	23.8 °C
pH	8.1	7.89	2.81
Conductividad	1.6 mS	1.4 mS	1.6 mS
Oxígeno disuelto	2.8 mg/L	2.6 mg/L	1.4 mg/L
Demanda Química de Oxígeno	130 mg/L	86 mg/L	16 mg/L
Sólidos Totales	1237 ppm	902 ppm	778 ppm
Sólidos Suspendidos Totales	243 ppm	152 ppm	18 ppm

3.2.2 Agua residual de media concentración de DQO

La remoción o disminución de la turbidez en la muestra de agua residual de media concentración se muestra en la Tabla 6. La eficiencia de remoción de la turbiedad empleando el coagulante orgánico en el proceso de coagulación-floculación del tren de tratamiento es del 51.20%. La filtración aumentó la remoción de la turbidez en un 27.72%. Siendo así la eficiencia general del tren de tratamiento de 78.92% de la remoción o disminución de la turbiedad de la muestra de agua residual.

La disminución de la DQO en coagulación-floculación alcanzó una eficacia del 29.65%. La filtración con el carbón activado, derivó en un aumento de dicha eficiencia con un 34.27%. La eficiencia general es del 63.93%. La eficiencia de disminución de los SST en el proceso de coagulación-floculación es del 30.63%. Dicha eficiencia aumenta con el empleo del filtro de carbón activado, la cual fue del 55.80%. Entonces, la eficiencia general del tren de tratamiento propuesto, en la disminución de los SST de la muestra de agua residual de media concentración es del 86.43%.

Tabla 6. Parámetros físicoquímicos del agua residual de media concentración y su variabilidad de acuerdo al proceso de tratamiento

Agua residual de media conc.		Coagulación	Filtración
Parámetro	Unidad	Unidad	Unidad
Turbidez	541 NTU	264 NTU	114 NTU
Temperatura	28.4 °C	25.6 °C	24.2 °C
pH	7.74	7.95	4.89
Conductividad	5.8 mS	3.5 mS	1.2 mS
Oxígeno disuelto	0.29 mg/L	0.43 mg/L	1.09 mg/L
Demanda Química de Oxígeno	779 mg/L	548 mg/L	281 mg/L
Sólidos Totales	1914 ppm	1522 ppm	1362 ppm
Sólidos Suspendidos Totales	457 ppm	317 ppm	62 ppm

4. Conclusiones

La materia prima para elaborar los elementos empleados para el tren de tratamiento se pueden obtener de los residuos de industrias que utilicen la misma materia prima. Tal es el caso de la *Piscidia piscipula*, ya que se puede emplear los pequeños trozos que se generan en su tala y proceso de cortado para la elaboración de carbón activado empleando el método del presente trabajo, así mismo, el aserrín de dicha madera puede ser aprovechada de la misma manera, así como del gel de *Aloe barbadensis* que no necesita un método de extracción costoso ni adición de reactivos. Igualmente los costos para el manejo de residuos generados (o subproductos) son menores y hasta nulos ya que el coagulante propuesto coagula y flocula materia orgánica por lo que no se requiere un tratamiento para los lodos que se generen. Los lodos generados por el coagulante propuesto se pueden emplear principalmente como composta al ser materia orgánica. Para el carbón activado de *Piscidia piscipula* como residuo se puede aprovechar para su reactivación una vez llegado su tiempo de vida, existiendo plantas de reactivación de carbón activado en el mundo, además es una alternativa muy viable y barata como sustrato para suelos erosionados después de que el carbón se ha empleado.

Referencias bibliográficas

- [1] Gonzales Mora, H. and Teruya Chinen, R. (2004). *Estudio preliminar de carbón activado; situación en el Perú*. (Doctorado). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [2] Richter, G., Silva, J., Fuentes, F., Rodríguez, R., & Torres, P. (2012). *Fichas de Propiedades Tecnológicas de las Maderas* (1st ed.). Guadalajara: CONAFOR.
- [3] Jagtoyen, M., & Derbyshire, F. (1993). The Transformation of Wood to Activated Carbon. *Energie*, 4(4), 1-5.

- [4] Couoh Gómez, K. (2016). *Aprovechamiento de los residuos maderables de la actividad forestal, estudio de caso: Maderas de la Zona Maya de Quintana Roo S.A. DE C.V.* (Licenciatura). Universidad de Quintana Roo. División de Ciencias e Ingeniería.
- [5] Román Sierra, J., Navarro Pons, M., Gomez Pina, G., & Muñoz Perez, J. (2013). Optimización del análisis del tamaño de grano de arenas costeras. *XII Jornadas Españolas De Ingeniería De Costas Y Puertos*.
- [6] Lemley, A., Wagenet, L., & Kneen, B. (1995). Activated Carbon Treatment of Drinking Water. *Cornell Cooperative Extension*, 1(1), 1-4.
- [7] Canche Uuh, J. (2007). Estudio de la aplicación de tecnologías de oxidación avanzada basadas en dióxido de titanio, peróxido de hidrógeno y luz ultravioleta como complemento a la cloración en tratamientos de potabilización de aguas naturales (Doctorado). Universidad de Zaragoza.
- [8] Tchobanoglous, G., & Burton, F. (1995). *Ingeniería de aguas residuales* (3rd ed.). Madrid: McGraw-Hill.

Evaluación de la capacidad de degradación de hongos en residuos de jardinería de la UAM-A

¹Arely Areanely Cruz Salas, ²Juan Carlos Álvarez Zeferino, ¹Rosa María Espinosa Valdemar, ¹Alethia Vázquez Morillas

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Ciudad de México. Tel: 5578373857. E-mail: al2123000100@alumnos.azc.uam.mx.

² Universidad Autónoma de Baja California, Calle de la Normal S/N y Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este Mexicali B. C,

Resumen

La Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A), genera aproximadamente 1.7 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos (RSU), de los cuales el 22% corresponden a residuos de jardinería. Como parte de su programa de gestión integral de los residuos “Separación”, se tiene contemplado dar tratamiento a los residuos de poda empleando un proceso de composteo *in situ*. La problemática para realizar este tratamiento radica en que dichos residuos constituyen un alto volumen, ya que diario se generan en cantidades considerables; también presentan una composición química compleja pues contienen polímeros lignocelulósicos de difícil degradación, en especial la lignina que contiene unidades de fenilpropano que aportan rigidez y resistencia a los tejidos vegetales. Con la finalidad de acelerar el proceso de producción de composta, se evaluó la degradación de residuos de jardinería (con y sin esterilización) de la UAM-A por medio de un proceso biológico mediante el uso de 10 hongos, los cuales se aislaron a partir de sustratos recolectados de Veracruz y en el mulch obtenido de los residuos de poda de la UAM-A. De los hongos aislados, *Fusarium tumidum* degradó más eficientemente los residuos sin esterilización con 14.78 % de pérdida de masa. Sin embargo, su coeficiente de degradación fue más bajo (0.31) que el de *Penicillium* (en residuos con esterilización, 0.40) y *Mucor* (en residuos sin esterilización, 0.41). El mayor porcentaje de reducción de lignina lo presentó *Penicillium* con 13 %. Los resultados muestran la factibilidad del proceso, que puede optimizarse para incrementar su eficiencia.

Palabras Clave: hongos ligninolíticos, residuos de jardinería, lignina

1. Introducción

Las ciudades con un gran número de habitantes producen cerca de 1 kg de residuos por habitante por día [1]. Los residuos alimenticios y de jardinería son los más cuantiosos en México, ya que representan el 52.4 % del total de los RSU [2], en la actualidad su disposición final es llevada a cabo tanto en rellenos sanitarios como en tiraderos a cielo abierto [3].

Los residuos de jardinería están constituidos por hojas, flores, ramas, frutos (en algunos casos) y troncos, forman parte de los RSU generados en las áreas verdes de escuelas, parques, deportivos y jardines. Estos residuos contienen celulosa, hemicelulosa y lignina, conocidos como polímeros de la madera o materiales lignocelulósicos [3], [4], donde cada uno presenta distinta composición, estructura y unidades de grupos funcionales.

La celulosa es el compuesto de carbono más disponible en la naturaleza, está presente en la pared de las células vegetales ligada a la hemicelulosa y lignina. Es un polímero de estructura lineal que contiene de 1,000 a 10,000 unidades de glucosa, suele presentarse en un estado semicristalino. Por otra parte, la hemicelulosa es un polisacárido no cristalino y muy ramificado. Contiene azúcares (pentosas, hexosas) y ácidos urónicos en un orden no mayor de 200 unidades. Las subunidades más frecuentes de este polímero suelen ser la xilosa y la manosa [5], [6].

Por último, se tiene a la lignina, el nombre de este polímero proviene del latín *lignum*, que quiere decir madera, y hace referencia al material cementante presente en las paredes celulares de los tejidos leñosos de los vegetales [4]. Es el polímero aromático renovable más abundante en la naturaleza, se encuentra conformado por unidades de fenilpropano (C₉) entrecruzadas con distintos enlaces al azar, dando lugar a una molécula irregular e insoluble en agua. La lignina normalmente se encuentra incrustada en la celulosa y la hemicelulosa, protegiéndolos del ataque microbiano, asimismo proporciona dureza e impermeabilidad, necesarias para el paso del agua y las sales minerales [7], [8].

De todos estos materiales, el que sufre una degradación más lenta es la lignina, por su composición compleja. Aunque ciertas bacterias degradan carbohidratos (creando cavidades o túneles) y permiten la entrada del agua facilitando la colonización de hongos, únicamente degradan parcialmente la lignina [9]. La degradación eficaz de este polímero a compuestos más simples es realizada por hongos ligninolíticos [10].

Los hongos ligninolíticos que degradan de manera eficaz la lignina son conocidos como hongos de la podredumbre blanca, llamados así porque al degradar la lignina queda una acumulación de celulosa y hemicelulosa de color blanco. De las 2,000 especies de hongos descomponedores de la madera el 90% pertenece a los de podredumbre blanca [11], [12]. Este grupo de hongos está conformado por los basidiomicetos, los cuales también pueden degradar la celulosa y hemicelulosa [13].

En la presente investigación se evaluó la degradación de residuos de jardinería (de la UAM-A), con y sin esterilización, empleando diversos hongos aislados, así como un control positivo (*Phanerochaete chrysosporium*). La degradación se evaluó en términos del porcentaje de pérdida de masa, el coeficiente de degradación y adicionalmente el porcentaje del contenido de lignina.

2. Metodología

El proyecto se realizó en el laboratorio de Tecnologías Sustentables de la Unidad Azcapotzalco, de la Universidad Autónoma Metropolitana.

2.1 Aislamiento e identificación de los hongos

Los hongos se aislaron a partir de diversos sustratos recolectados del Río “El Fraile”, en Chinampa de Gorostiza, Veracruz, del jardín de una casa ubicada en Naranjos, Veracruz y del mulch elaborado de los residuos de poda de la UAM-A. A cada uno de los sustratos se les dio un tratamiento de desinfección con alcohol etílico al 70% y con hipoclorito de sodio al 5%. Posteriormente, se sembraron en cajas Petri en Agar Extracto de Malta (AEM) con 0.5g/L de cloranfenicol [14], [15].

Los hongos se dejaron crecer en los sustratos de origen, posteriormente se seleccionaron las cepas predominantes y se aislaron en cajas Petri con AEM, empleando la técnica de picadura en el centro. Las cajas se sellaron con parafilm y se incubaron a temperatura ambiente durante un mes.

Del total de hongos aislados se seleccionaron 10, los cuales fueron elegidos debido a su mayor velocidad de crecimiento durante el tiempo de incubación. Con estos hongos se realizó un microcultivo que se incubó durante 48-72 horas a temperatura ambiente y después se examinó al microscopio para identificar su estructura [16]. Como siguiente paso, los hongos se identificaron hasta especie con la base de datos Biolog® [17]. Finalmente, se sembraron por picadura en el centro en tubos de agar inclinado con medio AEM y se conservaron en refrigeración a 3 °C [15].

2.2 Caracterización inicial de los residuos

Los residuos de poda y jardinería se obtuvieron del centro de acopio de la UAM-A. Se les realizó el método de cuarteo de acuerdo con la NMX-AA-015-1985 [18] para la obtención de una muestra representativa. De dicho cuarteo se eligió aproximadamente un kilogramo de residuos, los cuales fueron fragmentados con tijeras y molidos en una trituradora hasta un tamaño cercano a los cinco centímetros. Los residuos triturados

se caracterizaron antes de ser sometidos a las pruebas de degradación, conforme a los parámetros y métodos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos para la caracterización de los residuos

Parámetro	Método
Humedad	Balanza termogravimétrica.
pH	NMX-AA-025-1984. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos. Determinación del pH – Método potenciométrico.
Conductividad eléctrica	Extracto de pH. – Conductímetro
Cenizas	NMX-AA-18-1984. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos. Determinación de Cenizas.
Materia orgánica	Calcinación [21].
Nitrógeno total	Microdestilación. Kjeldahl
Relación C/N	NMX-AA-067-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del suelo-Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la relación Carbono/Nitrógeno.

2.3 Pruebas de degradación de residuos mediante los hongos aislados

Las pruebas se realizaron en frascos de vidrio de 350 mL con tapón de algodón y gorro de papel. A cada uno se le adicionaron 10 g de residuos de jardinería en base seca, 20 mL de solución de extracto de carne y peptona de caseína para aportar nutrientes. Cada envase se inoculó con 20 mL de una suspensión de esporas de los hongos seleccionados; para el control positivo se utilizó *Phanerochaete chrysosporium* (hongo adquirido de la Colección Mexicana de Cultivos Microbianos del CINVESTAV, Zacatenco). Las pruebas se realizaron con y sin esterilización de los residuos de jardinería. Por cada hongo se hicieron tres réplicas, con excepción del testigo (Tabla 2).

Tabla 2. Número de réplicas y condiciones de esterilización

Nombre del hongo	Número de réplicas sin esterilización	Número de réplicas con esterilización
<i>Alternaria</i>	3	3
<i>Fusarium solani</i>	3	3
<i>Fusarium gramineum</i>	3	3
<i>Monilia</i>	3	3
<i>Penicillium</i>	3	3
<i>Actinomucor elegans</i>	3	3
<i>Trichoderma pseudokoningii</i>	3	3
<i>Mucor</i>	3	3
<i>Trichoderma viride</i>	3	3
<i>Fusarium tumidum</i>	3	3
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	3	3
Testigo	1	1
Total	34	34

2.4 Caracterización final de los residuos

Al concluir las 6 semanas en que los residuos de jardinería estuvieron expuestos a los diferentes hongos, se desmontaron las 68 unidades experimentales y se procedió a efectuar la caracterización final, donde se determinaron los mismos parámetros que en la caracterización inicial (punto 2.2).

2.5 Evaluación de la capacidad de degradación de los hongos

La evaluación de la degradación se llevó a cabo en términos del porcentaje de pérdida de masa y del coeficiente de degradación, para ello se emplearon las ecuaciones (1) y (2).

$$\text{Pérdida de masa (\%)} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

M_i = masa inicial, en gramos

M_f = masa final, en gramos

$$K_h = \frac{[(M.O._f - M.O._i)100]}{[M.O._i(100 - M.O._f)]} \quad (2)$$

Dónde:

K_h = Coeficiente de degradación.

$M.O._i$ = Porcentaje de materia orgánica inicial.

$M.O._f$ = Porcentaje de materia orgánica final [23].

2.6 Determinación de lignina

La determinación de este parámetro se llevó a cabo tanto para los residuos iniciales (previo a las pruebas de degradación), como para los residuos finales (los inoculados con los hongos), que obtuvieron un coeficiente de degradación mayor o igual a 0.40. Se realizaron dos réplicas por cada muestra. El método empleado fue el de hidrólisis ácida cuantitativa. El contenido de lignina se calculó utilizando la ecuación (3).

$$\% \text{ Lignina} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

A = masa de la muestra seca antes del proceso, en gramos.

B = masa de la muestra seca después del proceso, en gramos [24].

3. Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados obtenidos durante las diferentes etapas del proceso, así como su análisis y comparación con lo reportado en la literatura.

3.1 Aislamiento e identificación de los hongos

Del total de hongos crecidos en los sustratos se seleccionaron 19 cepas para el aislamiento. Posteriormente, se eligieron 10, basándose en las que invadieron más rápidamente la superficie del agar en la caja Petri. Con cada hongo seleccionado se realizó un microcultivo que posteriormente fue observado al microscopio para obtener su estructura, ésta se comparó con las de la base de datos Biolog® y con las imágenes del anverso y reverso de cada caja Petri del hongo aislado (Tabla 3).

De la tabla 3, se aprecia que los hongos *Alternaria*, *Monilia*, *Penicillium* y *Mucor* no se lograron identificar hasta especie con la base de datos, porque no se encontraron coincidencias con las imágenes del anverso y reverso del Biolog®. En estos hongos únicamente se comparó su estructura empleando un manual de microbiología aplicada [16].

3.2 Caracterización inicial de los residuos

Los resultados (promedio de las tres determinaciones) de la caracterización inicial de los residuos fueron: humedad 9.69 ± 1.23 %, pH 8.48 ± 0.09 , conductividad eléctrica $1,007 \pm 29.81$ μ s, materia orgánica 84.48 ± 1.02 %, cenizas 15.50 ± 1.02 %, nitrógeno total 1.67 ± 0.14 %, relación C/N 29.34 y lignina 57.23 ± 1.89 %.

El contenido de humedad resultó bajo comparado con el 50 y 70 % comúnmente reportado en la literatura [24]- [26]; la humedad adecuada permite que los hongos degradadores invadan los residuos y posteriormente comiencen a descomponerlos, de lo contrario se frena la actividad microbiana. El aumento de humedad (alrededor del 50%) se consiguió al agregar, a los residuos, las soluciones de esporas y nutrientes al inicio de las pruebas de degradación.

Por otro lado, aunque el valor del pH fue alto, de acuerdo con lo que reportado en investigaciones (pH óptimo cercano a 5.6), también existen hongos capaces de crecer en un pH básico (pH = 9.0) [26]- [28], dependiendo de los nutrientes y contenido de humedad disponibles.

Tabla 3. Identificación de los hongos

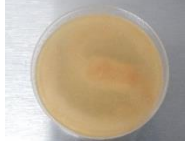
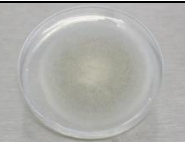
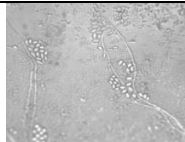
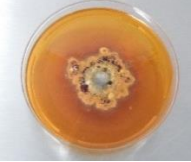
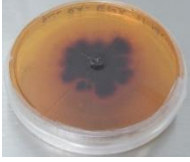
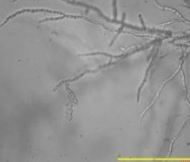
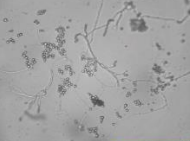
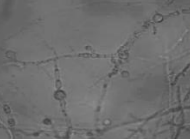
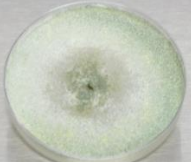
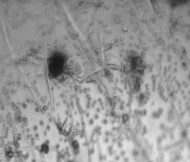
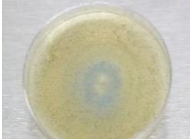
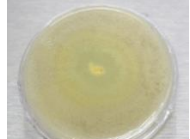
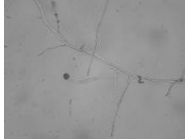
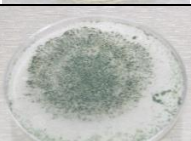
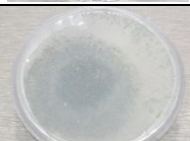
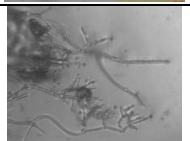
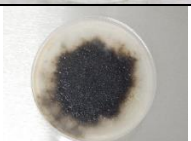
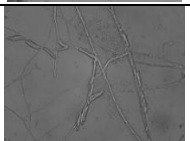
Anverso	Reverso	Estructura	Género y especie con Biolog®	Género del hongo con manual
			-	<i>Alternaria</i>
			<i>Fusarium solani</i>	-
			<i>Fusarium gramineum</i>	-

Tabla 3 Continuación. Identificación de los hongos

Anverso	Reverso	Estructura	Género y especie con Biolog®	Género del hongo con manual
			-	<i>Monilia</i>
			-	<i>Penicillium</i>
			<i>Actinomucor elegans</i>	-
			<i>Trichoderma pseudokogningii</i>	-
			-	<i>Mucor</i>
			<i>Trichoderma viride</i>	-
			<i>Fusarium tumidum</i>	-

3.3 Pruebas de degradación de residuos mediante los hongos aislados

Durante los 42 días que permanecieron los frascos en incubación, se observó que la mayoría de los hongos inoculados sobre los residuos esterilizados presentaron mayor invasión que los inoculados en los residuos sin esterilización. *Fusarium gramineum* y *Fusarium tumidum* obtuvieron los mejores resultados de invasión en los residuos con esterilización durante todo el periodo de experimentación. Para los residuos sin esterilizar, los hongos que presentaron alta propagación fueron *Alternaria* (del día 8 al 21) y *Monilia* (del día 35 al 42).

Lo anterior indica que la esterilización tiene un efecto positivo sobre la invasión, ya que al esterilizar los residuos estos sufren un ablandamiento en su estructura, haciendo que los hongos entren a los tejidos de los

materiales más fácilmente para su posterior degradación; en cambio, los residuos sin esterilizar no sufren ese efecto de “ablandamiento o pre-degradación”, su composición química no es alterada y a los microorganismos les cuesta más entrar a los tejidos para comenzar a degradar.

3.4 Caracterización final de los residuos

Al final del proceso los resultados de humedad, pH, cenizas y nitrógeno total, en ambos tipos de residuos, fueron más altos que los iniciales. Sin embargo, la conductividad eléctrica, materia orgánica y la relación C/N resultaron menores que los iniciales; este último parámetro indica que efectivamente se llevó a cabo un proceso de degradación.

En los residuos de jardinería había un exceso de humedad después de desmontar las pruebas de degradación, pues los resultados finales (entre el 58 y 80 %), se encontraban por encima del valor comúnmente reportado al final de un proceso de degradación (del 30 al 40 %). Por otro lado, el aumento del pH, la disminución de la conductividad eléctrica y el aumento del contenido de nitrógeno, indican la descomposición parcial de compuestos complejos a compuestos más simples, provocando una disminución de la masa de los residuos [14], [29].

De igual forma, la disminución del contenido de materia orgánica final manifiesta que los hongos degradaron a los residuos de jardinería, al consumir la materia orgánica como sustrato para la obtención de nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. En cuanto a condiciones de esterilización, el hongo *Mucor* sobre residuos sin esterilización y el hongo *Penicillium* sobre los residuos con esterilización, presentaron menor porcentaje de materia orgánica (75.94 y 76.32 %, respectivamente), es decir, se degradaron más.

3.5 Evaluación de la capacidad de degradación de los hongos

Casi todos los residuos sin esterilización inoculados con los diversos hongos, tuvieron mayor porcentaje de pérdida de masa que los residuos con esterilización, excepto *Mucor* y el Testigo, con un promedio de pérdida de masa del 9.92 y 9.15 %, respectivamente.

Lo anterior puede atribuirse a que quizá los residuos sin esterilización contenían un cierto número de microorganismos nativos (bacterias y hongos) y al haberles agregado otras especies de hongos, como los inoculados, ambos microorganismos (nativos y no) realizaron un efecto sinérgico, dando como resultado una mayor degradación que en residuos con esterilización, donde sólo había nuevos microorganismos adaptándose a las nuevas condiciones ambientales.

De todos los hongos sometidos al proceso, el que presentó un mayor porcentaje de pérdida de masa fue el *Fusarium tumidum* en residuos sin esterilización, con un promedio de 14.78 %.

Los residuos con esterilización inoculados con el hongo *Penicillium*, y los residuos sin esterilización inoculados por el hongo *Mucor* tuvieron el coeficiente de degradación más alto: 0.40 y 0.41, respectivamente. El hongo *Fusarium tumidum* (en residuos sin esterilización) obtuvo en promedio un coeficiente de degradación de 0.31, a pesar de haber presentado un alto porcentaje de pérdida de masa.

3.6 Determinación de lignina

De los hongos que mostraron un coeficiente de degradación mayor o igual a 0.40, *Penicillium* (en residuos esterilizados) degradó de manera eficaz la lignina, ya que el contenido inicial de 57.23% disminuyó a 49.80%; mientras que el hongo *Mucor* mostró en promedio (en residuos sin esterilizar), un contenido final de lignina de 54.28%, mayor que el presentado por el primer hongo.

4. Conclusión

De los hongos identificados el predominante fue el género *Fusarium*, con las especies *solani*, *graminum* y *tumidum*, seguido del género *Trichoderma*, con las especies *pseudokogningii* y *viride*.

Los hongos aislados e identificados obtuvieron diferentes resultados en cuanto a la degradación de los residuos, así *F. tumidum* obtuvo la mejor eficiencia de degradación, medida como pérdida de masa: 14.78%; en el coeficiente de degradación *Mucor* fue el mejor, con un valor de 0.41, mientras que *Penicillium* obtuvo la mayor degradación de lignina con 13%.

Los resultados obtenidos muestran que los hongos aislados no pueden degradar eficientemente los residuos de manera individual, sino que se requiere la acción combinada.

Debido a lo anterior se propone la realización de pruebas adicionales, en las que se realice la determinación de la celulosa y hemicelulosa, así como evaluar el efecto de la adición de las cepas aisladas que presentaron mejores resultados en un proceso de composteo en pilas.

5. Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Residuos sólidos urbanos: la otra cara de la basura* | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx. Ciudad de México. Retrieved from <https://www.gob.mx/semarnat/galerias/residuos-solidos-urbanos-la-otra-cara-de-la-basura-18815>
- [2] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Informe del medio ambiente. Residuos*. Ciudad de México, México. Retrieved from <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/cap7.html#tema1>
- [3] Pérez, M. A., Martínez, M. R. (2008). Manejo alternativo de los residuos de jardinería. *Kuxulkab' Revista de divulgación*, 14 (26), pp.5-12. Doi: 10.19136/kuxulkab.a14n26.874.
- [4] Vargas García M. C., Andreu Rodríguez F. J., Fernández Güelfo L. A., Fernández Morales F. J., García Morales J. L., Melgar Ramírez R., Moral Herrero R., Moreno Casco J., Suárez Estrella F. (2007). Composición de los residuos en Moreno Casco J., Moral Herrero R., García Morales J. L., Pascual Valero J. A. y Bernal Calderón M.P. *De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad*. Mundi Prensa (Eds.). Madrid, España. pp. 62-78.
- [5] Prinsen, P. (2010). Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas. (Tesis de investigación del Máster en "Estudios Avanzados en Química" inédita). Universidad de Sevilla. En línea <<http://digital.csic.es/bitstream/10261/66265/1/Composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica%20de%20diversos%20materiales%20lignocelul%C3%B3sicos.pdf>>. Recuperado el 15/01/2018.
- [6] Candido, R. G., Gonçalves, A. R. (2016). Synthesis of cellulose acetate and carboxymethylcellulose from sugarcane Straw. *Carbohydrate Polymers*, 152 (1), pp.679-686. Doi: 10.1016/j.carbpol.2016.07.071.
- [7] Jian-Feng, M., Hai-Yan, Y., Wang, K., Xing-E, L. (2016). Structural modification of hemicelluloses and lignin based on the biorefinery process with white-rot fungal. *Carbohydrate Polymers*, 153 (1), pp.7-13. Doi: 10.1016/j.carbpol.2016.07.085.
- [8] Naseem, A., Tabasum, S., Mahmood, K., Zuber, M., Ali, M., y Noreen, A. (2016). Lignin-derivatives based polymers, blends and composites: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93

(A), pp.296-313. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.08.030.

[9] Montoya Franco, M. L., & Muñoz Herrera, G. A. (2014). *Degradación de lignina en lodos provenientes de la industria papelería mediante el empleo del Ganoderma lucidum*. Universidad Tecnológica de Pereira. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4966/615321M798.pdf?sequence=1>

[10] Knežević, A., Milovanović, I., Stajić, M., Lončar, N., Brčeski, I., Vukojević, J., y Čilerdžić, J. (2013). Lignin degradation by selected fungal species. *Bioresource Technology*, 138 (1), pp.117-123. Doi: 10.1016/j.biortech.2013.03.182.

[11] Tirado, D. N., Jáuregui, J., Tirado, J. G., Martínez, P. A., Guevara, F., y Miranda, L. A. (2016). Production of cellulases and xylanases by white-rot fungi cultured in corn stover media for ruminant feed application. *Animal Feed Science and Technology*, 221 (A), pp.147-156. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.09.001.

[12] Bari, E., Reza, H., Reza, H., Schmidt, O., Ohno, K. M., Clausen, C. A., y Suhaimi, E. (2016). Assessing the destructive behaviors of two white-rot fungi on beech Wood. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 114 (1), pp.129-140. Doi: 10.1016/j.ibiod.2016.06.010.

[13] Rojas Verde, M. G. (2010). *Producción de enzimas lignolíticas por hongos de pudrición blanca aislados en Nuevo León*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/2244/1/1080190928.pdf>

[14] Moreno, O., Sánchez, G., Marmolejo, J. G., Pérez, K., y Moreno, C. E. (2015). Diversidad de hongos Ophiostomatoides en pinos de la sierra Fría de Aguascalientes, México, asociados con *Dendroctonus mexicanus*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86 (1), pp.1-8. Doi: 10.7550/rmb.46751.

[15] Armengol, J., Vicent, A., Torné, L., García-Figueres, F., y García-Jiménez, J. (2001). Hongos asociados a decaimientos y afecciones de madera en vid en zonas españolas. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 27 (1), pp.137-153.

[16] Castañeda Briones M. T. (2003). *Microbiología Aplicada: Manual de Laboratorio*. Sección de Producción y Distribución Editoriales de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. México, D. F.

[17] Biolog (2007). Fungi Identification Test Panel. En línea <http://www.biolog.com/pdf/milit/00A%20010rB%20FF%20Sell%20Sheet%20Mar07.pdf>. Recuperado el 15/01/18

[18] Gaceta Oficial del Distrito Federal. (1985). NMX-AA-015-1985. *Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales – muestreo- método de cuarteo*. México

[19] Gaceta Oficial del Distrito Federal. (1984). NMX-AA-25-1984. *Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos - determinación del pH - método potenciométrico*.

[20] Gaceta Oficial del Distrito Federal. (1984). NMX-AA-18-1984. *Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos - determinación de cenizas*.

[21] Sadzawka R. A., Carrasco R. M. A., Grez Z. R. y Mora G. M. (2005). Materia orgánica. Pérdida por calcinación a 550 °C en Sadzawka R. A., Carrasco R. M. A., Grez Z. R. y Mora G. M. *Métodos de análisis de compost Revisión 2005*. Centro Regional de Investigación La Platina (Eds.). Santiago, de Chile. pp. 49-

- [22] Gaceta Oficial del Distrito Federal. (1985). NMX-AA-67-1985. *Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de la relación carbono/nitrógeno*.
- [23] Bueno, P., Díaz, M. J. y Cabrera, F. (2008). Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. Consejo superior de Investigaciones Científicas. En línea <<http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>>. Recuperado el 16/01/18
- [24] Stadard Method. (2001). *Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood. Technical Association of pulp and paper industry. Standard Method D1106*.
- [25] Cabildo Miranda M. P., Claramunt Vallezpí R. M., Cornago Ramírez M.P., Escolástico León C., Esteban Santos S., Farrán Morales M. A., García Fernández M. A., López García C., Pérez Esteban J., Pérez Torralba M., Santa María Gutiérrez M. D. y Sanz del Castillo D. (2008). *Reciclado y tratamiento de residuos*. Edición digital actualizada. Universidad Nacional de Educación a Distancia (Eds.). Madrid, España.
- [26] Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor (Experiencias en América latina). Santiago de Chile. En línea <<http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>>. Recuperado el 14/01/18
- [27] Navarro García G. y Navarro García S. (2013). *Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Tercera edición. Mundi-Prensa (Eds.). Madrid, España.
- [28] García Cortes V. (2004). *Introducción a la Microbiología*. Segunda edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica.
- [29] Isaza-Arias, G. C., Pérez-Méndez, M. A., Laines-Canepa, J. R., y Castañón-Nájera, G. (2009). Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y Ciencia*, 25 (3), pp.233-243.

Plan de manejo de residuos peligrosos generados en la Industria Manufacturera de Cigüeñales

¹Griselda González Cardoso, ²Eva Verónica Ortiz Sánchez, ³Carolina Dafne Camarillo Lima, ⁴Adriana de la Luz Cisneros Ramos, ⁵Alfonso Espitia Cabrera

¹ Departamento de Energía Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, México D.F. 015553189074, grgc@correo.azc.uam.mx, ^{2,3,4,5} Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco

Resumen

En una industria manufacturera de cigüeñales para automóviles se realizó el plan de manejo de los residuos generados en los diversos procesos que se llevan en la instalación, los resultados muestran que se generan residuos peligrosos con un volumen mayor a 10 toneladas anuales convirtiéndolos en grandes generadores de residuos peligrosos. El plan de manejo propuesto establece en primera instancia la valorización de los residuos enfocadas principalmente a la minimización, adoptando medidas operativas y administrativas que permitan disminuir la cantidad de productos y subproductos generados que precisan un tratamiento o disposición final.

Palabras Clave: *Residuos peligrosos, cigüeñales, plan de manejo, valorización*

1. Introducción

El cigüeñal es la pieza del motor del automóvil que consiste en un eje con varios codos, en cada uno de los cuales se ajusta una biela, y está destinada a transformar el movimiento rectilíneo de los pistones en rotativo, o viceversa.

La industria manufacturera de cigüeñales, ubicada en el Municipio de Ramos Arizpe en el Estado de Coahuila, genera residuos peligrosos con un volumen anual de 18.8 toneladas convirtiéndolos en grandes generadores, las actividades donde se generan estos residuos es principalmente en las líneas de producción provenientes del desbaste de cigüeñales de acero, el artículo 32 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [1] señala que los residuos provenientes de los procesos metalúrgicos, y de las actividades de laminación y desbaste primario de hierro y acero, aceros comunes y especiales, así como sus procesos intermedios y de acondicionado final son residuos peligrosos.

La empresa genera residuos peligrosos que están clasificados en la NOM-052-SEMARNAT-2005 [2], derivados de proceso de fabricación y del mantenimiento a maquinaria y equipo, así como de servicios auxiliares tales como aceites, solvente gastado, lodos de floculación, materiales biológico-infeccioso, trapos, papel filtro usado, cubetas y envases de reactivos, entre otros.

2. Antecedentes

En el diagnostico básico de residuos del 2012 [3], se menciona que la industria metalúrgica genera 186,393.22 toneladas de residuos al año. Por lo que la Ley General para la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) [4] establece la obligación de presentar ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) un plan de manejo para aquellas organizaciones que, dentro de su proceso o servicio que ofrezca, genere más de 10 toneladas por año de residuos peligrosos.

Por lo anterior la LGPGIR plantea que los planes de manejo son instrumentos cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el diagnóstico básico para la Gestión Integral de Residuos.

3. Metodología

La metodología que se utilizó para este trabajo fue la siguiente:

- I. Diagnóstico del proceso productivo. Se verificaron las corrientes de generación de residuos, para lo que se recopiló y analizó la siguiente información:
 - Insumos de proceso
 - Insumos de servicios
 - Balance de materiales
 - Determinación de áreas de generación de residuos
 - Determinación de volúmenes de generación de residuos
- II. Diagnóstico del manejo actual de residuos. Se analizaron los procedimientos en la industria para el manejo de los residuos generados y se revisó:
 - Infraestructura
 - Destinos o formas de manejo (prestadores de servicio, tratamientos, entre otros)
 - Análisis de los residuos peligrosos. Se identificaron residuos con potencial de:
 - Minimización
 - Valorización
 - Aprovechamiento
- III. Propuesta de plan de manejo.

4. Resultados

4.1 Descripción del proceso productivo

Las operaciones que se llevan a cabo en la industria para la manufactura de cigüeñales son:

- Fresado: Corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos.
- Desbaste: Elimina todas las impurezas de la superficie del material, para obtener una superficie plana con pequeña rugosidad en las partes del cigüeñal.
- Torneado: Consta de un armazón muy rígido donde se fija la pieza y de una herramienta que, arrancando material en forma de viruta, da la forma deseada en las partes de descargas de apoyo del cigüeñal.
- Taladrado profundo: Utilizado para hacer hoyos relativamente profundos, ya sean estos abiertos o cerrados.
- Templado por tratamiento térmico: Consiste en el rápido enfriamiento de la pieza para obtener determinadas propiedades de los materiales.
- Rectificado: Utilizado en la etapa final de fabricación, tras el torneado o fresado, para mejorar la tolerancia dimensional y el acabado superficial del producto.
- Avellanado: Es una operación de arranque de viruta por medio de una herramienta con forma cónica.
- Balanceo: Es una técnica para corregir o eliminar fuerzas y momentos de inercia indeseables en el cigüeñal.
- Pulido: Se realiza una limpieza usando abrasivos finos sobre poleas para dar una superficie lisa, posteriormente el material es ingresado al lavado y secado.
- Mantenimiento: Consiste en la reparación de maquinaria y equipo.

3.2. Identificación, clasificación y cuantificación de residuos peligrosos.

Para la identificación, y la cuantificación de los residuos peligrosos generados se realizaron diagramas de las entradas y salidas de materiales en el proceso, el resultado se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Cantidad anual de residuos peligrosos generados

Área de generación	Residuos peligrosos	Volumen (ton/año)	Estado físico	Características de peligrosidad
Maquilado	Solvente gastado	0.125	Líquido	Inflamable
Maquilado	Aceite gastado	2.6	Líquido	Tóxico
Maquilado	Contenedores vacíos de pintura	0.066	Sólido	Tóxico Inflamable
Mantenimiento	Lámparas fluorescentes	0.058	Sólido	Tóxico
Mantenimiento	Balastos	0.033	Sólido	Tóxico
Maquilado	Tambo	0.75	Sólido	Tóxico
Maquilado	Porrón	0.0265	Sólido	Tóxico
Maquilado	Tote	0.083	Sólido	Tóxico
Mantenimiento, maquilado	Pilas alcalinas	0.05	Sólido	Corrosivo Tóxico
Mantenimiento	Baterías de radio	0.05	Sólido	Corrosivo Tóxico
Maquilado	Papel filtro contaminado	1.6	Sólido	Tóxico
Mantenimiento maquilado y limpieza del área	Sólidos contaminados	4.41	Sólido	Tóxico Inflamable
Almacén de materia prima	Químico de laboratorio usado o caduco	0.083	Líquido	Tóxico Inflamable Reactivo
Área de entrega	Desoxidante gastado	0.058	Líquido	Tóxico Inflamable
Almacén de materia prima	Pintura caduca	0.041	Líquido	Tóxico

Tabla 1. Cantidad anual de residuos peligrosos generados (continuación)

Área de generación	Residuos peligrosos	Volumen (ton/año)	Estado físico	Características de peligrosidad
Planta de tratamiento	Lodo de floculación	8.75	S	Tóxico
Servicio médico	Residuos biológico infeccioso	0.0008	S	Tóxico Biológico Infeccioso

De acuerdo con los volúmenes de los residuos peligrosos identificados en la industria manufacturera de cigüeñales se genera un total de 18,7843 ton/año, por lo que se considera gran generador. En la figura 1 se observa que el principal residuo peligroso generado son los lodos de floculación con el 46.58%, le siguen los sólidos contaminados con el 32% y el aceite gastado con el 13.84% del total generado, estos últimos generados principalmente en las actividades de mantenimiento en las líneas de producción.

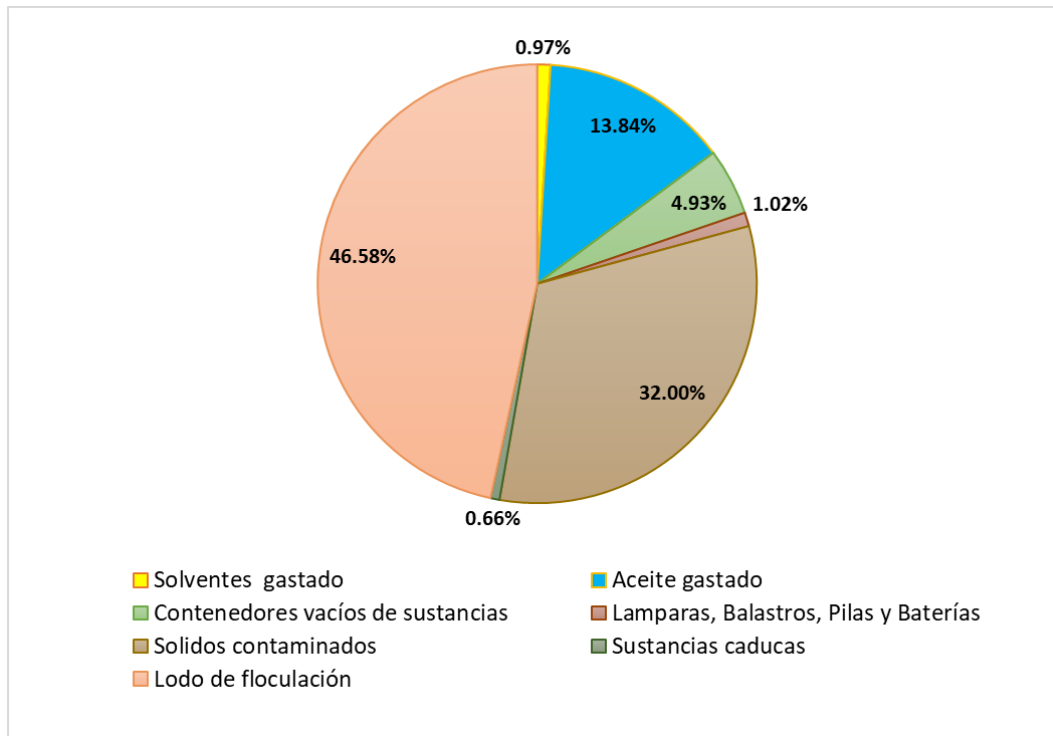


Figura. 1. Porcentaje de generación residuos peligrosos

3.2.1. Característica de los residuos.

- Lodos de floculación

El agua residual que resulta del lavado de las pizas contiene detergentes, residuos de los filtros y aceites. Esta agua llega a la planta de tratamiento que cuenta con dos tanques, el primer tanque llamado de recepción tiene una capacidad de 90,000 litros, el segundo tanque de floculado tiene una capacidad de 40,000 litros y en este se realiza la emulsión agregando sulfato de aluminio, sosa caustica liquida al 50% y aglutinante finek flock. La mezcla se hace a través de agitación de 1 a 2 horas con aire y se deja reposar por dos horas. Posteriormente se descarga el agua tratada y los lodos se quedan en la pila en donde se termina de evaporar el agua que contiene, la composición química de los lodos así como, la norma que determina el método de análisis se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química de los lodos de floculación

Parámetro	Unidad	Resultado	Método
NMPC Fecales	NMP/100ml	11	NMX-AA-042-1987
Sulfatos	mg/L	5525.8 ± 615.02	NMX-AA-074-1981
Nitratos	mg/L	23.2 ± 1.25	NMX-AA-082-1986
Cloruros	mg/L	335.7 ± 10.27	NMX-AA-073-SCFI-2001
Dureza Total	mg/L	3001.4 ± 80.74	NMX-AA-072-SCFI-2001

S. Disueltos Totales	mg/L	12517 ± 1374.37	NMX-AA-034-SCFI-2001
Aluminio	mg/L	1183.99 ± 143.38	EPA 6010C
Arsénico	mg/L	< 0.02	EPA 6010C
Bario	mg/L	0.42 ± 0.04	EPA 6010C
Cadmio	mg/L	0.034 ± 0.002	EPA 6010C
Cromo Total	mg/L	0.53 ± 0.05	EPA 6010C
Cobre	mg/L	1.18 ± 0.11	EPA 6010C
Fierro	mg/L	574.78 ± 65.29	EPA 6010C
Magnesio	mg/L	124.5 ± 6.77	EPA 6010C
Plomo	mg/L	1.357 ± 0.09	EPA 6010C
Zinc	mg/L	10.69 ± 0.68	EPA 6010C
Calcio	mg/L	708.1 ± 33.49	EPA 6010C
Sodio	mg/L	1383.8 ± 43.17	EPA 6010C
Potasio	mg/L	140.7 ± 14.29	EPA 6010C

- Solidos contaminados

El operador de las actividades de limpieza y mantenimiento en su área de trabajo, en las líneas de producción, genera solidos contaminados como jerga, escobas, recogedor, jalador, fibra, cartón, trapos, papel, plástico, franelas, lija contaminada, equipo de protección personal y materiales de trabajo contaminados con sustancias químicas y aceite gastado de corte. Estos, en su mayor parte, son residuos inorgánicos.

- Aceite gastado

El aceite es utilizado en la lubricación de la maquinaria y equipo por lo cual debe ser reemplazado con un aceite virgen o un aceite refinado al cual se le hayan retirado las impurezas. El aceite, en la mayoría de los casos, contiene aditivos azufrados de extrema presión, en un 70% de los casos parafinas cloradas y cada vez más aceites sintéticos (poliglicoles y ésteres).

3.3. Manejo actual de los residuos peligrosos.

- Lodos de floculación.

Una vez terminado el tratamiento de aguas residuales el lodo de floculación es retirado mecánicamente y almacenado en una cisterna, y son enviados a confinamiento.

- Solidos contaminados.

El operador deposita los residuos en contenedores rojos que se encuentran sobre los pasillos en las áreas operativas y de mantenimiento los cuales están identificados con un letrero de “Residuos Peligrosos”. El personal de limpieza los recolecta y los envía al almacén temporal de residuos peligrosos, estos son enviados a co-procesamiento.

- Aceite gastado.

El aceite se recolecta según la cantidad generada: Si la cantidad es mayor a 200 litros, se debe vaciar en un Tote. Y si es menor se vacía en un tambo o porrón. Estos son enviados un centro de reciclaje de aceites gastados.

3.4. Propuesta del plan de manejo.

La propuesta del plan de manejo de residuos peligrosos contempla medidas de minimización para alcanzar los beneficios ambientales, sociales y económicos generados por la reducción de los costos asociados, directa e indirectamente, y por el manejo de los residuos peligrosos. En la tabla 3 se presenta el resumen de las medidas propuestas.

Tabla 3. *Propuestas de minimización para los residuos peligrosos*

Residuo peligroso	Medida	Propuesta	Descripción
Lodo de floculación	Operativa	Balance de agua	Control de las entradas y salidas
	Administrativa	Limitar el uso de agua en los procesos de limpieza	Capacitación
		Programa de ahorro de agua de proceso	Implementación de acciones para la minimización del agua en proceso.
Sólidos contaminados	Operativas	Controlar las medidas de inspección de cigüeñales	Mejorar la inspección por parte del personal encargado con capacitación
		Evaluación de otras medidas de limpieza para la maquinaria.	Evaluación operacional de alternativas de limpieza
	Administrativa	Limitar el uso de material auxiliar en los procesos de limpieza.	Capacitación
Aceite gastado	Operativa	Deposito centralizado de suministro de aceite	Implementación de depósitos en las líneas de producción
		Mecanizado en seco	Mecanizado mediante la utilización de la mínima cantidad de lubricante
	Administrativa	Mantenimiento predictivo y preventivo	Control de mantenimiento para reducir los tiempos de mantenimientos correctivos

4. Conclusiones.

En los diversos procesos que se llevan a cabo en la industria manufacturera de cigüeñales para automóviles, se generan 17 tipos de residuos peligrosos con un volumen anual de 18.8 toneladas convirtiéndolos en grandes generadores de residuos peligrosos.

Se realizó el diagnóstico del proceso y del manejo actual de los residuos peligrosos, con el fin de obtener la información necesaria para el plan de manejo. Los principales residuos peligrosos con una aportación de 85% son: lodos de floculación, sólidos contaminados y aceite gastado, por lo que en la mayor parte el plan de manejo se enfoca en estos residuos.

Las propuestas aportadas en el plan de manejo están enfocadas principalmente a la minimización de cada uno de los residuos, adoptando medidas operativas y administrativas que permitan disminuir la cantidad de productos y subproductos generados que precisan un tratamiento o disposición final.

Referencias Bibliográficas.

- [1] DOF (2014). *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación*, 28 de enero de 1988. Reforma: Diario Oficial de la Federación 31/10/2014. México. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5366658&fecha=31/10/2014. Fecha de consulta 5 de marzo de 2018.
- [2] DOF (2006). *NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación*, 23 de junio de 2006. México. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4912592&fecha=23/06/2006. Fecha de consulta 26 de abril de 2018.
- [3] INECC. (2012). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos-versión extendida 2012.
- [4] DOF (2013). *Ley General Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación*, 28 de enero de 1988. Reforma: Diario Oficial de la Federación 22/05/2015. México. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5393377&fecha=22/05/2015. Fecha de consulta 5 de marzo de 2018.

La Planta de Composta de Bordo Poniente y el Programa de Separación en Fuente en la Ciudad de México

¹Luis Raúl Tovar Gálvez, ²Claudia Rodríguez Tapia, ³María Eugenia Gutiérrez Castillo, ⁴Ricardo Estrada Núñez

¹ Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, Calle 30 de Junio de 1520 s/n Barrio La Laguna Ticoman, 07340, Deleg. Gustavo A. Madero, CDMX, 57296000-52716, ltovarg@ipn.mx, ² Unidad Profesional Interdisciplinaria en Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto La Laguna Ticoman, 07340 Deleg. Gustavo A. Madero, CDMX, 5729000-52719, clrtapiamx@yahoo.com.mx, ³ Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, Calle 30 de Junio de 1520 s/n Barrio La Laguna Ticoman, 07340, Deleg. Gustavo A. Madero, CDMX, 57296000-52707, ainegue9@gmail.com, ⁴ Agencia de Gestión Urbana de la Ciudad de México, Subdirección de Reciclaje, Calle Donceles 94, Colonia Centro (Área 9), C.P. 06090, Delegación Cuauhtémoc. Ciudad de México, 51342700, restradan@hotmail.com

Resumen

A raíz de una serie de desencuentros en 2009 entre el Gobierno del D.F. y la CONAGUA se firmó un acuerdo en 2010 para la clausura del Bordo Poniente IV, único relleno sanitario con que contaba la ciudad, con un área de 360 ha y 70 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos ahí dispuestos. Una de las estrategias que entonces el Gobierno del D.F. tuvo que desarrollar fue un programa de separación en fuente que inició en marzo de 2011 y que a la fecha continúa, único en el país, y por otro lado, fortalecer la Planta de Composta de Bordo Poniente que procesaba 20 ton/día en 2001 llegando a procesar hasta 2,600 ton/día de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y poda en 2012, disminuyendo la disposición final en rellenos sanitarios en los estados de México y Morelos e incrementando el reciclaje de la fracción inorgánica. Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica de la fracción orgánica separada en fuente tanto en la época de secas como en la época húmeda, así como de la composta obtenida apegándose a los parámetros establecidos en la NADF-020-AMBT-2011. La calidad de la composta fluctuó principalmente entre los tipos B y C, particularmente se cumplió con el contenido de los micronutrientes, en todas las muestras debajo de lo que establece la norma, esto atribuido principalmente a la limpieza de la fracción orgánica resultado del programa de separación en fuente.

Palabras Clave: *Bordo Poniente etapa IV, composteo, Ciudad de México, fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, separación en fuente.*

1. Introducción

En noviembre de 1992, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión Nacional del Agua y el Departamento del Distrito Federal, celebraron un convenio para el uso de los terrenos federales del Lago de Texcoco con el objeto de llevar a cabo la disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) que los capitalinos generaban, el depósito de residuos de demolición y construcción del drenaje profundo y el control y manejo de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de México.

Con base en este convenio, la Comisión Nacional del Agua autorizó al Departamento del Distrito Federal el uso de 1,000 hectáreas en la zona federal del Lago de Texcoco para construir y operar plantas de aprovechamiento y tratamiento de RSU, así como para realizar obras del relleno sanitario tecnificado para la disposición final de los mismos, generados en la zona metropolitana de la Ciudad de México (CDMX). Con base en dicha autorización, la cuarta etapa del relleno sanitario “Bordo Poniente” (BPIV) inició sus operaciones en 1994.

Con fecha 7 de septiembre del 2004, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), aprobó el proyecto denominado Cierre de BPIV, en un plazo de 3.85 años, mismo que se cumplió el 31 de julio del 2008.

El 25 de julio del 2008, la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal (SOBSE) solicitó a la SEMARNAT, la ampliación del tiempo establecido en la autorización mencionada y con fecha del 19 de agosto del mismo año, dicha dependencia otorgó al Gobierno del Distrito Federal (GDF) la ampliación del plazo mencionado, hasta el 15 de enero del 2009, para que de manera gradual y sin afectar a la población del Distrito Federal ni impedir la prestación de un servicio público, se implementaran las medidas necesarias para la suspensión definitiva de recepción de RSU en el BPIV [1].

Un año después, en el mes de agosto del 2010 el Gobierno Federal y el GDF acordaron las bases para llevar a cabo el cierre y clausura definitiva del BPIV. El día 22 de noviembre del 2010, el GDF celebró un convenio de coordinación con el Gobierno Federal para el cierre y clausura del BPIV y la explotación y aprovechamiento del biogás que se genera en el mismo, en el que se estableció la obligación a cargo de esta entidad federativa, de no disponer RSU en el BPIV a partir del 31 de diciembre del 2011 [2].

En el mes de octubre de 2012 se llevó a cabo el primer convenio modificatorio al convenio de coordinación para el cierre y clausura definitiva del BPIV, este tuvo por objeto incrementar el área de la planta de composta de Bordo Poniente (PCBP) cediendo a ésta el terreno y edificios de lo que fue la planta de selección de Bordo Poniente [3], el área total de la PCBP es actualmente de 38 ha [4].

En paralelo a las acciones anteriores, la SOBSE inició el programa de separación selectiva el 3 de marzo de 2011, por lo que se requirió fortalecer la supervisión de la descarga de los RSU separados (orgánicos e inorgánicos) en las 13 estaciones de transferencia (ET's) con que contaba la ciudad entonces, con el propósito de mejorar la calidad de la separación mediante acciones de sensibilización hacia el personal operativo de los vehículos recolectores delegacionales que han jugado un papel central en el programa. Con diferentes grados de avance, las 16 Delegaciones implementaron sus programas de separación y recolección selectiva, sin embargo, se observó la necesidad de exigir mayor compromiso por parte de aquellas Delegaciones que mostraban resultados no satisfactorios. Con este objetivo se promovió el Programa “Vamos a Separar” que estuvo orientado al aprovechamiento de los residuos orgánicos que se generan en la CDMX, como materia prima en la producción de composta, formalizado a través de la firma de un convenio en el que participaron el jefe del GDF, el secretario general de la Sección 1 del Sindicato Único de Trabajadores del GDF (SUTGDF) y el titular de la SOBSE.

La participación de los trabajadores del SUTGDF, consiste, a la fecha, en realizar la recolección separada de los residuos orgánicos e inorgánicos y corresponde a la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU), perteneciente a la SOBSE, mantener esa separación de residuos, por su paso en la infraestructura de manejo y tratamiento de RSU. El programa tuvo por objetivo recuperar la mayor cantidad de fracción orgánica que se generaba en la CDMX, para su aprovechamiento como materia prima en la producción de composta. Los objetivos del compostaje son: estabilización de la FORSU, reducción de su masa y volumen, secado de la composta, eliminación de sustancias fitotóxicas como semillas indeseables y su sanamiento.

En la Figura 1 se muestra el flujo en el sistema de manejo de RSU de la CDMX de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) y de poda después de que el BPIV fue clausurado. El único sitio de disposición final al que se están enviando RSU de la CDMX que cuenta con recuperación de biogás es el relleno sanitario “La Perseverancia” ubicado en Cuautla, Mor.

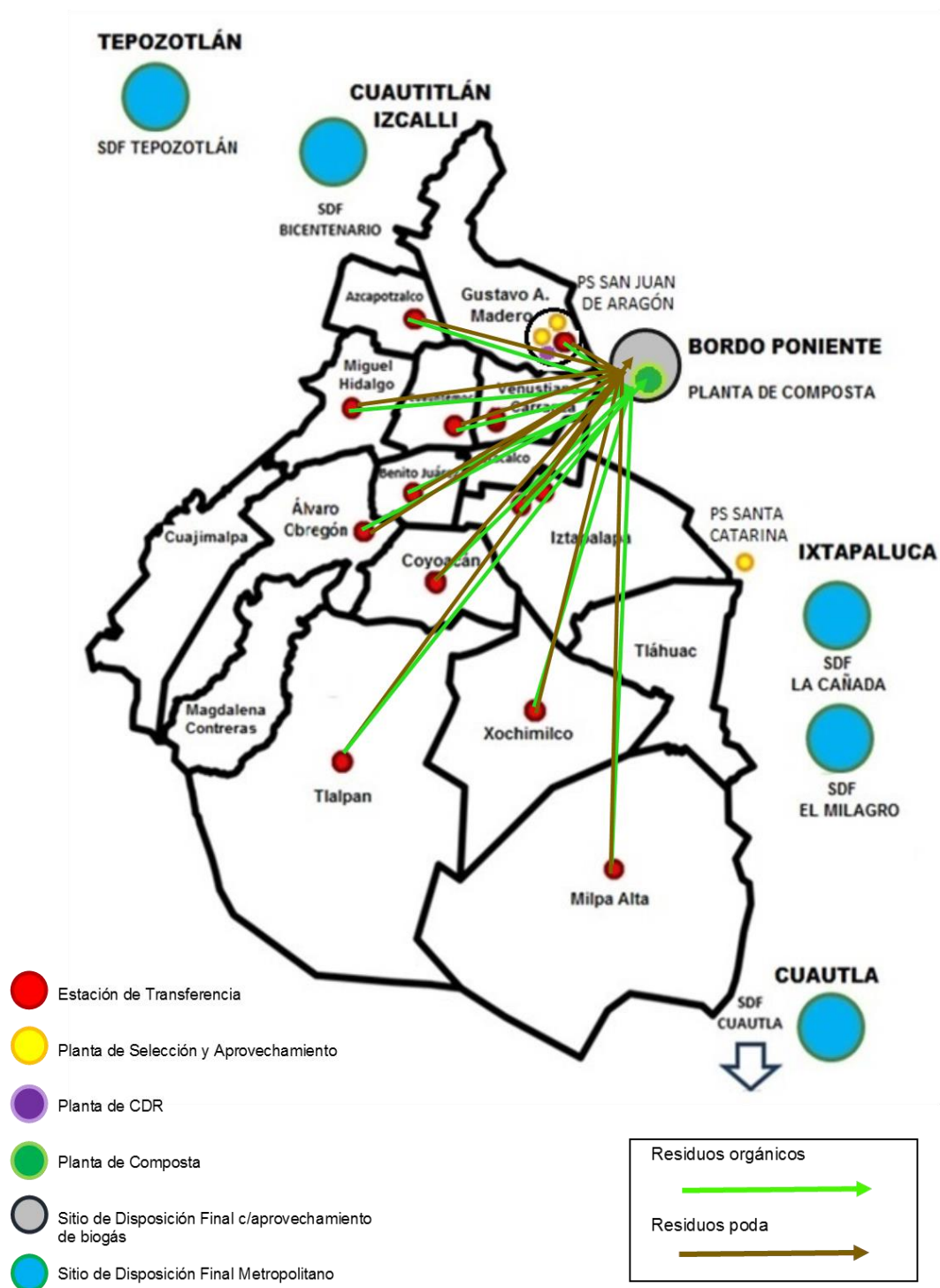


Figura 1. Origen y destino de la FORSU en la Ciudad de México

El modo de operación del programa de separación en fuente en la CDMX se detalla a continuación:

- a) Los habitantes de la CDMX separan los RSU en dos fracciones: orgánicos e inorgánicos.
- b) El Servicio Público de Limpia, a cargo de las Delegaciones Políticas, recolecta de manera separada los residuos sólidos de la siguiente forma: lunes, miércoles, viernes y domingos los residuos inorgánicos; martes, jueves y sábados los residuos orgánicos.
- c) Los mercados públicos iniciaron la separación de los residuos orgánicos e inorgánicos con la participación de locatarios y público en general a mediados de 2011.
- d) La DGSU designa en las 13 ET's, tolvas y cajas exclusivas para la recepción de los residuos orgánicos limpios.
- e) En la PCBP se recibe la fracción orgánica de los RSU provenientes de las ET's para su aprovechamiento en el proceso de elaboración de composta.
- f) El GDF paga a la Sección 1 del SUTGDF, \$50.00 (Cincuenta pesos 00/100 M.N.) por tonelada de residuos orgánicos limpios, ingresados a la PCBP, sin considerar los residuos provenientes de la poda.

La población de la CDMX recibió información vía los operadores del Servicio Público de Limpia y en algunas Delegaciones se contó con el apoyo de promotores ambientales, quienes informaron a la población acerca de la forma en cómo debe entregar separadas las fracciones orgánica e inorgánica de los residuos que genera. Un factor que permitió acelerar el éxito del Programa “*Vamos a Separar*” fue la verificación de la calidad de los residuos depositados en las ET's. En éstas, los camiones recolectores eran descargados a piso con el fin de revisar que únicamente hubiera fracción orgánica. Dicha actividad fue supervisada por el personal de la Subdirección de Reciclaje de la Dirección de Transferencia y Disposición Final. Cuando la fracción inorgánica estuviera presente, el operador solicitaba al personal del servicio de limpia que colaborase para su retiro y de esta forma contar, en la medida de lo posible, con fracción orgánica libre de materiales inorgánicos.

Este programa de separación en fuente a la fecha continua.

2. Metodología

Los métodos analíticos utilizados tanto para la FORSU como para la composta aparecen en el Anexo 1 de la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 [5], complementados con los del U.S. Composting Council, incluyendo métodos de muestreo [6], el muestreo tanto de la FORSU como de la composta terminada se llevó a cabo en la PCBP. Para la determinación de estabilidad y madurez en composta se utilizó el kit de Solvita® (Woods End Laboratories).

3. Resultados y Discusión

En la CDMX hay dos épocas que afectan la recolección y el manejo de los RSU, la primera es la seca que va de mediados de diciembre a principios de junio y la húmeda que va de mediados de junio a principios de diciembre, en la Tabla 1 se muestran los parámetros de 19 muestras de FORSU tomadas en las dos épocas.

En la Tabla 2 aparecen resultados de 20 muestras de composta evaluadas en las dos épocas del año, en 2016 y 2017.

En la Figura 2 se muestra el kit de Solvita® con dos sensores, uno para detectar CO₂ y otro para NH₃ en una muestra de composta.

Tabla 1. Promedios de diferentes parámetros de 19 muestras de la FORSU tomadas en las épocas húmeda caliente y seca fría en 2017

Parámetro	Unidades	FORSU	
		Época húmeda-caliente	Época seca- fría
Número muestras		n = 9	n = 10
Físicos			
Granulometría	mm	< 16mm	< 16mm
Material inerte			
Roca	%	Ausente	Ausente
Plástico	%	Ausente	Ausente
Vidrio y metal	%	Ausente	Ausente
Temperatura	°C	24.1±0.5	28±0
Químicos			
pH		4.46±0.17	4.90±0.20
CE	dS/m	2.82±0.76	2.46±0.70
Humedad	%	71.28±5.74	68.44±4.00
ORP	(mV)	152.80±38.41	146.06±51.6
ST	%	28.74±5.73	31.68±3.96
SV	%	78.81±5.97	87.33±3.80
CO	%	43.63±3.29	48.74±2.37
DQO soluble	mg O ₂ /kg ST	187.11±85.51	247.40±106.37
DQO total	mg O ₂ /kg ST	1081.78±135.06	982.15±111.87
Nitrógeno Total (NT)	% base seca	1.86±0.2	1.48±0.18
N-NH ₄	(mg/kg)	0.52±0.33	0.50±0.19
N-NO ₃	(mg/kg)	0.06±0.02	0.09±0.02
Fósforo (P)	% base seca	nd	nd
Potasio (K)	% base seca	1.0±0.09	0.79±0.06
Relación C/N		23.51± 3.18	33.67±5.74
Elementos*			
As	mg/kg	nd	nd
Ag	mg/kg	0.06	0.033
Al	mg/kg	2581.63±246	1229.40±227
B	mg/kg	13.22	13.22
Ba	mg/kg	32.42±2.15	27.62±1.63
Ca	mg/kg	19411.38±2115.41	16233±2283.53
Co	mg/kg	1.60±0.13	1.14±0.14
Cr	mg/kg	8.67±3.03	5.35±1.95
Cu	mg/kg	34.21±23.37	19.97±15.14
Fe	mg/kg	3348.24±329.8	2161.83±247.5
Li	mg/kg	1.97±0.25	2.03±0.23
Mg	mg/kg	2999.05±267.6	2396.04±192.9
Mn	mg/kg	81.37	65.67±4.72
Mo	mg/kg	2.33	2.18±0.55
Ni	mg/kg	8.55±1.54	7.78±1.89
Si	mg/kg	14.74±4.00	13.66±3.68
Sr	mg/kg	1.20±0.05	1.489±0.16
Ti	mg/kg	82.94±4.51	50.60±4.93
V	mg/kg	3.63±0.68	2.69±0.51
Zn	mg/kg	81.785±6.58	63.65±5.29

nd = no determinado; * base seca; en el análisis de los elementos algunos se realizaron por triplicado y los resultados se presentan con desviación estándar, sin embargo, hubo elementos que solo se corrieron una sola vez

Parámetro	Unidades	Composta de PCBP			NORMA NADF-020-2011		
		Época húmeda-caliente 2016	Época seca-fría 2017	Época húmeda-caliente 2017	A	B	C
Número muestras		n = 11	n = 3	n = 6	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta	Agricultura ecológica y reforestación	Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación
Físicos							
Granulometría	mm	< 16mm	< 16mm		≤ 10	≤ 30	≤ 30
Material inerte							
Roca	%	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	< 3%	< 5%*
Plástico	%	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	< 0.5%	< 1%*
Vidrio y metal	%	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	< 1%	< 2%*
Temperatura	°C	24.1 ± 0.5	28 ± 0	26 ± 0	≤ 10	≤ 15	≤ 15
Químicos							
pH		8.6 ± 0.5	8.6 ± 0.03	8.6 ± 0.37	6.7 - 7.5	6.5 - 8	6.5 - 8
C.E.	dS/m	2.4 ± 0.9	8.6 ± 0.03	2.1 ± 0.52	< 4	< 8	< 12
Humedad	%	42.9 ± 5.0	12.5 ± 0.9	31.8 ± 3.3	25-35	25-35	25-45
Materia Orgánica	% base seca	43.5 ± 4.4	39.4 ± 0.3	42 ± 1.6	> 20	> 20	> 20
Nitrógeno Total (N _T)	% base seca	1.7 ± 0.2	1.8 ± 0.3	1.63 ± 0.09	De 1% al 3% en cualquiera de ellos y si suma ≤ 7%, portará la leyenda "Composta mejorador de suelo". Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% debe portar la leyenda "Composta para nutrición vegetal" y se indicarán las cantidades de los macronutrientes		
Fosforo (P)	% base seca	0.9 ± 0.21	0.6 ± 0.16	0.7 ± 0.03			
Potasio (K)	% base seca	0.49 ± 0.15	0.7 ± 0.05	0.8 ± 0.02			
Relación C/N		18.1 ± 3.6	12.8 ± 2.4	14.4 ± 1.1	< 15	< 20	< 25
Elementos traza							
As	mg/kg*	N.D	N.D	nd	0.1	0.7	2
Cd	mg/kg*	N.D	N.D	nd	0.7	1	3
Cr total	mg/kg*	23.7 ± 13.6	19 ± 1.7	nd	70	70	250
Cu	mg/kg*	86.9 ± 13.6	111 ± 10	nd	70	150	400 – 500
Hg	mg/kg*	nd	nd	nd	0.4	0.7	3
Ni	mg/kg*	19.1 ± 3.1	16.52 ± 1.0	nd	25	60	100
Pb	mg/kg*	23.5 ± 21.7	11.2 ± 4.4	nd	45	120	200
Zn	mg/kg*	174.3 ± 10.3	192.0 ± 11.5	nd	200	500	1200 – 1800

Tabla 2. Calidad de la composta de la PCBP en las dos épocas del año evaluadas en 2016 y 2017

N.D.=No detectado; nd=No determinado; *base seca

En la Tabla 3 se resumen los datos obtenidos para los parámetros biológicos estudiados, en ésta se observa que las muestras de composta cumplieron con la prueba de estabilidad y madurez, fitotoxicidad y con el nivel de patógenos permitidos por la norma, pero coliformes fecales, Salmonella y huevos de helminto viables solo se determinaron en las muestras de la época húmeda caliente 2017.



Figura 2. Kit de Solvita® para la determinación de estabilidad y madurez en composta

Tabla 3. Parámetros biológicos de la calidad de la composta en el periodo de estudio (2016–2017)

Parámetro	Unidades	Composta de PCBP			NORMA NADF-020-2011		
		Época húmeda-caliente 2016	Época seca-fría 2017	Época húmeda-caliente 2017	A	B	C
Numero muestras		n = 11	n = 3	n = 6			
Índice de Madurez Solvita	escala 1 - 8	nd	nd	6.33±0.4	7	6	5
Fitotoxicidad IG	% IG	80	78	75	> 85 %	> 75 %	> 60 %
Coliformes fecales	NMP/g base seca	nd	nd	<1000	< 1000	< 1000	< 1000
Salmonella	NMP/g base seca	nd	nd	<3	< 3 NMP	<3NMP	3NMP
Huevos de helmintos viables	g base seca	nd	nd	ND	1 en 4	1 en 4	1 en 4

En la Tabla 2 se resumen los valores promedio de los distintos parámetros en las épocas húmeda–caliente de los años 2016 y 2017 y la seca–fría del año 2017. Un diagnóstico general de la información presentada en esta tabla, da evidencia de que las muestras de composta analizadas están entre los tipos B o C descritos en la norma NADF-020-AMBT-2011, ya que presentan bajos niveles de metales, apropiados niveles de nitrógeno, de materia orgánica y ausencia de microorganismos patógenos en las seis muestras de la época húmeda-caliente 2017 (Tabla 3) y finalmente el nivel de estabilidad y madurez es adecuado, en este último parámetro únicamente se midieron seis muestras de composta de la época húmeda-caliente 2017. Aunque, dos parámetros quedaron fuera de los límites sugeridos en la norma: el pH dado que la mayoría de las muestras mostraron valores superiores a 8 y la humedad para el caso de las muestras recolectadas en la época seca-fría 2017 puesto que el porcentaje obtenido fue menor al recomendado para cualquier tipo de composta, en esa época del año no se cuenta con agua en la PCBP. En este punto es importante remarcar que el pH de la composta es un parámetro de importancia que debe controlarse durante su producción, dado que las plantas solo pueden absorber las sustancias minerales disueltas en agua a ciertos valores de esta variable y que la variación del pH modifica su grado de solubilidad. Los valores excesivamente elevados o reducidos de pH, pueden ser un factor limitante para la absorción de compuestos minerales en las plantas.

Algunos de los parámetros fisicoquímicos mostraron un comportamiento típico estacional en la calidad de la composta, por ejemplo se observó una menor humedad en la época seca–fría asociado con un alto contenido de sólidos totales, el rango de los porcentajes de materia orgánica no presentó mayores

modificaciones dado que se situó entre 39.5–43.5 %, observando también que el muestreo del producto terminado en distintas pilas de una época mantuvo una relativa consistencia lo que indica que no existe una gran heterogeneidad en el producto generado en cada estación pues las desviaciones estándar en la mayoría de los parámetros fueron bajas. Respecto a los niveles de nitrógeno y potasio y la relación C/N se observó una mayor variabilidad en las diferentes estaciones del año.

Tomando en cuenta las características físicas, químicas y biológicas de la composta producida en la PCBP por un lado, esta composta es considerada un mejorador de suelos, de acuerdo con los macro nutrientes (N, K y P) debido a que la suma de su porcentaje base seca es menor a 7. Respecto a los micronutrientes el producto cumple con los límites de las Categorías A y B. Finalmente, se concluye que las compostas de la época seca–fría corresponden a una composta perteneciente al tipo B, debido a que los valores de parámetros de pH, CE y humedad se encuentran en ese tipo. Mientras que las compostas producidas en la época húmeda–caliente 2016 pertenecen a la Categoría C, debido a que el valor promedio de humedad, $42.9 \pm 5.0\%$, rebasa el límite de la categoría B.

4. Conclusiones

En un estudio realizado en 2014 [7], se determinó que en la CDMX se producen más de 3,000 ton/día de FORSU. Como dato relevante, en el Programa “Vamos a Separar” en el mes de enero del 2012, a un mes de que el BPV se había clausurado, se alcanzó la cantidad de 2,940 ton/día de FORSU separada en fuente, dato que demuestra que si el programa es bien operado se alcanzan cantidades cercanas a las 3,000 ton/día. Aunque, a la fecha se detectan algunas delegaciones que no aplican el programa eficientemente.

El monto para producir composta a partir de 1,835 ton/día de la FORSU separada en fuente y 105 ton/día de poda en 2013 fue de 106.8 millones de pesos al año, incluyendo el transporte de las ET's a la PCBP y el costo del proceso de composteo [7]. Como contraste del transporte y disposición final de la fracción inorgánica no separada correctamente con impurezas de la FORSU y los RSU provenientes de las plantas de selección, 7,961 ton/día, el monto anual en 2013 fue de \$1,066,132,000.00.

El Programa “Vamos a Separar”, a pesar de sus fallas, ahorra a la CDMX una cantidad importante, reduce tanto emisiones de metano a la atmósfera como la cantidad de lixiviados generados en los cinco rellenos sanitarios que la CDMX utiliza y es único en el mundo para una ciudad del tamaño de la CDMX.

La alcalinidad de la composta es atribuible a la presencia de amoníaco en ésta, el proceso de nitrificación es la conversión de la forma más reducida de nitrógeno (NH_3) a su forma más oxidada (NO_3^-) y se realiza en dos etapas por grupos diferentes de microorganismos, las bacterias que oxidan el NH_3 y las bacterias que oxidan el NO_2^- , estos cambios ocurren en el proceso de curado [8] y es recomendable que en la PCBP se siga la concentración de NH_3 en esta etapa del proceso. Otras opciones para reducir el pH de la composta es revolverla en la etapa de curado con más frecuencia o aumentar la relación C/N de la FORSU que se va al compostaje o ambos.

5. Referencias

[1] Asamblea Legislativa del Distrito Federal V Legislatura Estenografía Parlamentaria. V Legislatura. Tercer año de Ejercicio. Comisión de Preservación del Medio Ambiente, Protección Ecológica y Cambio Climático. Titular de la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal Lic. Fernando Aboitiz Saro, comparecencia 27 de enero de 2012.

[2] Convenio de coordinación para el cierre y clausura definitiva de la IV etapa del relleno sanitario Bordo Poniente. 22 de noviembre de 2010.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/CONVENIO%20DE%20COORDINACION%20CIERRE%20B.%20PONIENTE%20IV%20ETAPA.pdf>

[3] Primer convenio modificatorio al convenio de coordinación para el cierre y clausura definitiva de la IV etapa del relleno sanitario Bordo Poniente y la explotación y aprovechamiento del biogás.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/1erConvenioModificCierreyClausuraIVEtapaRellenoSanitarioBordoPoniente.pdf>

[4] CIEMAD IPN Viabilidad de la capacidad del área actual de la planta de composta, así como, su capacidad de operación y la viabilidad de la inclusión del área de la planta de selección a la planta de composta. Mayo 2012. México D.F.

[5] Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal.

[6] W. H. Thompson, Ed.; Co-ed. P. B. Legee, P. D. Millner, M. E. Watson. U.S. Composting Council and U.S. Department of Agriculture. Test Methods for the Examination of Composting and Compost. August 12, 2001.

[7] CIEMAD IPN Estudio de factibilidad para producir energía verde mediante digestión anaerobia al procesar aproximadamente 3,000 ton/día de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos generadas en el Distrito Federal. Comparación de tecnologías. Junio de 2014.

[8] R. Cáceres, K. Malynska, O. Marfà. 2018. Nitrification within composting: A review. Waste Manage. 72, 119-137.

Tratamiento de pañales desechables de rechazo mediante composteo

¹Tavata Ivonne Cobos Rosas, ¹Vanessa Guadalupe Flores Maldonado, ¹Rosa Maria Espinosa Valdemar,
¹Xochitl Quecholac Piña

¹ Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo #180, Col. Reynosa Tamaulipas, Delg.
Azcapotzalco, CDMX.

Resumen

En México no existen datos disponibles de la cantidad de pañales desechables que son rechazados en el control de calidad durante su producción, pero se sabe que son enviados a rellenos sanitarios. En este trabajo se evaluó la posibilidad de su tratamiento mediante composteo en biorreactores. Se emplearon mezclas de 40.5 kg de pañales, 94.5 kg residuos de jardinería, 10 kg de piloncillo y 12 kg, azúcar (como fuente de carbono y energía) y 2.5 kg de levadura. Se montaron tres biorreactores de plástico de 120 litros y dos de 200 litros, la composición para cada biorreactor fue de 30% pañales de rechazo y 70% residuos de jardinería. El monitoreo de temperatura, humedad y CO₂ se realizó antes de la aireación. La caracterización fisicoquímica se llevó a cabo al inicio, y al final del proceso y se determinó pH, humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, cenizas y nitrógeno total. En la caracterización final adicionalmente se determinó coliformes totales y fecales, macronutrientes y fitotoxicidad. El proceso duró 107 días y los resultados obtenidos permiten concluir que el tratamiento de pañales desechables de rechazo mediante composteo es factible, puesto que se logró una disminución de masa del 42% y 50% del volumen, se obtuvo una composta de calidad tipo A y B según la normatividad local, obteniendo una alternativa de tratamiento para estos residuos.

Palabras Clave: *Biorreactores, composteo, pañales.*

1. Introducción

El crecimiento acelerado de la población, principalmente en la zona metropolitana de la Ciudad de México ha propiciado una mayor demanda y a su vez una mayor producción de pañales desechables, aunque representan una comodidad para los usuarios; cuando se convierten en residuos son un problema debido a que su degradación es difícil.

Actualmente, los parámetros de control de calidad para poder seleccionar los pañales que entran al mercado de los que se rechazan en el proceso de producción no están disponibles para el público en general, sin embargo Ucelo [1] menciona que para que los pañales sean considerados de rechazo deben tener alguno de los siguientes defectos: quemados, cubierta sucia o contaminada, pulpa expuesta, tela rota o rasgada, pulpa sucia, tapes al revés, pegamento sobre la pulpa. Estos defectos impiden que los pañales de rechazo entren al mercado formal, convirtiéndose en residuos que en el mejor de los casos se envían a algún relleno sanitario para su disposición final. A pesar de los defectos, los pañales conservan su composición principal constituida de celulosa (37 %), diferentes tipos de plásticos (29 %) y súper absorbente cuya función principal es retener los líquidos (SAP) (34 %) [2].

Por otro lado, los residuos de jardinería según datos del INECC [3] para el año 2012 comprendían el 9.38 % del total de los residuos sólidos urbanos (RSU), de los cuales sólo una pequeña cantidad se somete a composteo: proceso de degradación bioquímico de un sustrato orgánico, sólido y heterogéneo en condiciones aerobias y durante el cual se presenta al menos una etapa termofílica [4]. El composteo es un proceso viable que representa la recuperación de recursos gracias al producto final que contiene nitrógeno orgánico, material carbonoso, fósforo, micronutrientes esenciales, entre otros, por lo que es benéfico para el suelo [5]. Para optimizar las condiciones del composteo y acelerar el tiempo de degradación se usan

biorreactores y se complementan con bioestimulación que implica la circulación de soluciones acuosas conteniendo nutrientes, para estimular la actividad microbiana. Así como bioaumentación que consiste en utilizar microorganismos externos para incrementar y mejorar la capacidad de digestión de materia orgánica [6].

De acuerdo con la problemática descrita, en este trabajo se planteó tratar los pañales de rechazo y acelerar su disminución de masa y volumen agregando piloncillo y azúcar comercial como fuente de carbono y adicionalmente levadura comercial caduca, para aprovecharla y no convertirla en residuo, esto con la finalidad de proponer una alternativa que permita disminuir la cantidad de pañales de rechazo que son ingresados a los sitios de disposición final, además, de obtener composta de buena calidad.

2. Metodología

Se utilizaron pañales de rechazo que se compraron a un reciclador y residuos de jardinería: ramas, hojas secas y mulch que fueron proporcionados por el centro de acopio de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

2.1. Acondicionamiento de los sustratos para composteo

Los pañales de rechazo y algunos troncos (para obtener mulch) se molieron en una trituradora modelo Vermeer BC 1000, las hojas secas no se trituraron. El piloncillo se fragmentó con ayuda de un rallador para que fuera más rápida su incorporación con el sustrato y la levadura comercial se utilizó en su presentación comercial en polvo.

2.2. Preparación de la mezcla de sustratos

Se usó como referencia la composición de 30% de pañal y 70% de residuos de jardinería reportado en el trabajo de Espinosa [7]. Se calcularon las cantidades de pañal, mulch y hoja seca para conseguir una mezcla en base seca total de 135 kg (Tabla 1).

Tabla 11. Composición en porcentaje y masa de la mezcla

Sustrato	Porcentaje	Masa
Pañal	30 %	40.5 kg
Mulch	21 %	28.35 kg
Hoja seca	49 %	66.15 kg

Los pañales, el mulch y las hojas ya pesados, se mezclaron homogéneamente y posteriormente, se les agregó agua, obteniendo una mezcla final de 430.32 kg base húmeda de la cual se separaron 55.4 kg para el blanco, al resto de la mezcla (375 kg) se añadieron 10 kg de piloncillo y 3.5 kg de levadura, estas cantidades se basan en el trabajo reportado por Quecholac [8].

2.3. Montaje de los biorreactores

Se utilizaron tres biorreactores de plástico de 120 L de capacidad (Blanco, 1 P y 2 P), 2 tambos de plástico de 200 L de capacidad (3 P y 4 P). En la tabla 2 se muestra la nomenclatura utilizada, la masa y la composición de los biorreactores.

Tabla 12. Nomenclatura de los biorreactores

Nombre	Composición	Kg de mezcla
Blanco	Biorreactor de plástico de 120 L con residuos de jardinería y pañales de rechazo.	55.4
RP120 (1 P y 2 P)	Duplicado de los biorreactores de plástico 120L con residuos de jardinería, pañales de rechazo, piloncillo, y levadura.	55.4
RP 200 (3 P y 4 P)	Duplicado de los biorreactores de plástico de 200L con residuos de jardinería, pañales de rechazo, piloncillo y levadura.	108.6

Después de cinco días del proceso se adicionó azúcar en la siguiente relación: RP 120 = 2 kg y RP 200 = 4 kg. Al sexto día de la experimentación se colocaron tubos de PVC en los biorreactores de plástico, los cuales estaban perforados a lo largo, para permitir el flujo de oxígeno.

2.5. Monitoreo del proceso

Durante el proceso de composteo se monitorearon la temperatura, humedad y el CO₂, diario durante la fase mesofílica, termofílica y en las etapas de enfriamiento y maduración se llevó a cabo cada tercer día. Para el monitoreo de temperatura y humedad se localizaron 5 puntos de muestreo repartidos en el biorreactor a una profundidad de 30 cm. Los equipos utilizados para la temperatura un termómetro bimetálico de vástago, para la humedad un medidor de vástago Spectrum y el monitoreo de CO₂ fue con un analizador CO₂ Meter Landamanagement.

La aireación de los biorreactores se realizó por volteo manual con ayuda de palas como se muestra en la Figura 1. Se efectuó diario durante el primer mes y cada 3 días durante el resto del proceso.



Figura 12. Aireación de la composta

Disminución de masa y volumen

La medición de la disminución de masa y volumen se realizó al inicio y final de la experimentación y se calculó con la siguiente 1:

$$\% \text{ disminución de masa} = \frac{\text{masa inicial} - \text{masa final}}{\text{masa inicial}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Para el cálculo del % de disminución de volumen se utilizó la ecuación 2:

$$\% \text{ disminución de volumen} = \frac{\text{volumen inicial} - \text{volumen final}}{\text{volumen inicial}} * 100 \quad \text{Ec (2)}$$

2.6 .Caracterización fisicoquímica

La caracterización inicial de los sustratos se realizó en la primera semana, y final en la doceava semana. Se utilizaron las técnicas que se mencionan a continuación:

- Determinación de humedad: NMX-AA-016-1984 [9]
- Determinación de nitrógeno total: NMX-AA-024-1984 [10]
- Determinación de materia orgánica: Espinosa, 2010 [11]
- Determinación del contenido de cenizas: NMX-AA-018-1984 [12]
- Determinación de la relación C/N: NMX-AA-087-1985 [13]
- Determinación de macronutrientes: Soil Test Handbook HANNA
- Determinación de conductividad eléctrica: NMX-FF-109-SCFI-2007 [14]
- Determinación de pH: NMX-AA-025-1984 [15]
- Determinación de coliformes totales y fecales: Castañeda, 2014 [16] (se realizó únicamente en la composta para verificar cumplimiento con la norma vigente)

Al finalizar el proceso, las compostas obtenidas se tamizaron para separar y pesar los materiales que son de difícil degradación como el mulch y los que no son degradables como los plásticos y los resortes del pañal, y obtener una estimación del pañal degradado, restando ambos de la masa inicial y conocer la disminución real.

Con las compostas también se realizaron pruebas de fitotoxicidad, para la determinación del índice de germinación, se utilizaron semillas de lechuga romana y de jitomate bola, conforme a la NADF-020-AMBT-2011 y se determinaron mediante las ecuaciones 3 y 4:

$$GR = \frac{\text{nº de semillas germinadas en el extracto}}{\text{nº de semillas germinadas en el blanco}} * 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

$$ER = \frac{\text{elongación de radículas en el extracto}}{\text{elongación de radículas en el blanco}} * 100 \quad \text{Ec. (4)}$$

$$IG = \frac{GR * ER}{100}$$

Donde:

GR= Porcentaje de germinación relativa

ER= Crecimiento de radícula relativo

IR= Índice de germinación

3. Resultados

Los resultados que se presentan son el promedio de las lecturas del monitoreo de los biorreactores durante los 107 días que duró el proceso.

3.1 Monitoreo del proceso

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la temperatura durante el composteo, se observaron las distintas etapas del proceso. La etapa mesófila con temperaturas promedio de 27.3 °C del día 0 al 7, la etapa termófila de 37.2 °C del día 8 al 28 , la etapa de enfriamiento de 36 °C del día 29-62, y por último, la etapa de maduración de 32.8 °C del día 62 hasta el 107. La temperatura máxima registrada fue de 47 °C en el biorreactor RP 200, al inicio del proceso no hubo un incremento importante de la temperatura como se esperaba, por esta razón se agregó azúcar, y sólo en los reactores de 200 L se logró un aumento de la temperatura.

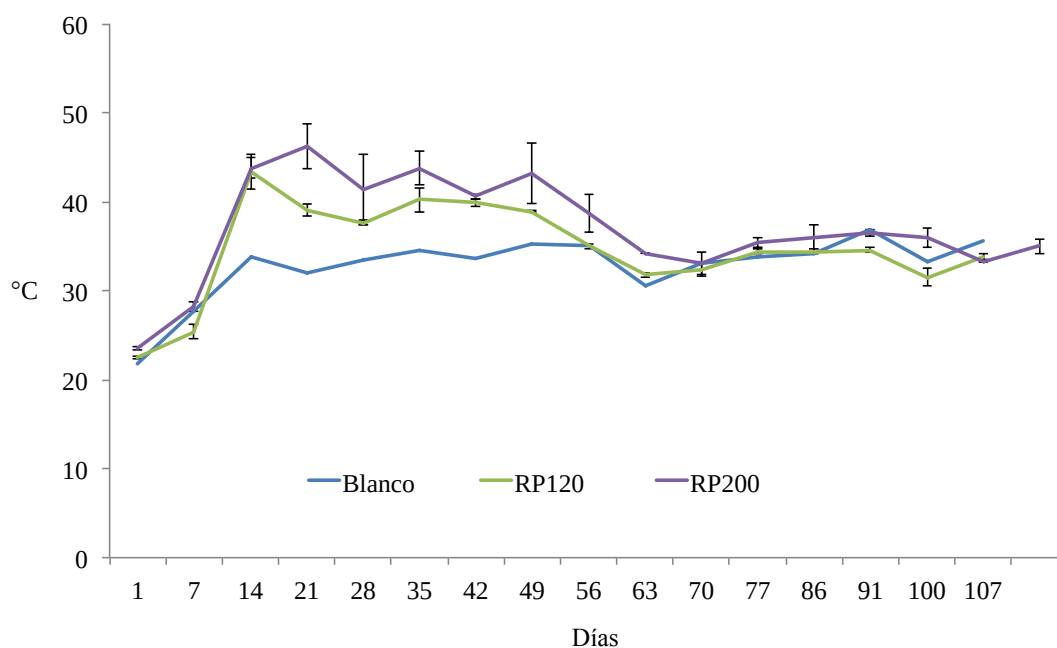


Figura 13. Comportamiento de temperatura

La humedad en todos los biorreactores fluctuó entre 72 y 90 %, como se muestra en la Figura 3, estos valores están fuera de los límites recomendados por la NADF-020-AMBT-2011 [4], que para el inicio son de 50 a 60 % y durante el proceso de 40 a 70 %, esto se debe a que para el control de la humedad se adicionó agua a los 19, 56 y 82 días debido a la apariencia heterogénea de humedad en los biorreactores, algunas partes se veían secas y otras con buena humedad. Aunque, en apariencia se observó una humedad adecuada, los altos valores obtenidos se deben a la presencia del súper absorbente (SAP), que tuvo una alta retención de humedad durante todo el proceso. Es decir, que el agua se encontraba encapsulada en el súper absorbente; por lo que, puede inferirse que en realidad este parámetro se controló.

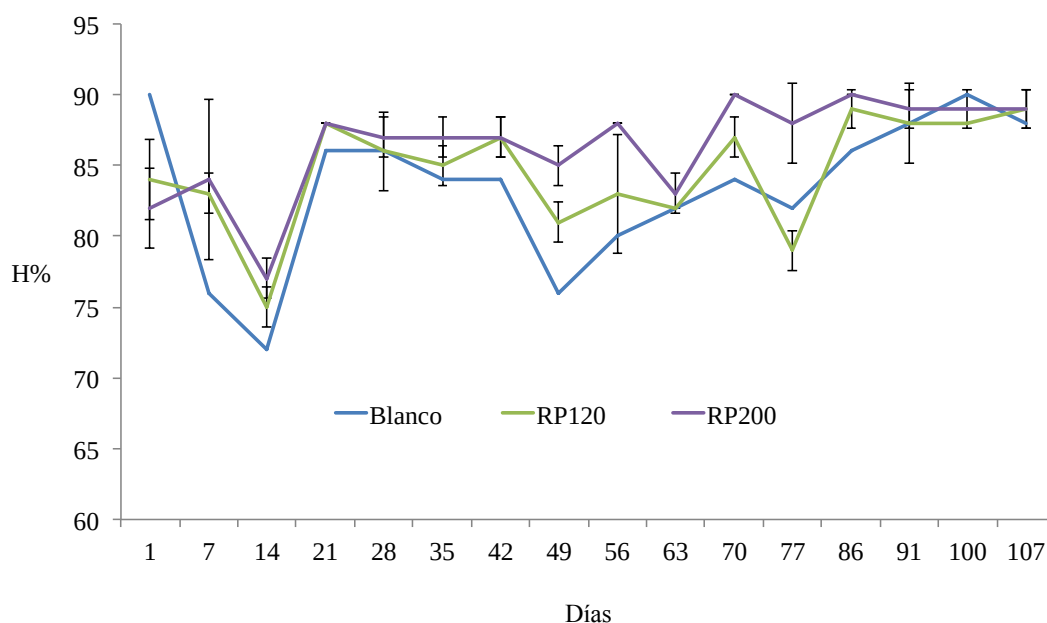


Figura 14. Comportamiento de humedad

En la figura 4 se muestra el comportamiento del CO_2 , se observa una tendencia a la baja con respecto al tiempo, que puede ser una consecuencia de la disminución de la actividad microbiana. [17]. Todos los biorreactores presentaron una concentración del 4 % de CO_2 al final del proceso.

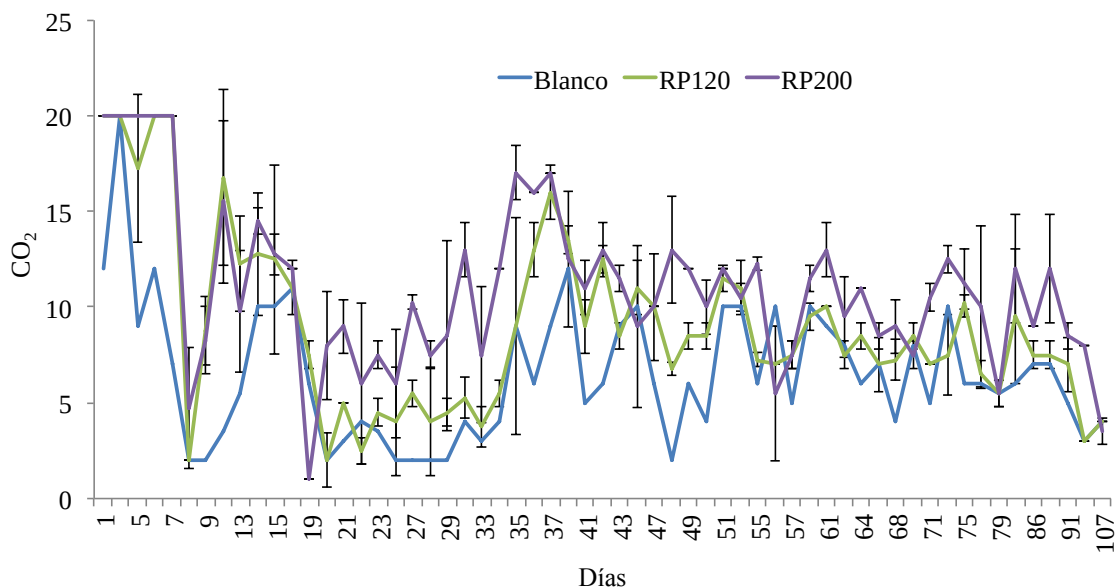


Figura 15. Comportamiento de CO_2

3.2 Caracterización fisicoquímica

La Tabla 3 muestra los resultados de la caracterización al inicio del proceso, de la composta final con pañal y de composta final tamizada.

Tabla 13. Caracterización fisicoquímica inicial y final.

Parámetros	Composta inicial		Composta final con pañal			Composta final tamizada		
	Blanco	RP120 Y RP200	BLANCO	RP120	RP200	BLANCO	RP120	RP200
Humedad	65.88 %	63.34 %	64 %	63 %	65 %	66 %	65 %	64 %
pH	7.5	8.4	9.1	8.8	8.9	9.2	9	9.1
Conductividad eléctrica	3.97	3.66	4.34	5.09	5.4	5.7	4.4	5
Materia Orgánica	89.22 %	87.46 %	85.9 %	80.2 %	78.22 %	70.1 %	73.4 %	70.1 %
Relación C/N	108.60	114.37	40	30	25	21	18	16
Granulometría	>50 mm	>50 mm	≤ 10 mm	≤ 10 mm	≤ 10 mm	≤ 10 mm	≤ 10 mm	≤ 10mm
Fitotoxicidad	-	-	96 %	120 %	132 %	72 %	107 %	96 %

Los valores de humedad se encuentran en un intervalo de 60-70% a lo largo del proceso, lo cual confirma que en realidad los valores reportados durante el monitoreo son inferiores, ya que este método es más preciso que los medidores de campo.

El pH inicial fue entre 7.5 y 8.4; se observa que la presencia del pañal aumenta el valor, Después de 107 días, el pH en los biorreactores fue de 9.3 para el blanco, 9.01 para el biorreactor RP 120 y 9.1 para RP 200. Estos resultados pueden indicar que el proceso no inició con una acidogénesis como corresponde al proceso normal [18].

La conductividad eléctrica inicial fue de 3.7 a 3.9 dS/m; los valores finales para los biorreactores fueron: blanco - 5.75 dS/m, RP 120 - 4.4 dS/m y RP 200 - 5. Todos se encuentran dentro de la NADF-020-AMBT-2011 [4], que indica valores de conductividad eléctrica menores a 12 dS/m.

Materia orgánica

Los resultados obtenidos muestran una tendencia de disminución en todos los biorreactores. La materia orgánica inicial fue del 88%, y para el biorreactor blanco 89%. El porcentaje de materia orgánica al final del proceso fue del 80% para las compostas que contenían pañal y fue del 70% para la composta tamizada, estos resultados indican un buen contenido de materia orgánica comparado con los valores establecidos en la NADF-020-AMBT-2011 [4] indica un valor >20%MS.

Relación Carbono/Nitrógeno

Los resultados de la relación C/N. Al inicio del proceso fue de 114 en todos los biorreactores, debido a la baja cantidad de nitrógeno. La ausencia de residuos verdes (pasto y hojas) ocasionó una alta relación C/N al inicio, debido al exceso de carbono que contenía la mezcla de sustratos. Al final del proceso todos los valores en los biorreactores disminuyeron, quedando de la siguiente manera: blanco –21, RP 120 – 18.2 y RP 200 – 16.3. Los valores de la relación C/N se encuentran dentro de los límites establecidos en la NADF-020-AMBT-2011 (relación C/N<20) [4], este parámetro es el mejor indicador de que el proceso se realizó de manera adecuada.

3.3 Evaluación del proceso de composteo

El proceso se evaluó con la disminución de la masa y el volumen. La mayor disminución de masa se obtuvo en los biorreactores RP 200 con un porcentaje de 42 % base húmeda. Lo anterior pudo deberse a que los biorreactores de RP 200 tenían mayor cantidad de sustrato lo que permitió mejores condiciones del proceso como un mayor aumento de la temperatura.

Los promedios de la disminución del volumen en los biorreactores RP 120 y RP 200 fue del 50 %, seguido del Blanco con 46 %, lo cual indica un comportamiento similar al de la disminución de masa.

Estos valores de reducción obtenidos hablan de una buena eficiencia del proceso, sin embargo, se esperaba un porcentaje más alto debido a la adición de piloncillo y azúcar, la presencia de la levadura no pudo evaluarse debido a que no se realizó un conteo de éstas.

Macronutrientes

Esta prueba no se encuentra dentro de la NADF-020-AMBT-2011 [4], pero se realizó por el método HANNA para obtener información cualitativa, de la cantidad de nutrientes presentes, en el producto final con pañal y el tamizado.

El nitrógeno, fósforo y potasio se necesitan en grandes cantidades para el desarrollo vegetal, por lo que, es importante tener referencia de lo que contiene el producto final del composteo. Los resultados indicaron presencia de N disponible, P y K varían entre los biorreactores, pero se demuestran la presencia de estos macronutrientes en la composta.

Tamizado y separación de los plásticos de la composta

Después del tamizado se realizó el cálculo para conocer el porcentaje de pañal degradado, obteniendo 33 % en el biorreactor RP 200, confirmando a mayor masa mejor degradación, mientras que para RP 120 fue de 25%.

Pruebas microbiológicas

Los resultados de las pruebas microbiológicas de coliformes totales y fecales, fueron de 200 NMP/100 g y 400 NMP/100 g respectivamente y se encuentra dentro de los límites máximos permisibles (CF <1000 NMP/100 g) tal y como lo establece la NADF-020-AMBT-2011, este resultado era previsible dado que se trata de pañales nuevos, pero se realizó para completar los requisitos de la norma.

Prueba de fitotoxicidad

El mayor índice de germinación (IG) se obtuvo en las compostas RP 120 tamizado con 144.17 %, RP 200 tamizado con IG de 102.5 %, RP 200 con pañal con IG de 150 %. Mientras que el Blanco tamizado tuvo el menor IG con 86.67 %. Por lo que, las compostas obtenidas cumplen con los límites que establece la norma y pueden servir como mejoradores de suelos.

3.4 Comparación de las compostas finales con la NADF-020-AMBT-2011

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 4), la composta resulta ser de buena calidad, quedando de la siguiente forma: RP 120 tamizado, RP 200 tamizado composta tipo A y B, RP120 con pañal tipo B y C, RP 200 con pañal tipo C. Sin embargo, las compostas con pañal sólo tuvieron un parámetro menos que las tamizadas, la granulometría, pues los pañales tienen una longitud mayor a 50 mm.

El uso recomendado de la composta tipo A: sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta, tipo B: agricultura ecológica y reforestación, y tipo C: paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación [4].

Tabla 14. Comparación de las compostas finales con la NADF-020-AMBT-2011 [3]

Parámetros	COMPOSTA FINAL CON PAÑAL			COMPOSTA FINAL TAMIZADA			NADF-020-AMBT-2011
	Blanco	RP120	RP200	Blanco	RP120	RP200	
Humedad	64 %	63 %	65 %	66 %	65 %	64 %	25-45 % masa
pH	9.1	8.8	8.9	9.2	9	9.1	6.5-8
Conductividad eléctrica	4.34	5.09	5.4	5.7	4.4	5	<12 dS/m
Materia orgánica	85.9 %	80.2 %	78.2 %	70.1 %	73.4 %	70.1 %	>20%MS
Relación C/N	40	30	25	21	18	16	<25
Macronutrientes (N, P,K)	Este parámetro no es comparable con la norma, debido a que se determinaron de manera cualitativa por el método HANNAH						
Granulometría	≤ 10mm	≤ 10mm	≤ 10mm	≤ 10mm	≤ 10mm	≤ 10mm	≤ 30mm
Fitotoxicidad	96 %	120 %	132 %	72 %	107 %	96 %	>60 %

Los valores elevados de pH se deben a la presencia de los pañales, y se encuentran fuera de los límites permisibles (pH<8) que establece la NADF-020-AMBT-2011 y de acuerdo a la FAO [17] el pH ideal al final de un proceso de composteo debe ser neutro por lo que se recomienda mezclar con residuos ácidos que permitan disminuir el pH.

4. Conclusiones

El biorreactor RP 200 tuvo una mayor eficiencia debido a que se reportó una disminución de masa el 42 %, mientras que RP 120 obtuvo 31 % en volumen la disminución fue de 50 % en todos los biorreactores.

Así mismo, la mayor degradación de pañal se obtuvo en el biorreactor RP 200 con 33%, seguido de RP 120 teniendo una disminución del 25 %, comparando estos valores con los del blanco (18 % de disminución), se puede decir que la adición de piloncillo, azúcar y levadura aceleró y mejoró el proceso.

Las compostas obtenidas no son tóxicas debido a que el índice de germinación de cada composta se encuentra dentro de los límites que establece la Norma Ambiental NADF-020-AMBT-2011 [4].

Relativo a las compostas que no fueron tamizadas, la presencia del SAP (súper absorbente) puede ayudar a retener la humedad, y servir como mejoradores de suelos pues aportan textura.

Por último, se tiene que las mejores compostas según los límites que establece la NADF-020-AMBT-2011 fueron las tamizadas obteniendo valores del tipo B.

Por lo tanto, esta tecnología es un buen sistema de tratamiento para degradar los pañales de rechazo y con ello disminuir una gran cantidad de residuos, además de obtener un producto capaz de mejorar el suelo.

Referencias

[1] Ucelo A. (2008). Diseño e implementación del sistema de eficiencia global de los equipos (OEE) en una línea de producción de pañales desechables e investigación de propuesta viable para la degradación de estos productos no reciclables en la empresa ALTENVASA. Universidad de San Carlos Guatemala. Guatemala. Trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniera Industrial.

[2] EDANA (2008). Fact Sheet, Disposable baby diapers. En línea <<https://www.edana.org/docs/default-source/default-document-library/fact-sheet---disposable-baby-diapers.pdf?sfvrsn=2>> Recuperado el 02/07/2017.

[3] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2013). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. México. En línea <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf> Recuperado 03/11/2016.

[4] SMADF (2012). NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Secretaría del medio Ambiente del Distrito Federal. Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal del 30 de noviembre de 2012.

[5] Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA) (2012). Manual de elaboración de composta.

[6] Tapia, G.C (2010). Comparación de bioprocesos para remediación de pasivos ambientales. En línea <<https://es.scribd.com/document/26239616/BIOPROCESO-Compostaje-Bioaumentacion-bioestimulacion>> Recuperado el 05/12/2016.

[7] Espinosa, V. R. M. (2015). Evaluación de la biodegradación de pañales desechables usados. Universidad Autónoma de Baja California, México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias.

[8] Quecholac, P.X., García, R.M.A., Espinosa, V.R.M., Vázquez, M.A., Beltrán, V.M. & Cisneros, R.A.L. (2016). Biodegradation of compostable and oxodegradable plastic films by backyard composting and bioaugmentation. En línea <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27044287>> Recuperado el 07/11/2016.

[9] SCFI (1984). NMX-AA-016-1984. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de humedad. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Publicada en el DOF del 14 de diciembre 1984.

[10] SCFI (1984). NMX-AA-024-1984. Protección al Ambiente - Contaminación del suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de nitrógeno total. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Publicada en el DOF del 10 de diciembre 1984.

- [11] Espinosa, V. R. M. (2010). Manual de Prácticas de Taller IV. Análisis fisicoquímicos de Residuos Sólidos Municipales. Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco.
- [12] SCFI (1984). NMX-AA-018-1984. Protección al Ambiente - Contaminación del suelo-Residuos Sólidos Municipales - Determinación de cenizas. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Publicada en el DOF del 10 de diciembre 1984.
- [13] SCFI (1985). NMX-AA-087-1985. Protección del Ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos- Determinación de la relación Carbono/Nitrógeno. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Publicada en el DOF del 8 de agosto 1985.
- [14] SCFI (2008). NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. Publicada en el DOF del 10 de Junio de 2008.
- [15] SCFI (1984). NMX-AA-025-1984. Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos-Determinación del pH-Método potenciómetro. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Publicada en el DOF del 10 de Diciembre de 1984.
- [16] Castañeda, B. M. T. (2004). *Microbiología aplicada. Manual de laboratorio*, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México, D.F.
- [17] FAO (2013). Manual de Compostaje del Agricultor, Santiago de Chile
- [18] Moreno, C. J. y Moral, H. R. (2008). Compostaje, Mundi-Prensa. Madrid, España.

Compostero inteligente: obtención de composta de calidad a partir de residuos sólidos orgánicos generados en Tepic

¹Acevedo-Juárez B., ²Zavala-Martell J.C., ³Huerta-Herrera A., ⁴Muñoz-López C., ⁴Rodríguez-Esparza A.M., ³Saldaña-Durán C.

¹Departamento de Ciencias Naturales y Exactas, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco 46600, México, Tel. +52 (375) 7580 500 y e-mail: brenda.acevedo@academicos.udg.mx. ²CET 1 "Walter Cross Buchanan" Instituto Politécnico Nacional, ³Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo, ⁴Universidad Autónoma de Nayarit.

Resumen

Los residuos sólidos urbanos son aquéllos que principalmente se producen en los hogares. En la ciudad de Tepic, del total de los residuos sólidos urbanos el 37% corresponde a residuos orgánicos. Hoy en día, la gestión de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Tepic tiene grandes limitaciones para la valorización de los residuos. Se conoce bien que los residuos sólidos orgánicos pueden ser valorizados mediante la producción de composta. Se considera una composta de calidad cuando contiene sustancias húmicas similares a las del suelo y una relación de carbono/nitrógeno adecuada, entre otras características. Este trabajo tiene como objetivo el diseño de un compostero inteligente que lleve a cabo el proceso controlado de compostaje aerobio, para producir una composta de calidad a partir de los residuos sólidos orgánicos que se generan exclusivamente en los hogares de Tepic, Nayarit.

Palabras clave: *compostero, composta de calidad, relación C/N, RSU, valorización.*

1. Introducción

La producción de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Tepic del estado de Nayarit ha aumentado de 300 t/d en el 2003 a 449 t/d en el 2015 [1]. Cabe destacar que el 37% de estos residuos sólidos urbanos corresponden a los residuos orgánicos (166 t/d) [2]. La gestión de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Tepic tiene serias carencias técnicas y operativas, así como limitaciones para la disposición de los residuos que pueden ser empleados como recursos valorables. Siendo todos los residuos llevados para su disposición final a un vertedero a cielo abierto. Esto como en muchas otras ciudades mexicanas o extranjeras genera un problema debido a la falta de espacio en los vertederos y las crecientes preocupaciones sobre los gases emitidos en los vertederos que contribuyen al cambio climático.

El compostaje se define como la descomposición biológica de la materia orgánica para formar un producto final estable. Mediante reacciones microbiológicas se lleva a cabo la mineralización y humidificación de la materia orgánica. Estos procesos se llevan a cabo mediante una oxidación aerobia. Bajo condiciones óptimas de oxigenación y humedad es posible generar la composta en un periodo relativamente corto. Los procesos modernos de compostaje se realizan a intervalos de temperatura mesofílica y termófila.

Los RSO son altamente heterogéneos y se constituyen por lo general de residuos de alimentos y de residuos de jardinería. Para este tipo de residuos heterogéneos es necesario un mayor control sobre las condiciones del proceso, requiriendo sistemas de aireación mucho más complejos que las empleadas con residuos de origen agrícola como son sistemas de volteo por hileras.

En los sistemas de aireación forzadas se observan tres etapas principales en el proceso de compostaje [3]. La primera etapa es la *desinfección*, en la que se utilizan regímenes de aireación vigorosa para fomentar la degradación rápida microbiana de sustrato fácilmente biodegradable en la materia prima. La energía liberada durante esta primera etapa produce calor que típicamente eleva la temperatura de un recipiente de composta > 70 ° C. Esta etapa termófila es un requisito de la mayoría de las normas de compost para garantizar la destrucción de los patógenos [4]. La segunda etapa es la de *biodegradación secundaria* que se da entre 45-

55 °C que permite la biodegradación de las partículas de alto peso molecular que forman el sustrato [5]. La etapa terciaria es la *maduración* del compost de RSU, esta etapa facilita la conversión de NH_4 tóxico a NO_3 , permite la pérdida de compuestos volátiles fitotóxicos y la estabilización de la comunidad microbiana, mejorar la calidad física y química general del compost terminado. Es una etapa vital, si el compost se va a aplicar a las plantas [6].

Por otra parte, la composta producida debe de tener ciertas características para considerarse una composta de calidad, estas características son: contener sustancias húmicas similares a las del suelo, con una relación adecuada de los macronutrientes carbono y nitrógeno, ser libre de patógenos y de semillas de vegetación no deseable, no atraer insectos o vectores, ser manejada y almacenada sin ocasionar molestias y ser beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas [7].

Por lo tanto, para un proceso adecuado los sistemas de aireación forzada se deben de adaptar a la composición química y física del material de alimentación, donde la relación inicial de C/N es uno de los más importantes factores de influencia en la calidad de la composta [8]. En general, una relación de C/N de 25-35 es considerada ideal para la composta [9]. Es por esto, que este trabajo tiene como objetivo diseñar un compostero inteligente de aireación forzada que mantenga las condiciones adecuadas para la obtención de composta de calidad a partir de los RSO producidos en la ciudad de Tepic.

2. Metodología

2.1 Caracterización de los residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Tepic

La caracterización de los residuos sólidos orgánicos es muy importante para conocer los tipos de residuos con los que se generaría la composta. Mediante los datos de la caracterización de los residuos sólidos urbanos de Saldaña-Duran 2013 [2], examinamos el porcentaje de los residuos sólidos orgánicos compuestos por: alimentos, residuos de jardinería y la fracción de papel y cartón de interés para la formación de la mezcla de compostaje. No obstante, para conocer más a detalle la composición de la fracción de materia orgánica de los residuos se llevó a cabo la caracterización de estos de una colonia de clase media tomada al azar en la ciudad de Tepic. Estos datos fueron proporcionados por el estudio que realizó Saldaña-Durán.

2.2 Obtención de la mezcla de materiales para el compostaje

La mezcla de materiales para el compostaje se obtuvo según varios estudios [9] - [10] y la norma ambiental para el distrito federal, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta [11]. En estos documentos se recomienda que, para la obtención de una composta de calidad, los materiales sujetos a composteo deben combinarse de tal manera que se inicie con una relación carbono/nitrógeno (C/N) comprendida entre los valores de 25:1 y 40:1, siendo el óptimo de 30:1.

2.3 Diseño del compostero inteligente

El compostero se diseñó en base a las necesidades que presenta el proceso de compostaje aerobio termófilo tomando en cuenta los factores que influyen en el proceso de compostaje descritos por Onwosi 2017 [10]: el volteo, la temperatura, el contenido humedad, el tamaño de los materiales a compostar, la aireación y la relación C/N inicial del material a compostar. Así también las características físicas de la mezcla fueron fundamentales para diseñar el compostero. El diseño fue realizado en el programa -SolidWorks.

3. Resultados y Discusión

En la obtención de una composta de calidad a partir de los RSO es recomendable emplear el proceso de aireación forzada, debido a la homogeneidad de los residuos. Este proceso de compostaje produce altas temperaturas hasta $>70^\circ\text{C}$, debido a la acción de los microorganismos que degradan la materia orgánica.

Los datos de la caracterización de los residuos sólidos urbanos fueron obtenidos de una colonia de clase media de la ciudad de Tepic. De una muestra de 70 casa se caracterizaron los residuos sólidos orgánicos, clasificándolos en las categorías: fruta, vegetales, pasta y cereales, mariscos, huesos, cárnicos, lácteos, servilletas y cartón, poda y jardín, semillas y masa no identificable (ver Figura 1). Es posible observar que la mayoría de los residuos lo constituyen los provenientes de frutas y vegetales con un 61% del total de los RSO. Este tipo de residuos aporta un alto contenido de humedad y de contenido de nitrógeno a la mezcla.

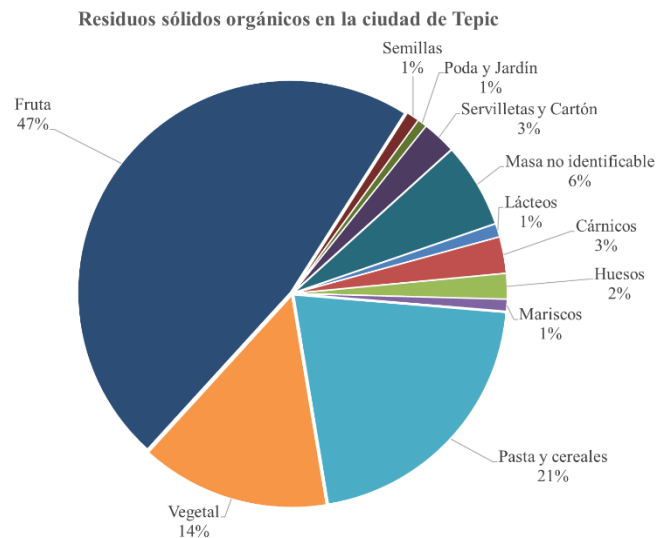


Figura 1. Caracterización de los RSO en la ciudad de Tepic, Nayarit.

Para poder obtener una composta de calidad mediante el proceso de aireación forzada es sugerido tener una relación de C/N de 25-35 inicial en la mezcla a compostar [9] - [11]. Entonces, se formuló con los RSO de la ciudad una mezcla obteniendo los porcentajes y los componentes que pueden llevarnos a una composta de calidad. A partir de esta mezcla observamos los requerimientos técnicos para poder desarrollar el diseño del compostero inteligente.

Tabla 1. Componentes empleados para la mezcla de compostaje.

Categoría	Porcentaje (% en peso)	Componentes
Proteínas	6	Lácteos, cárnicos, huesos y mariscos.
Carbohidratos	21	Pan, pastas, cereales, harina, tortillas.
Carbohidratos secos	3	Poda de jardín seca, servilletas y cartón.
Vegetales	62	Frutas, verduras, poda de jardín fresca
Materia orgánica	6	Otros

Las características y especificaciones del compostero se determinaron en base a la experiencia del manejo del proceso de compostaje por aireación forzada. De esta experiencia se obtuvieron las siguientes características para el diseño del compostero:

1. En la fase inicial del proceso, la mezcla del compostaje requiere tener una humedad de 70% en peso, es posible que la mezcla genere lixiviados y la temperatura en la mezcla debe no perderse para que se eleve hasta 70°C. Por lo tanto, se requiere que el material que contenga la mezcla de compostaje sea resistente a la corrosión, de grado alimenticio ya que no debe haber transferencia de sustancias tóxicas hacia la mezcla de compostaje, además deberá ser térmicamente aislante. En el exterior el compostero es altamente probable se coloque a la intemperie por lo cual deberá soportar estas condiciones. El material

propuesto a emplear es acero inoxidable en paredes interiores y exteriores, al interior de las paredes un vacío que proporcione un aislamiento térmico.

2. La mezcla necesitará sea homogenizada y volteada para su aireación. De acuerdo con las características del material, la mezcla será contenida en un cuerpo cilíndrico con una hélice doble helicoidal con palas de acero inoxidable. La fuerza necesaria para mover el material con la hélice será proporcionada por un motor (Figura 2A).
3. La humedad deberá ser regulada y proporcionada en la mezcla, por lo cual se incorporará un sistema de control de lixiviado-humedad. Está consiste en proporcionar a la mezcla mediante aspersores dicha humedad ya sea introduciendo agua al sistema o recirculando los lixiviados generados (Figura 2B, 2D).
4. La aireación es otro de los factores importantes en el proceso. El contenedor va a estar cerrado, por lo que se debe proporcionar aire a la mezcla. Está aire será introducido mediante un ventilador que estará incorporado al cuerpo del compostero (Figura 2C).
5. Las condiciones de aireación, temperatura y humedad serán controladas mediante sondas de humedad, temperatura y oxígeno en el interior del compostero. Estas sondas proporcionarán información al sistema de control del proceso. La automatización del compostero brindará los requerimientos necesarios de aireación y humedad, teniendo de esta manera un *compostero inteligente* que brinde una composta de buena calidad.
6. Una vez maduro el material el tamaño de la partícula se reduce, así también como el contenido de humedad que llegará a estar entre el 25 -35 % en peso. Esto permitirá extraer el compost ya maduro por el mismo volteo que pasará por una malla de cribado, que asegurará que el tamaño de partícula este entre 10 - 30 mm.

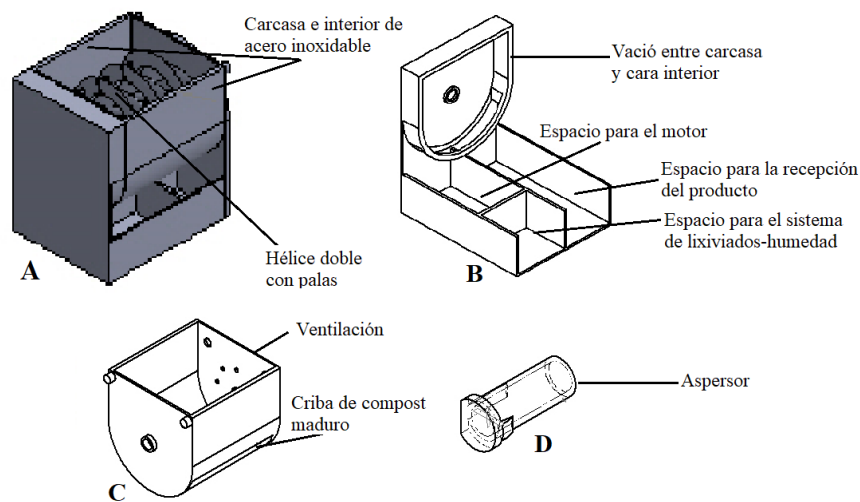


Figura 2. Diseño del compostero inteligente: A) Carcasa del compostero: interior y exterior, hélice doble con palas; B) Carcasa interior: distribución; C) Contenedor interior y ventilación para aireación; D) Aspersores.

4. Conclusiones

Los residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Tepic son constituidos mayoritariamente por restos de frutas y vegetales (67% de los RSO). Para poder obtener una composta de calidad fue necesario generar una mezcla de los residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Tepic. Mediante las características de esta mezcla, se diseñó un compostero inteligente, el cual automáticamente controlará las condiciones óptimas de aireación introducida por medio de un ventilador, volteo mediante un motor que moverá una hélice doble de palas, el control de humedad mediante un sistema de lixiviado-humedad y la obtención del compost una vez maduro de un tamaño de partícula de 10-30 mm.

Referencias bibliográficas

- [1] INEGI. (2017) *Anuario estadístico y geográfico de Nayarit*. Conociendo México. México.
- [2] Saldaña Durán, C.E., Hernández Rosales, I.P., Messina Fernández, S., Pérez Pimienta, J. A. (2013) *Caracterización física de los Residuos Sólidos Urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero El Iztete, de Tepic-Nayarit, México*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 29 (3) pp. 25-32
- [3] Stentiford, E.I. (1996) *Composting control: principals and practice*. de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmens, B., Papi, T. *The Science of Composting 1*. Springer Science + Business Media Dordrecht. Netherlands. 1452.
- [4] Déportes, I., Benoit-Guyod, J-L., Zmirou, D., Bouvier, M.C. (1998) "Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting". *Journal of Applied Microbiology*. 85. 238-246. DOI:10.1046/j.1365-2672.1998.00484.x
- [5] Abu Qdais, H.A., Homoda, M.F. (2004) "Enhancement of carbon and nitrogen transformations during composting of municipal solid waste". *Journal Environment Science Health*. 39. 409-420. DOI: 10.1081/ESE-120027532
- [6] Ozores-Hampton, M., Stoffella, P.J., Bewick, T.A., Cantliffe, D.J., Obreza, T.A. (1999) "Effect of age of cocomposted MSW and biosolids on weed seed germination". *Compost Science Utilization*. 7. 51-57. DOI: 10.1080/1065657X.1999.10701952
- [7] Haug, R. T. (1993) *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers. Boca Raton.
- [8] Michel, F.C., Forney, L.J., Huang, A.J.F., Drew, S., Czuprendski, M., Lindeberg, J.D., Reddy, C.A. (1996). "Effects of turning frequency, leaves to grass mix ratio and windrow vs. pile configuration on the composting of yard trimmings *Compost Science Utilization*. 4, 126-143. DOI: 10.1080/1065657X.1996.10701816
- [9] Kumar, M., Ou Yan L., Lin J.G. (2010) "Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio". *Waste Management*. 30, 602-609. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.11.023
- [10] Onwosi, C.O., Igbokwe, V.C., Odimba, N. (2017) "Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects". *Journal of Environmental Management*. 190. 140-157. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.051
- [11] NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación e suelos. México.

Gestión de residuos en la Ciudad de México

¹ Nina Tsydenova, ² Alethia Vázquez Morillas

¹ Carl von Ossietzky University Oldenburg, Ammerländer Heerstr. 144-118, 26219 Oldenburg, Alemania. Correo: nina.tsydenova@gmx.de

² Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. Departamento de Energía. Área de Tecnologías Sustentables. Av. San Pablo 180, México, DF. 02200 México. Correo: alethia@correo.azc.uam.mx.

Resumen

México enfrenta serios desafíos relacionados con la gestión de residuos sólidos urbanos. El país genera 102,895 toneladas diarias de residuos, de los cuales aproximadamente el 12% se produce en la Ciudad de México. En julio de 2017 entró en vigor en la ciudad la norma NADF-024-AMBT-2013, cuyo objetivo es implementar un nuevo sistema de separación para aumentar el volumen de recuperación de residuos inorgánicos valorizables. Se ha autorizado, además, la instalación de una planta de termovalorización. Esta investigación aplica el concepto de metabolismo urbano como herramienta analítica para el estudio del flujo de materiales. Esta herramienta ha sido empleada para evaluar el consumo global y los residuos de una ciudad, dado que permite generar indicadores cuantitativos para los componentes físicos (etapas) y cualitativos para los elementos de gobernanza de un sistema. A partir de ello se analizan y evalúan un escenario base de gestión residuos en la Ciudad y el nuevo esquema de gestión, que incluye mayor separación y termovalorización. Puede concluirse que la falta de planeación, de voluntad política y de participación ciudadana son las principales barreras para mejorar los servicios de gestión de residuos en la ciudad. Aunque se requieren inversiones considerables en infraestructura, sería posible implementar medias para reducir los montos de instalación y operación de dichas instalaciones al aumentar las tasas de reciclaje a través de mayor cooperación con el sector informal, lo que requiere la participación de todos los actores involucrados en la gestión de residuos.

Palabras Clave: *reciclaje, termovalorización, generación, aprovechamiento*

1. Introducción

El aumento en la población, el crecimiento económico, la urbanización e industrialización acelerada, así como la mejora en el nivel socioeconómico contribuyen a un incremento constante en el volumen de residuos sólidos urbanos (RSU) generados. Las ciudades con acelerado crecimiento de los países en desarrollo contribuyen en gran medida a este fenómeno. Al igual que otros países emergentes, México enfrenta serios desafíos relacionados con la gestión de RSU. En el país se generan diariamente 102,895 toneladas de residuos, de los cuales 83.39% es recolectado y 78.54% llega a sitios de disposición, mientras que sólo el 9.63% es reciclado [1]. El incremento continuo de la generación de residuos, en un contexto de falta de sistemas integrales de gestión, genera riesgos a la salud pública, al ambiente y al desarrollo sustentable en el país. Uno de los problemas relacionados con el manejo de los RSU es la falta de información sobre todas las etapas de gestión [2], y México es un ejemplo de esta situación. Esta investigación busca contribuir a subsanar parcialmente esa situación, analizando la gestión de residuos en la Ciudad de México (CDMX).

En este documento se analiza la CDMX dada su relevancia como capital del país, y por la existencia de programas y proyectos de inversión relacionados con la gestión de residuos, tanto en la década pasada como en los años siguientes, tal es el caso de la planta de termovalorización que ha sido autorizada. Estudios similares realizados en México [2]-[7] se han enfocado en la composición de los

residuos, o se refieren a ciudades con características distintas a la CDMX, además de emplear metodologías diferentes.

Esta investigación aplica el concepto de metabolismo urbano, basado en el consumo y transformación de materiales en sistemas urbanos, como herramienta analítica para el estudio del flujo de materiales. Esta herramienta ha sido empleada para evaluar el consumo global y los residuos de una ciudad [2], dado que permite generar indicadores cuantitativos para los componentes físicos (etapas) y cualitativos para los elementos de gobernanza de un sistema. A partir de ello se analiza y evalúa la gestión actual de residuos en la Ciudad, el rol de las autoridades locales, así como el efecto que las regulaciones y políticas puestas en marcha en años recientes.

2. Metodología

El análisis del metabolismo urbano parte de la definición de flujos de materiales, que permiten una visualización rápida del sistema estudiado. En análisis de flujo de materiales (AFM) define las entradas y salidas de materiales consumidos y dispuestos en una región administrativa [8]. En este trabajo se generó un AFM estilo Sankey para el flujo de residuos en la CDMX, utilizando el software STAN [9].

Se consultaron reportes oficiales, documentos legales y literatura científica sobre la gestión de residuos en la ciudad para la obtención de la información. Posteriormente se realizaron visitas de campo a las instalaciones de manejo de residuos, así como entrevistas con expertos en la gestión de residuos en la ciudad, provenientes del sector académico, consultorías ambientales y autoridades federales. La información de las visitas y entrevistas se empleó para actualizar y validar los resultados reportados en los documentos.

La metodología se aplicó tanto a un escenario base como al que se deriva de las modificaciones en la gestión de residuos en la CDMX planteadas en 2017.

2.1 Análisis de la composición de residuos

Uno de los elementos requeridos para desarrollar un AFM es el conocimiento sobre la composición de los RSU. El último análisis publicado sobre la composición en la CDMX se publicó en 2013 [5]. Con el fin de contar con datos más actualizados se realizó un estudio de composición.

La separación de residuos en la CDMX en fracciones orgánica e inorgánica se puso en marcha oficialmente en 2003, y ha estado en operación, con distintos niveles de eficiencia, desde entonces. Para este estudio se realizó un análisis de la composición de ambas fracciones, con el fin de conocer la composición global de los residuos. La muestra de la fracción inorgánica se obtuvo de las estaciones de transferencia ubicadas en las delegaciones Coyoacán y Venustiano Carranza, y la de la fracción orgánica en la estación de Venustiano Carranza. Las dos delegaciones cuentan con una población de clase media, por lo que se asumió que la composición podía usarse para representar los valores promedio de la Ciudad. Es importante señalar que en los vehículos recolectores se realiza la pre-pepena de residuos valorizables, tales como cartón, PET y metales. Debido a ello, las muestras analizadas representan la composición de los residuos que llegan a las estaciones de transferencia, pero no de los residuos generados.

2.2 Descripción de escenario base

El escenario base se definió a partir de la información reportada en el Inventario de residuos publicado por el gobierno de la CDMX en 2015 [10], considerando que en ese momento se había logrado una estabilización en la gestión de residuos, después del cierre del relleno sanitario de Bordo Poniente. Se consideró la eficiencia en la separación reportada por el gobierno local.

2.3 Nuevo escenario de gestión de residuos

En julio de 2017 entró en vigor la norma NADF-024-AMBT-2013 [11], con la meta de disminuir el volumen de residuos enviados a disposición final. Con el mismo fin, el gobierno local ha promovido y autorizado la construcción de una planta de termovalorización, que tratará casi la mitad de los residuos recolectados. En el segundo escenario se proyectan estas dos actividades: la separación de acuerdo con la nueva norma y la termovalorización.

3. Resultados y discusión

A continuación se describen los principales resultados.

3.1 Descripción del área de estudio

México es un país diverso, con 125 millones de habitantes y abundantes recursos naturales. El país forma parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), aunque se considera una economía emergente, con un producto interno bruto per cápita de \$8201.3 dólares [12]. La Ciudad de México, que es la capital del país y la ciudad más poblada, ha tenido un crecimiento hacia las entidades aledañas, generando una zona conurbada que enfrenta grandes retos en términos de gobernanza urbana y ambiental; la falta de infraestructura de saneamiento es un problema serio. La ciudad está constituida por 16 delegaciones, que ocupan una superficie de 1485 km². La población, estimada en 9 millones [13], genera 12847 toneladas de RSU al día, es decir, una generación per cápita de 1.43 kg/día. La infraestructura para el manejo de residuos en la ciudad está conformada por doce estaciones de transferencia, dos plantas de separación y 6 plantas de composteo. La mayor parte de los residuos (8528 ton/día) es enviada a cinco rellenos sanitarios ubicados fuera de la CDMX.

3.2 Composición de residuos

La composición de residuos obtenida mediante los estudios de caracterización descritos en la metodología, se presenta en la Figura 1. Se encontró una caracterización atípica de los países en desarrollo, que generalmente presentan proporciones de residuos orgánicos cercanas al 50%. Esto muestra claramente la evolución de México hacia su transformación en economía emergente, lo cual se potencia por analizarse específicamente los RSU de la CDMX.

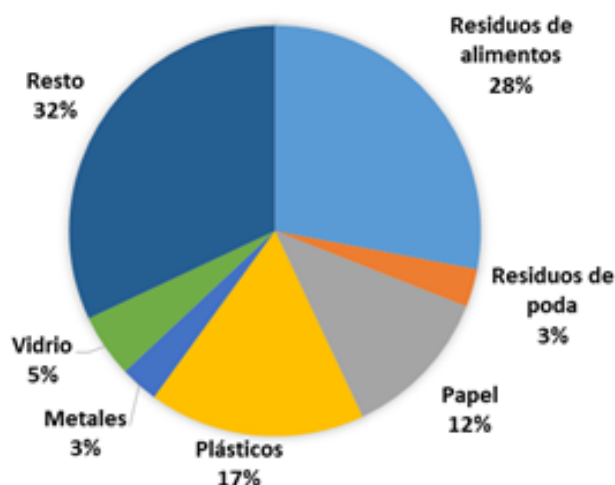


Figura 1. Composición de los residuos en la CDMX, 2017

3.3 Análisis del escenario base

Desde 2011, cuando el relleno sanitario de Bordo Poniente fue cerrado, la ciudad envía sus residuos a rellenos sanitarios en estados aledaños. En 2015 se enviaron a El Milagro (4,021 ton/día), La Cañada (3,054 ton/día), Cuautitlán (1,155 ton/día), Chicoloapan (265 ton/día) y Cuautla (191 ton/día) [10]. El costo del transporte es elevado, y además el acceso a los rellenos, ubicados en otras entidades, se ha vuelto un instrumento de presión política, especialmente en el caso del Estado de México.

Aunque el gobierno local estableció la separación en dos fracciones desde 2003, el funcionamiento de ese programa ha sido fluctuante, con una eficiencia de 38% [10]. Este sistema se diseñó buscando dar tratamiento a la fracción orgánica a través de plantas de composteo. La planta más grande es la que está ubicada en el relleno clausurado de Bordo Poniente, tiene un área de 300,000 m² y 270 empleados. En 2015 recibía 258.85 toneladas de residuos orgánicos y producía 23.87 ton de composta [10]. La composta producida se usó en jardines públicos y restauración de áreas naturales, dada la carencia de un mercado local para el producto.

En el escenario base (2015) una proporción de los residuos inorgánicos es enviada a plantas de separación, donde el proceso se realiza en forma manual. Esto permite la recuperación de menos del 7% de los residuos que entran a las plantas; el 21% se envía a coprocesamiento en plantas de cemento y el resto a disposición final. Sin embargo, se ha estimado que a través del sector informal se recicla el 14% de los RSU producidos en la ciudad [14]. El análisis de flujo de materiales realizado con el software Stan 9 para este escenario se muestra en la Figura 2.

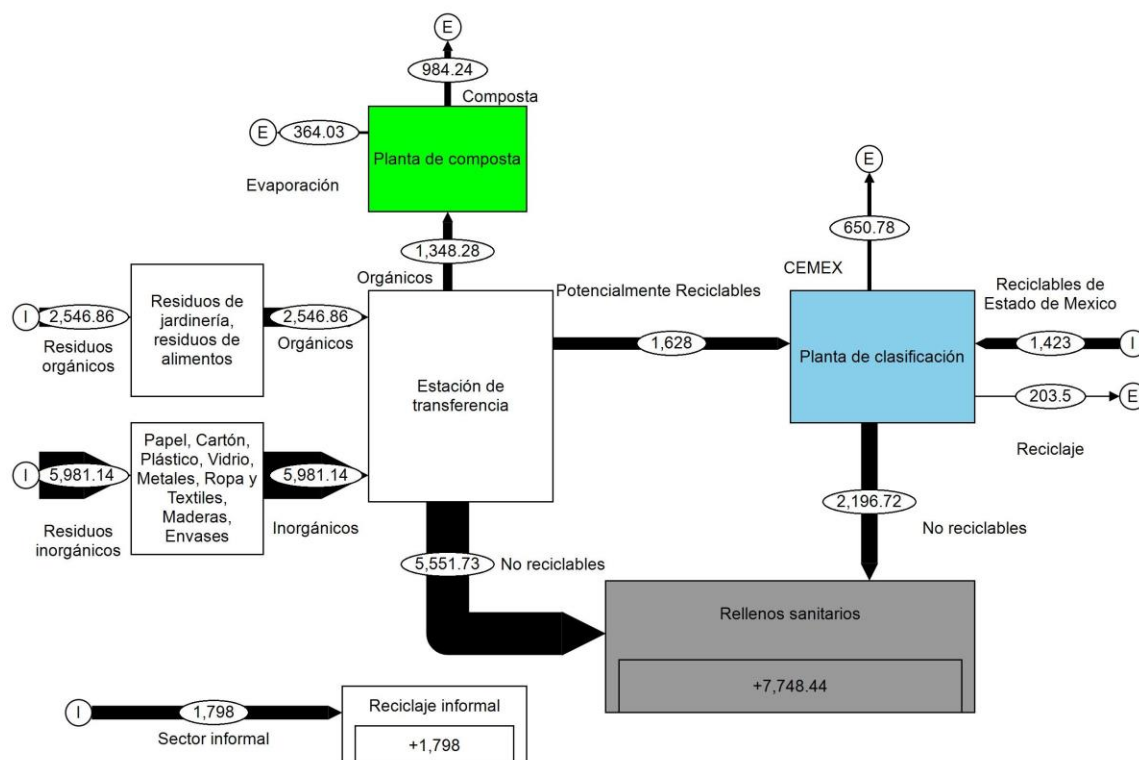


Figura 2. Análisis de flujo de materiales para el escenario base de manejo de residuos en la Ciudad de México (2015)

Análisis de gobernanza

La forma en que se distribuyen atribuciones relacionadas con la gestión de residuos es actualmente la misma que en 2015. En la CDMX los residuos son recolectados por cada una de las delegaciones, que establecen sus propios métodos y son responsables de la entrega de los residuos a las estaciones de transferencia. Estas instalaciones, al igual que el transporte a destinos posteriores, las plantas de separación y al destino final son gestionadas por la Secretaría de obras y servicios. Esta entidad es responsable también de la operación de la planta de composta de Bordo Poniente, mientras que las otras plantas, mucho más pequeñas, son administradas por las delegaciones.

La Secretaría de Medio Ambiente emite las regulaciones ambientales, sin embargo su implementación recae tanto en la Secretaría de obras como en las delegaciones. En especial, depende de ellas en gran medida el éxito de la separación, dado que cada una posee sus propios vehículos de recolección, define rutas y frecuencias. El hecho de que la emisión de regulaciones y su implementación dependen de autoridades diferentes resulta en una gestión de RSU poco eficiente. Adicionalmente, la gestión de residuos está influenciada por intereses políticos, cambios en los cargos públicos, presiones financieras, la opinión pública y la capacidad de gobernanza de la autoridad en turno.

Sustentabilidad económica

El costo total anual del manejo de RSU en la CDMX, para un sistema de separación en dos fracciones, es de 110 millones de dólares, con un promedio de 35 dólares por tonelada de residuos [15], que coincide con los reportado por el Banco Interamericano de Desarrollo (REF). Este costo representa un 40% más de lo que desembolsaba la CDMX antes del cierre del relleno de Bordo Poniente [16]. Se ha estimado que el costo por tonelada enviada a relleno sanitario se incrementó en un 40% después del cierre de Bordo Poniente [17].

Un indicador de la sustentabilidad financiera de la gestión de residuos es el porcentaje de la población que usa y paga los servicios de recolección [18]. En la CDMX no hay una tarifa definida, dado que el pago se realiza como parte del impuesto predial a la propiedad. Debido a ello los ciudadanos no conocen cuánto pagan por el servicio. Una parte del costo de la gestión de residuos es cubierta por los generadores, a través de las propinas entregadas de manera informal a los recolectores. Éstos, que pueden o no tener un contrato formal de trabajo, venden además parte de los residuos valorizables, generando un sistema paralelo con costos y ganancias que no son considerados al calcular el costo general del servicio.

Presencia del sector informal

En América Latina los servicios de recolección de residuos son comunes en muchas ciudades, pero con frecuencia son inequitativos, no dan seguimiento a indicadores, son poco eficientes, y no hay transparencia sobre su operación y costos [19]. Esto, por un lado, dificulta el trabajo de las autoridades locales, y por otro disminuye la calidad de los servicios. Es común, en este contexto que un amplio sector informal, que puede incluir barrenderos, recolectores domiciliarios, voluntarios en los vehículos de recolección y pepenadores en los sitios de disposición, participen en la recolección, procesamiento, transporte y comercialización de los residuos, en un sistema que funciona en forma paralela y en ocasiones interconectada con los servicios públicos y privados. Este sector informal con frecuencia se considera “fuera del control del estado [20], y opera con condiciones laborales caracterizadas por la explotación, pobreza y riesgo para los trabajadores.

En México el sector informal juega un rol primordial en la cobertura y eficiencia de los servicios de manejo de residuos. Trabajadores informales colectan los RSU en lugares a los que las autoridades municipales no llegan [21], lo que es muy común en asentamientos irregulares, en los que los pobladores no pagan impuestos, o en municipios con baja capacidad económica. Los recolectores informales reciben una propina

o pago por su servicio por parte de los generadores, y trasladan los residuos a sitios de disposición (que en ocasiones funcionan como tiraderos a cielo abierto). Aunque la CDMX tiene una cobertura amplia de recolección, existen áreas en las que la actividad funciona como se ha descrito. Sin embargo, la participación del sector informal se da principalmente a través de los voluntarios que trabajan en los vehículos de recolección, cuyo ingreso se deriva de las propinas y de la venta de materiales reciclables.

Castillo Berthier [22], en su análisis del sector informal de la CDMX, resalta como las relaciones paternalistas y la existencia de líderes locales juega un papel de mucha relevancia en los servicios de manejo de residuos. Generalmente un líder autocrático media en las relaciones entre los grupos informales y las autoridades, y negocia aspectos como el derecho de los trabajadores a participar en ciertos sectores o actividades, o la solución de conflictos, que se realiza mediante negociaciones informales, que generalmente incluyen compromisos políticos. De esta manera las organizaciones de trabajadores informales se convierten en un instrumento político. Las instancias reguladoras generalmente perciben a estos sectores informales como una influencia negativa en los sistemas de manejo de residuos [23], por lo que su integración y mejora de condiciones laborales constituye un gran reto en el país y en la ciudad.

3.3 Nuevo escenario de manejo de residuos

En julio de 2017 entró en vigor en la ciudad la norma NADF-024-AMBT-2013, cuyo objetivo es implementar un nuevo sistema de separación para aumentar el volumen de recuperación de residuos inorgánicos valorizables. Para ello se establece la segregación en cuatro fracciones: reciclables, no reciclables, orgánicos y residuos de manejo especial, los cuales incluyen a los electrónicos y los voluminosos. En este esquema, las autoridades han propuesto que la fracción no reciclable sea incinerada en una planta de termovalorización que ha sido autorizada a la empresa Veolia, que ganó la licitación para construir una planta que pueda tratar 4,595 ton/día de RSU [24].

Dada la imposibilidad de abrir un nuevo relleno en la ciudad, las autoridades han apostado a la reducción de los volúmenes que requieren disposición final. Se espera que la nueva forma de separación, articulada con la termovalorización, disminuirá los costos derivados del traslado de los residuos a los rellenos, al reducir la masa enviada en aproximadamente 3000 ton/día. El análisis de flujo de materiales para este nuevo sistema se presenta en la Figura 3.

El objetivo principal de una planta de incineración es reducir el volumen de residuos enviado a disposición. Sin embargo, su utilización debe tomar en cuenta distintos factores. El primero es el contenido de humedad de los residuos, que elevará el costo del proceso al requerir combustible adicional para mantener la combustión [25]. Hasta la fecha no se cuenta con estudios sistemáticos de la humedad presente en los residuos de la CDMX que se pretende incinerar. Tiene que evaluarse también la cantidad y calidad de los residuos, dado que no existe un cálculo actual y completo de la composición de los RSU en la ciudad.

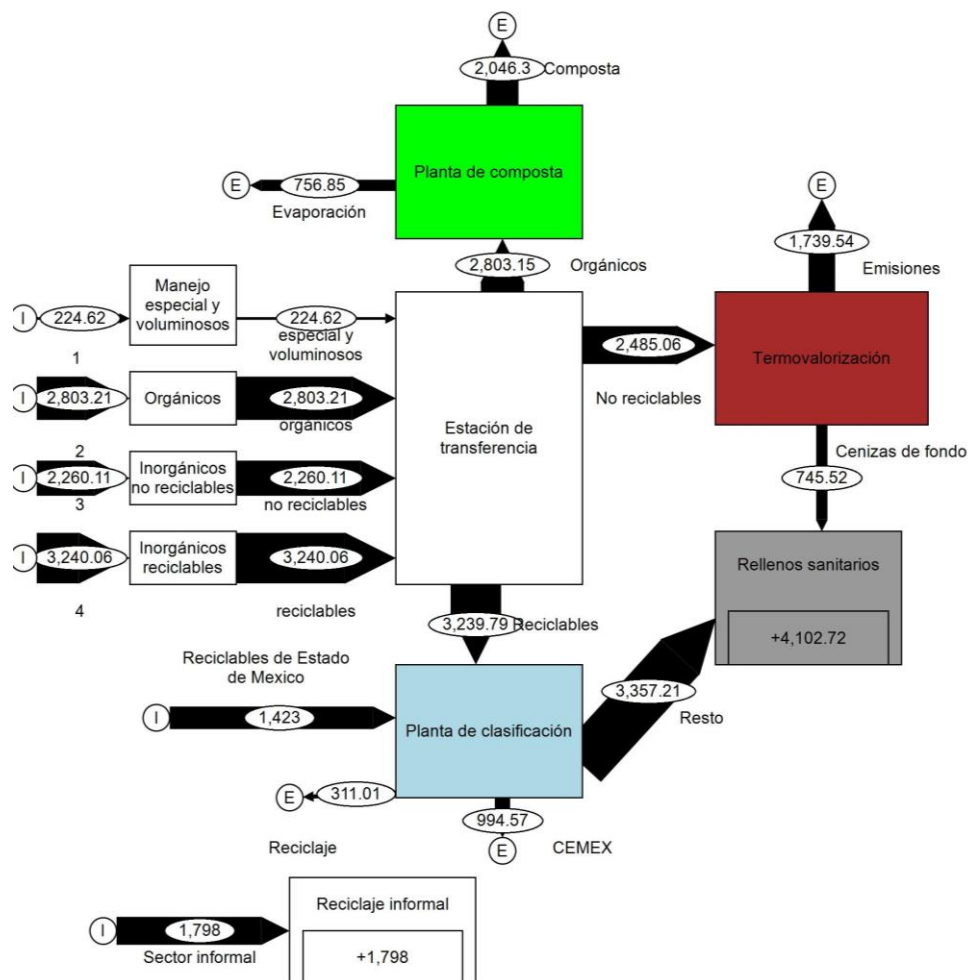


Figura 3. Análisis de flujo de materiales para el escenario con separación en cuatro fracciones y termovalorización en la Ciudad de México

Por otro lado, si la norma de separación funciona de forma adecuada, incrementando la recuperación de materiales, el volumen de residuos para incineración, especialmente de aquellos con alta capacidad calorífica, como ciertos plásticos y el papel, disminuiría. Las plantas de incineración generalmente requieren de funcionar a su máxima capacidad para aumentar su eficiencia; la necesidad de altos volúmenes en el proceso de incineración puede generar una competencia con los procesos de minimización y valorización.

El tratamiento mediante termovalorización aumentará el costo global del tratamiento de residuos, hasta 53 Euros por tonelada, como es el caso de Europa [26]. El gobierno ha asumido que esto se compensará con la reducción en los costos de producción, y con la posibilidad de producción de electricidad mediante el aprovechamiento de la energía generada en la incineración. Sin embargo, dado el bajo precio de la electricidad y el nivel del precio del transporte, es muy probable que el costo global del manejo de residuos aumente.

4. Conclusiones

El sistema actual de gestión de residuos en la CDMX presenta algunas deficiencias operacionales y en términos de gobernanza. Como en muchos países en desarrollo, la saturación de los sitios de disposición

final define muchas políticas y acciones relacionadas con la gestión de residuos. Aunque el gobierno local ha realizado esfuerzos importantes para la mejora del manejo de los RSU, destinando sumas importantes de recursos a la recolección, transportación y distintas soluciones tecnológicas, el sistema aún presenta áreas críticas y muchos elementos que requieren mejoras. El análisis desarrollado permitió identificar puntos críticos para el aumento de la eficiencia global de la gestión de residuos en la ciudad:

- Las plantas de composta existentes proveen una solución parcial al tema de los residuos orgánicos, aunque para generar mayores beneficios requerirían de mayor apoyo en infraestructura y la generación de un mercado para su producto.
- La termovalorización propuesta como una solución para la ciudad puede traer beneficios en el corto plazo, pero no resolverá el problema en forma definitiva debido a los problemas que se han discutido en este artículo.
- No puede ignorarse el rol del sector informal, que juega un rol primordial y debería contemplarse dentro de un sistema integrado de gestión.
- El costo actual del manejo compromete la sustentabilidad financiera del proceso en el largo plazo
- El mayor reto en términos de gobernanza es la incapacidad actual para garantizar las regulaciones

Puede concluirse que la falta de una planeación basada en información sólida, sistemática y fidedigna es una de las barreras clave para la mejora de los servicios de RSU en la ciudad. Se requiere una inversión considerable, pero existe un gran campo de mejora y de reducción en costos operativos y de inversión en el futuro a través una mayor cooperación con el sector informal, el involucramiento de todos los actores, y un énfasis en los procesos de composteo y reciclaje.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Secretaría de obras y servicios, por las facilidades otorgadas en la realización de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- [1] SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017) Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu> (consultado 5 de marzo de 2018).
- [2] Guibrunet L., Sanzana Calvet M. y Broto Flows. (2017) System boundaries and the politics of urban metabolism: Waste management in Mexico City and Santiago de Chile. *Geoforum* 85: 353-367.
- [3] Rodriguez A., Castrejon-Godinez M.L., Ortiz-Hernandez M.L. y Sanchez-Salinas E. (2015) Management of municipal solid waste in Mexico. Conferencia: Proceedings Sardinia 2015, Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium. En: S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/292326943_MANAGEMENT_OF_MUNICIPAL_SOLID_WASTE_IN_MEXICO (consultado 16 Marzo 2018).
- [4] Taboada-González P., Aguilar-Virgen Q., Ojeda-Benítez S. y Cruz-Sotelo S. (2014) Application of analytic hierarchy process in a waste treatment technology assessment in Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment* 9: 5777–5795.
- [5] Duran Moreno A., Garces Rodriguez M., Velasco A. R., Marin Enruquez J. C., Gutierrez Lara R., Moreno Gutierrez A. y Delgadillo Hernandez N. A. (2013) Mexico City's municipal solid waste

characteristics and composition analysis. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29 (1): 39-46.

- [6] Taboada-González P., Aguilar-Virgen Q., Ojeda-Benítez S. y Armijo C. (2011) Waste characterization and waste management perception in rural communities in Mexico: A case study. *Environmental Engineering and Management Journal* 10: 1751-1759.
- [7] Gómez F.L. y Quintero M.J. (2011) Acuerdan GDF y Edomex canalización de basura ante cierre de Bordo Poniente. La Jornada. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx:8810/2011/12/22/capital/036n2cap> (consultado 5 de marzo de 2018).
- [8] Brunner P.H. y Rechberger H. (2004) *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. USA: Lewis Publishers
- [9] Cencic O. y Rechberger H. (2008) Material flow analysis with software STAN. *Environmental Engineering and Management Journal* 18: 3–7.
- [10] SEDEMA, Secretaría de medio ambiente. (2015) *Inventario de Residuos Sólidos*. Ciudad de México. Disponible en: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2015-14-dic-2016.compressed.pdf> (consultado 5 de marzo de 2018).
- [11] SEDEMA, Secretaría de Medio ambiente. (2013) Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013, que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito federal. Disponible en: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/NADF-024-AMBT-2013.pdf> (consultado 5 de marzo de 2018).
- [12] World Bank, Data Bank. (2016) Disponible en: <http://data.worldbank.org/country/mexico> (consultado 5 de marzo de 2018).
- [13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015) Encuesta Intercensal. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015/doc/eic_2015_presentacion.pdf (consultado 5 de marzo de 2018).
- [14] Gómez G., Meneses M., Ballinas L. y Castells F. (2009) Seasonal characterization of municipal solid waste (MSW) in the city of Chihuahua, Mexico. *Waste Management* 29: 2018-2024.
- [15] Mexico News Daily (2017) Separating garbage will be obligatory. Disponible en: <https://mexiconewsdaily.com/news/separating-garbage-will-be-obligatory/> (consultado 5 de marzo de 2018).
- [16] Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2015) *Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean*. Disponible en: https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7177/Solid_Waste_Management_in_Latin_America_and_the_Caribbean.pdf?sequence=4&isAllowed=y (consultado 5 de marzo de 2018).
- [17] Langner A. y Macías V. (2012). Cuesta 40% más a GDF el traslado de basura. *El Economista*. Mexico City. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2012/01/16/cuesta-40-mas-gdf-traslado-basura> (consultado 10 de marzo de 2018).
- [18] Masood M., Barlow C. Y. y Wilson D.C. (2014) An assessment of the current municipal solid waste management system in Lahore, Pakistan. *Waste Management & Research* 32: 834-847.

- [19] Hardoy J.E., Mitlin D. y Satterthwaite D. (2013) Environmental Problems in an Urbanizing World: Finding Solutions in Cities in Africa.
- [20] Ezeah C., Fazakerley J. y Roberts C. (2013) Emerging trends in informal sector recycling in developing and transition countries. *Waste Management* 33: 2509–2519.
- [21] Medina M. (2005) Serving the unserved: informal refuse collection in Mexico. *Waste Management & Research* 23: 390–397.
- [22] Castillo Berthier H. (2003) Garbage, work and society. *Resources, Conservation and Recycling* 39: 193–210.
- [23] Sembiring E. y Nitivattananon V. (2010) Sustainable solid waste management toward an inclusive society: integration of the informal sector. *Resources, Conservation and Recycling* 54: 802–809.
- [24] BNAméricas (2017) Ciudad de México adjudica contrato por planta de termovalorización. Disponible en: <http://www.bnamericas.com/es/noticias/aguasyresiduos/ciudad-de-mexico-adjudica-contrato-por-planta-de-termovalorizacion1/> (consultado 5 de marzo de 2018).
- [25] World Energy Resources. (2016) Waste to Energy. Disponible en: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Waste_to_Energy_2016.pdf (consultado 5 de marzo 2018).
- [26] Tsilemou K. y Panagiotakopoulos D. (2006) Approximate cost functions for solid waste treatment facilities. *Waste Management & Research* 24: 310-322

Valorización de materiales susceptibles de recuperación de los residuos sólidos urbanos en municipios del Oriente de Michoacán y el Estado de México

¹ Antonio Saavedra Aguilera, ²Otoniel Buenrostro Delgado, ³María del Consuelo Hernández Berriel
³María del Carmen Carreño de León.

¹ Biólogo. Facultad de Biología, Edificio R. Ciudad Universitaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
saavedra_age.28@hotmail.com

² Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Edificio U4. Ciudad Universitaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³ División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de Toluca, Tecnológico Nacional de México. Av Tecnológico S/N Col. Agrícola Bellavista. Metepec, Estado de México

Resumen

La producción de residuos sólidos urbanos (RSU) se ha incrementado debido al mayor consumo de bienes, servicios y una escasa separación y reciclaje de subproductos, que en su mayor parte pueden ser valorizados. Esta investigación tiene como objetivo conocer la composición y cantidad de RSU, determinar la cantidad de materiales que son valorizados y cuantificar el incremento de vida útil de los sitios de disposición final (SDF) con la implementación de los programas de valorización de materiales reciclables. La investigación se realizó en cuatro municipios colindantes del Estado de Michoacán y tres del Estado de México. La caracterización de los RSU se efectuó de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas y para cuantificar los valorizables se siguió la guía de SEDESOL 2012. [1]. Los datos se analizaron con análisis de varianza y de correlación. Los resultados de la investigación indicaron una composición de los RSU de orgánicos del 79 al 94%, inorgánico del 1 al 17%. Zitácuaro fue el municipio que valoriza más materiales 36% y el Oro el que menos valoriza con 9.4%. El ingreso económico calculado de la venta de los materiales oscila entre \$1,920.00 a \$105,757.00 (pesos mexicanos/día). La implementación del programa de valorización de materiales se determinó un incremento de la vida útil de los SDF de dos a cuatro años. Estos resultados son importantes pues permiten establecer planes de gestión integral de los RSU, así como sensibilizar a la ciudadanía para disminuir los problemas de contaminación, y disminuir el pasivo ambiental de los SDF.

Palabras clave: *Reciclaje, Ambiente, Municipios, Valorización, Residuos.*

1. Introducción

El medio ambiente presenta diversos problemas de contaminación en sus diferentes sistemas naturales, en las últimas décadas se ha observado una mayor destrucción del hábitat, donde el hombre es el principal agente de disturbio debido a la excesiva explotación de los recursos y a la producción de contaminantes, derivada de la transformación de estos mismos que son vertidos en los ecosistemas. Uno de estos problemas ambientales es la contaminación por los residuos sólidos [2].

Con respecto a la recolección, tratamiento y disposición final, en el año 2011, se estimó que se recolectaron hasta un 87% de los residuos generados en todo el país, logrando una cobertura de recolección del 95% en las grandes zonas metropolitanas y entre el 75% y el 85% en ciudades medianas, mientras que en áreas urbanas pequeñas, se alcanzó una cobertura de recolección entre el 60% y el 80%. Del total de los RSU generados en México, solamente un 64% se depositó en 88 rellenos sanitarios y 21% en sitios controlados. Por lo que se estima que 25,000 ton/día, se depositaron en tiraderos a cielo abierto, barrancas, o bien en cualquier otro sitio sin control [3].

Conocer la cantidad y la composición de los RSU, brinda la posibilidad de proponer opciones sustentables para su aprovechamiento. Los materiales contenidos en los RSU de cualquier localidad manejados de forma

apropiada, se pueden reintegrar a las cadenas productivas, mediante insumos para algún otro proceso de producción. En promedio en el Estado de México se podrían comercializar semanalmente 643.67 toneladas de residuos alimenticios para composta, 389.45 toneladas de papel y cartón, 217.55 toneladas de plástico, 78.81 toneladas de vidrio, 37.20 toneladas de metales y 8.11 toneladas de aluminio [3].

2. Metodología

Para el desarrollo de la investigación se siguió la siguiente metodología.

2.1. Selección de los sitios de estudio

En cada municipio seleccionado, se tomó una muestra de RSU en el sitio de disposición final, de aproximadamente 25 kilos, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-015-1985 [4]. Con la misma muestra se determinó el peso volumétrico de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-019-1985 [5].

2.2. Caracterización y cuantificación de subproductos

Las bolsas etiquetadas con las muestras, se pesaron en básculas de 10 kg y se anotó el peso de cada una, en un formato de clasificación de subproductos propuesto en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985 [6]. Una vez que se pesaron el total de bolsas con las muestras, se vaciaron cada una de ellas sobre una mesa y se separaron todos los componentes, depositándolos en charolas previamente pesadas. Posteriormente se pesaron cada uno de los componentes y se anotaron los pesos de cada uno en el formato [7]. El porcentaje de subproductos resultantes se determinó mediante la ecuación (1).

$$PS = GL/G \quad (1)$$

Donde:

PS=Porcentaje del subproducto considerado.

GL=Cantidad de subproductos en kilogramos.

G=Cantidad total de la muestra en kilogramos.

2.3. Cuantificación de los materiales susceptibles de recuperación valorizados

Una vez caracterizados los subproductos, se separaron nuevamente los materiales susceptibles de recuperación, de acuerdo con la guía establecida por SEDESOL [8].

2.4. Estimación de la vida útil de los sitios de disposición final del área de estudio

La estimación de la ampliación de la vida útil de los SDF con la implementación de la separación de MSR, se utilizó la ecuación (2) que permite calcular el periodo de tiempo que se puede incrementar la vida útil de los SDF. Esta estimación se realizó solo para los municipios de Tuzantla, Tlalpujahua y Zitacuaro) que son los municipios que cuentan con un SDF. Considerando el periodo de vida útil mínimo óptimo de 20 años, que se recomienda en la Norma oficial Mexicana NOM-083.-SEMARNAT-2003 [9].

$$T2 = [total\ RSU] * [T1 / total\ RSU - MSR] \quad (2)$$

Donde:

T1: Tiempo de vida útil trabajando con el total de la generación de RSU al día.

T2: Incremento del tiempo de vida útil si se trabaja con la generación de RSU que ya les fueron separados los MSR.

MSR: Total de materiales susceptibles de recuperación recuperados.

2.5. Procesamiento y análisis estadístico de los datos.

Los datos del análisis de generación se capturaron en una hoja de Excel 2010, clasificándolos por municipio. Se aplicó el análisis de varianza no paramétrico (Wilcoxon-Kruskal-Wallis) para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la generación y composición de los RSU entre los municipios. Posteriormente se aplicó un análisis de regresión múltiple para determinar el coeficiente de correlación entre las variables analizadas (% de población urbana y rural, con respecto a la generación de RSU (Ton/día) en cada Municipio y de los MSR (Ton/día). Los análisis se realizaron con el programa Stat soft statistica 8.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización de subproductos

La caracterización de los RSU mostró una variedad de 47 subproductos, siendo muy notoria la

Predominancia del papel, papel higiénico, cartón, residuos de jardinería y alimenticios, así como material no separable con un porcentaje mayor con respecto a los demás. En la tabla 1 se muestran los subproductos que en la actualidad se valorizan en los municipios estudiados, mismos que les proporciona una fuente de ingreso. Como se puede ver Zitácuaro, Michoacán es el municipio que más valoriza subproductos, mientras que el municipio de El Oro, Estado de México presenta el menor porcentaje de valorización de los MSR.

Tabla 1. Materiales susceptibles de recuperación valorizados en los municipios del área de estudio (% peso húmedo).

Subpro- ducto	Zitácuaro	Contepec	Tlalpujahua	El Oro	Tuzantla	San José del Rincón	Donato Guerra
Papel	8.72	0.00	2.24	3.28	2.24	8.14	6.59
Cartón	5.11	5.40	10.25	1.61	10.25	5.26	5.62
Tetrapack	1.73	1.90	0.14	0.00	0.14	0.43	1.46
Bolsa de Botana	7.18	0.00	3.13	0.56	3.13	0.71	1.64
Bolsa de Película	8.29	0.00	6.21	3.78	6.21	6.58	5.80
Tereftalato de polietileno	3.24	3.24	0.87	0.00	0.87	0.10	0.82
Aluminio	2.23	0.00	0.45	0.13	0.45	0.27	1.57

Material Ferroso	0.00	0.00	4.05	0.05	4.05	0.00	4.18
Vidrio de Color	0.00	11.90	0.13	0.00	0.13	0.00	4.27
Vidrio Transparente	0.00	000	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00
TOTAL	36.49	22.44	27.46	9.41	27.46	22.67	31.95

Con respecto a la Caracterización de los RSU, se pudo observar que la composición de éstos en cada municipio es muy heterogénea, siendo más notorio que los subproductos más predominantes son los residuos vegetales, residuos alimenticios, pañales de bebe, papel, cartón, vidrio, papel sanitario y el material no separable. Con estos datos es factible establecer recomendaciones a los municipios con esquemas para disminuir la producción de RSU, priorizando la valorización de los MSR.

En cuanto al ingreso económico por la comercialización de los MSR, la cantidad monetaria que se puede obtener de la venta de los distintos MSR es muy variable, pues depende de la cantidad y del tipo de subproducto que se valoriza, así como del monto de recuperación de éstos. No obstante, que en algunos municipios, el ingreso que obtienen es poco; éste puede ofrecer beneficios sustantivos en la toma de decisiones., ahora bien si estas cantidades se visualizan a mediano plazo en cantidades de Ton/semana, Ton/mes, Ton/año, se puede estimar la cantidad de dinero que se puede recuperar; este ingreso que en su momento se puede utilizar para emprender programas tendientes a la gestión y manejo integral de los RSU en los municipios.

3.2. Cuantificación de los materiales susceptibles de recuperación valorizados

Con base en los datos de generación de RSU reportados de la aplicación de la encuesta y del estudio de caracterización y cuantificación de subproductos, se calculó la cantidad de MSR valorizados por cada municipio (Tabla 2). También se muestra el ingreso económico por la comercialización de la cantidad de MSR valorizados.

Tabla 2. Cantidad de RSU generados y de MSR recuperados en los municipios del área de estudio (Ton/día)

MUNICIPIO	RSU	MSR	Ingreso (\$ pesos mexicanos)
Zitácuaro	110.00	33.42	105,758
Contepec	5.00	0.91	2,109
Tlalpujahua	7.00	2.38	7,756
El Oro	8.52	0.77	1,921
Tuzantla	7.50	2.2	7,132
San José del Rincón	7.00	2.31	7,109
Donato Guerra	2.00	1.27	10,608

Lo anterior es de suma importancia, ya que uno de los mayores cambios que se logran con la implementación de programas para lograr la gestión integral de los RSU es la valorización de los subproductos y con esto la creación de más fuentes de empleo, aprovechando los materiales recuperables

resultantes de la generación. Un ejemplo en este estudio se puede observar en el municipio de Zitácuaro, que aprovecha los residuos de plástico para darle un valor agregado y tener como resultado manguera para distintos usos como: riego agrícola y agua potable, misma que es vendida a los habitantes internos a un precio accesible y a gente ajena al municipio a un costo considerable, así como la elaboración de composta orgánica, realizada a base de la fracción orgánica, misma que desde hace ocho años ha servido para mejorar los suelos de las áreas verdes de dicho municipio.

Otra posibilidad de valorizar los residuos sólidos orgánicos del área de estudio, ya que como se mencionó, esta fracción es la mayoritaria en la composición de los RSU del área de estudio. Es la producción de energía eléctrica a partir del metano producido a través de la digestión anaerobia de estos residuos orgánicos. Un dato importante que posiblemente en la actualidad es un reto debido a la falta de infraestructura para fomentar el uso de conversión de energía a base de RSU, ya que en México son escasos los proyectos que se han emprendido para producir este tipo de energía alterna. No obstante, sería importante considerarlo, debido a que la falta de interés, de economía e investigación, en general de distintos factores esto ahora no es real, pero sería una alternativa para disminuir los impactos en cuanto a la gran concentración de residuos sólidos. Lo anterior, ha sido exitoso en países europeos que aprovechan estos residuos para generar electricidad, disminuyendo así la generación de RSU.

3.3. Estimación de la vida útil de los sitios de disposición final

La cantidad de MSR valorizados en cada municipio del área de estudio varía ostensiblemente. La aplicación de la ecuación 2 permitió calcular la cantidad de años de prolongación del periodo de vida útil de los SDF. En la tabla 3, se muestra el tiempo en años y el porcentaje de este tiempo de incremento de periodo de vida útil de los SDF con la disminución de la cantidad de MSR valorizados en los municipios. Con base a la estimación de la vida útil de los SDF, se determinó el incremento de porcentaje de vida útil en cada uno de los municipios si se aprovechan los MSR.

Como se puede ver en la tabla 3, se estimó el porcentaje (%) de incremento de vida útil de los SDF de los municipios con los que se cuenta con un relleno sanitario, donde el relleno de Tlalpujahua tiene el % más alto con 1.49 % de incremento de vida y por ende el relleno de Zitácuaro con él % menor con 1.37%.

Tabla 3. Estimación de la vida útil de los SDF con valorización de los materiales susceptibles de recuperación.

Municipio	Ton/día Total	Ton/día MSR	Ton/día RSU	Porcentaje (%) Vida útil (T1)	Porcentaje (%) Vida útil Total (T2)	Vida útil
Zitácuaro	110.00	33.42	76.58	1.43	28.6	20
Contepec	5.00	0.91	4.09	1.22	24.4	20
Tlalpujahua	7.00	2.38	4.62	1.51	30.2	20
El Oro	8.52	0.77	7.75	1.09	21.8	20
Tuzantla	7.50	2.2	5.30	1.41	28.2	20
San José del Rincón	7.00	2.31	4.69	1.49	29.8	20
Donato Guerra	2.00	1.27	0.73	2.73	54.79	20

En cuanto a la generación de los RSU, actualmente vivimos una época donde el crecimiento demográfico es muy marcado y por ende, la vida útil de los sitios de disposición final se ve amenazada, es por ello la importancia de buscar soluciones en coordinación con la ciudadanía para minimizar los problemas ambientales. Para ello es importante la inclusión social con el trinomio la familia-educación y la parte

política, ya que juntando esta trilogía, la generación de los RSU desde el entorno familiar juega un papel importante para tener una adecuada separación de residuos y evitar que se mezclen y que su transferencia sea directa al sitio de disposición final, es por ello la gran importancia de la concientización ambiental.

Desde el núcleo que es la familia, esto podría minimizar la problemática, por una parte disminuiría el trabajo de los recolectores y por otra parte podría facilitar el trabajo de los segregadores, quienes son los encargados de trabajar la separación y el aprovechamiento de los MSR y así de manera directa se disminuye la generación de los RSU y por ende aumenta la vida útil de los sitios de disposición final.

3.4. Resultados de los análisis estadísticos

El ANOVA mostró que no existe una diferencia estadísticamente significativa en la composición de los RSU en los municipios del área de estudio (p)=0.65, con excepción del municipio de Donato Guerra que mostró una diferencia estadísticamente significativa con el municipio de Zitácuaro (p)=0.03, el ANOVA H (6, N=319)=4.208369 p =0.6485.

Respecto a los ANOVAS se decidió hacer uso de la estadística no paramétrica usando la prueba de Kruskal-Wallis, analizando los datos en el software estadística 8, para determinar si existe diferencia significativa en cuanto a los subproductos caracterizados en cada uno de los municipios, haciendo la comparación entre estos mismos como se muestra en el cuadro No.18, donde se puede ver los resultados en cuanto al valor de significancia (P) de la prueba de Kruskal-Wallis de cada municipio y de igual manera para sustentar en todo caso, la hipótesis nula (H_0)=no existe diferencia estadísticamente significativa con respecto a los subproductos caracterizados en cada uno de los municipios en estudio, se puede corroborar dicha aceptación

haciendo uso del valor de significancia de $(P) \leq 0.05$. Entonces para este primer análisis no paramétrico se concluye que la composición de los RSU de los municipios no presenta diferencias estadísticamente significativas, ya que como se puede observar la dispersión de los valores con respecto a la mediana en los siete municipios se encuentran prácticamente empatadas. Esto es porque la mayoría de los porcentajes de cada subproducto son bajos y similares, por lo cual se acepta H_0 = no existe diferencia significativa en cuanto a la comparación del porcentaje de subproductos caracterizados en los municipios,

ya que el valor de La prueba de Kruskas-Wallis $(P) = 0.6485$. De igual forma, el valor de (p) es mayor a ≥ 0.05 en cada municipio en estudio prácticamente no existe diferencia significativa. Algo importante

que hay que resaltar del ANOVA es en cuanto al valor de $(P) = 0.03$ del municipio de Donato Guerra, ya que sí presenta diferencia significativa con respecto al municipio de Zitácuaro. Esto podría ser ya que en cuanto a la composición de los RSU, Zitácuaro generó más subproductos y Donato Guerra tuvo poca cantidad de componentes en subproductos.

5. CONCLUSIONES

En cuanto a los resultados de esta investigación se concluye que:

La gestión integral de los RSU abarca procedimientos bien estructurados y es lo que permite dar un buen servicio de recolección y disposición de los RSU, además de asegurar la valorización y disminución de la generación de éstos. Sin embargo, para lograr lo anterior es importante iniciar con la cultura de la separación de los RSU en la fuente, por lo menos en tres fracciones: orgánicos, inorgánicos y peligrosos para un mejor confinamiento de los RSU.

La generación de RSU en cada uno de los municipios mostró grandes variantes en cuestión de componentes, lo cual permite estimar el ingreso económico por la venta de los MSR en los municipios.

La cantidad de dinero que se puede obtener por la valorización de subproductos generados al día en cada uno de los municipios, puede tener grandes ventajas en la toma de decisiones para la elaboración y/o mejoramiento de planes de manejo para la gestión integral de los RSU en los municipios.

La implementación de programas de concientización ambiental, junto con la separación de los RSU y el valor agregado que se les puede dar a éstos, inciden en una comunidad más limpia y saludable, y así mejorar la calidad de vida y disminuir el impacto ambiental y social.

Los sitios de disposición final cumplen un ciclo de vida de aproximadamente 20 años, no obstante, si se tiene una adecuada separación de RSU y a estos se les da un valor agregado ya sea en un centro de acopio u algún otro producto final, se evita el confinamiento inadecuado de estos RSU en los SDF, y con ello, incrementarse el periodo de vida útil de los sitios de disposición final. Esto último puede incrementar también la viabilidad financiera de construir y operar rellenos sanitarios en los municipios.

El crecimiento demográfico en cada uno de los municipios es constante y por ende la generación de los RSU corre de manera paralela junto con otras variables socioeconómicas, ambientales, sociales y culturales, tanto en localidades urbanas como en localidades rurales.

De acuerdo al ANOVA efectuado a los datos, no existen diferencias estadísticamente significativas, en cuanto a la generación de RSU, con respecto a los municipios en estudio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]-SEDESOL (Secretaría De Desarrollo Social). Manual para determinar la Factibilidad de Reducción y Reúso de Residuos Sólidos Municipales. (2012).

[2]-Buenrostro, O. Marquez, L. Ojeda, S. (2014). Environmental perception of solid waste management in the municipalities of Pátzcuaro region. Environmental Engineering and Management Journal. 13 (12), 3097-3103. Print ISSN: 1582-9596; EI SSN: 1843-3707.

[4]-SECOFI (Secretaría De Comercio Y Fomento Industrial). (1985). NMX-AA-015. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo.

[5]-SECOFI (Secretaría De Comercio Y Fomento Industrial). (1985). NMX-AA-019. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-peso volumétrico "in situ".

[6]-SECOFI (Secretaría De Comercio Y Fomento Industrial). (1985). NMX-AA-022. Protección al ambiente-contaminación del suelo residuos sólidos municipales-selección y cuantificación de subproductos.

[7]-SEMARNAT (Secretaría Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales). (2003). NOM-083-SEMARNAT. 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.

Generación de biogás y biosólido, usando un biodigestor doméstico modular, como una alternativa de tratamiento de los residuos orgánicos domésticos

Pompeyo Quechulpa Pérez, Ramiro Herrera Meza, Luis Rolando Guarneros Nolasco, Ketzasmin

Armando Terron Mejía, Javier Ángel Itehua Feria

Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Km 04 Carretera a la Compañía S/N, Tepetitlanapa, Zongolica, Veracruz C.P. 95005

Tel.: (01-272) 7270449 martin.pompeyo@hotmail.com

RESUMEN

Actualmente se está generando una gran cantidad de residuos, que en su mayoría no se les da un tratamiento para su valoración o incorporación, tal es el caso de los desechos orgánicos generados en casas, los cuales pueden ser usados como abono y como sustrato para la generación de biogás. En esta investigación se realizó el análisis de la generación de basura en casas y en el mercado de la ciudad de Zongolica, Ver; con la finalidad de conocer la cantidad de residuos orgánicos que pueden ser usados para producir biogás, a través de un biodigestor anaerobio doméstico modular, fácil de operar por las familias. Para tal caso se estudió el proceso de generación de biogás en tres biodigestores de 200 litros; cargados al 7.5%, 10% y 12.5% de materia orgánica base seca. Se analizó el potencial de hidrógeno, la densidad, el contenido de sólidos totales y volátiles, materia orgánica, antes, durante y al finalizar el proceso; al inicio y final del proceso se analizó el contenido de nitrógeno total Kjeldahl de la materia orgánica; se estudió la generación de biogás y se determinó su composición, a través de un cromatógrafo y un Orsat durante 21 días. Dentro de los resultados obtenidos se determinó, que en Zongolica una familia de 5 personas, arroja en promedio 1,962 g de desperdicio, suficiente para cargar diariamente el biodigestor a un 10% de materia orgánica y producir biogás que aporte parte de la energía necesario para la casa.

Palabras Clave: Basura, biogás, biodigestores, domésticos, tratamiento,

1.- Introducción

Uno de los usos de la biomasa, que se encuentra en los desechos domésticos, agropecuarios, agrícolas y agroindustriales es la producción de biogás, gas incoloro e inflamable compuesto aproximadamente por un 55 – 70 % de CH_4 el cual le confiere las características de combustión, un 30 – 40 % de CO_2 , con pequeñas cantidades de otros gases, tales como H_2 , N_2 y ácido sulfhídrico H_2S , estos porcentajes varían de acuerdo con la biomasa utilizada. El biogás posee un contenido energético entre 6.0 – 6.5 kWh/m^3 , su límite de exposición del biogás en el aire es del 6 – 12 %, cuando el gas tiene un contenido entre el 55 y 70 % de CH_4 , su temperatura de ignición es de 650 – 750 °C, su presión crítica es de 74 - 88 atm, su temperatura crítica de 82.5 °C, su densidad normal de 1.2 kg/m^3 , y su masa molar es del 16.043 kg/kmol .

El gas se produce en un recipiente o tanque denominado biodigestor, en cuyo interior se realiza la fermentación o digestión anaerobia de materia orgánica; la cual es un proceso biológico atractivo para la conversión de residuos domésticos, agrícolas, e industriales [1]; Esta transformación se lleva a cabo por la acción de bacterias en la mezcla, provocando la liberación de su energía química en tres etapas fundamentales: hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis para convertir las sustancias de naturaleza orgánica que son biodegradables [2], a productos intermedios para llegar fácilmente a la mezcla gaseosa llamada biogás, compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono. [3] en algunos casos puede ser sustituto de los combustibles comunes [4].

El uso del biogás como fuente alterna de energía en casas, contribuye en la disminución del daño ambiental, provocado por los productos derivados del petróleo y maderables, que son usados como combustibles en las actividades domésticas. Además de generar biogás como combustible se estará generando un desecho orgánico rico en nitrógeno que sale del digestor, el cual puede ser usado como un abono orgánico. El nitrógeno es uno de los principales compuestos que necesitan las plantas para su crecimiento.

2.- Metodología

En la figura 1 se presenta la metodología para la generación de biogás a partir de desechos orgánicos domésticos.

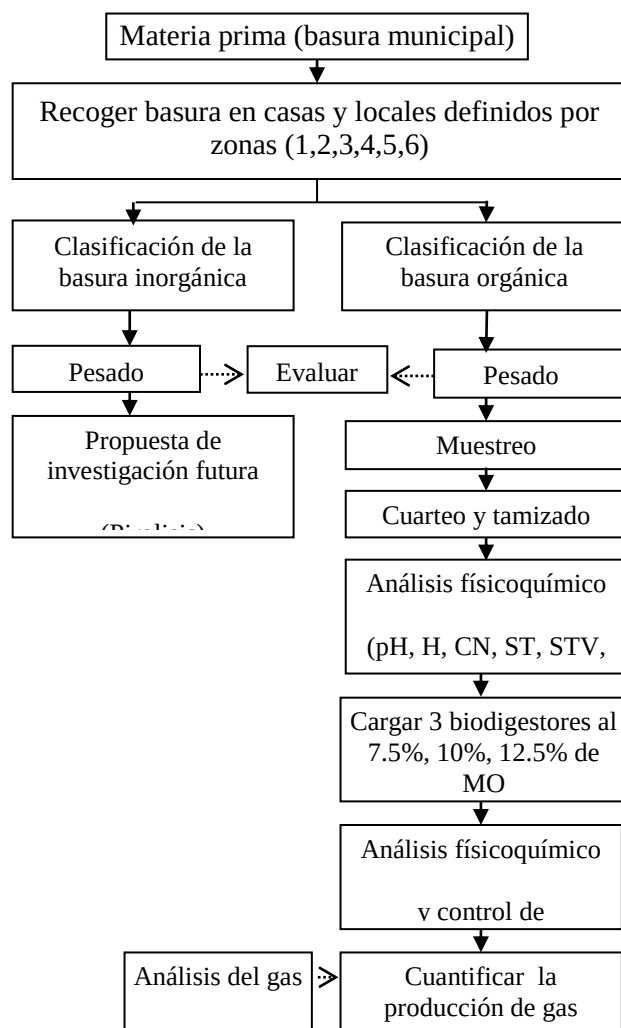


Figura 1. Metodología

NTK (nitrógeno total Kjendahl).

A continuación, se detalla cada etapa de la metodología.

1. Se realizó una metodología que permitiera recolectar, clasificar, cuantificar y reciclar la basura orgánica e inorgánica de la ciudad de Zongolica Ver. Se identificaron y definieron 6 zonas de estudio, zona centro, alta, baja, alrededores, montaña y mercado municipal, dando un tamaño de la muestra de 30 casas y 6 locales del mercado municipal. A cada casa y local se les pidió su basura y se determinó su peso total, posteriormente se clasificó en basura orgánica e inorgánica, mediante una tabla de clasificación y se pesó cada tipo de basura clasificada. El estudio se realizó durante 2 meses; con la finalidad de determinar la generación diaria de basura. La metodología de recolección nos permitió dar parte de la solución al problema de la contaminación; generando una conciencia del reciclaje de basura en las personas habitantes de las casas encuestadas.

2. Se determinaron las características físicoquímicas de la basura orgánica y para lograrlo; se juntó la basura orgánica generada en las 6 zonas, posteriormente se mezcló, cuarteo y tamizo y se obtuvieron tres muestras a las que se les determinaron sus propiedades físicoquímicas de pH (potencial de Hidrogeno), ρ (densidad), H (humedad), CN (cenizas), ST (sólidos totales), STV (sólidos totales volátiles), MO (materia orgánica) y

3. Debido a que existen algunos factores a considerar para una digestión óptima, en donde tienen que estar presentes todos los elementos esenciales en forma fácil de asimilar por las bacterias. Se han logrado resultados satisfactorios con concentraciones mayores al 15% de sólidos, sin embargo en la práctica la

gama es de 3 a 10 % [5], motivo por el cual, con el contenido de ST, STV y MO, se formularon las mezclas de materia orgánica y agua para los tres biodigestores piloto, tipo bach para una capacidad de 200 L tal y como se muestra en la figura 2, obteniendo un sustrato homogéneo con un contenido del 7.5, 10 y 12.5 % de materia orgánica, el 92.5, 90 y 87.5 % restante de agua.



Figura 2. Biodigestor modular para casa habitación

4. Otro factor importante a considerar en la digestión anaerobia es el pH, el cual determina la producción total de biogás y la composición del metano. Debajo de un pH de 6 el proceso se llevaría a cabo de forma ácida la cual inhibe la actividad de las bacterias metanogénicas. Por debajo de pH entre 4.5 a 5.0, la inhibición afecta a las bacterias fermentativas y lo mismo ocurre si en el proceso el pH se encuentra por encima de 8 a 8.5. debido a que la basura orgánica tiene un pH ácido y para llevar cada carga orgánica a un pH entre 7 y 7.5, en un recipiente se prepararon 10 L de agua con hidróxido de calcio (cal) al 10 N, y en contenedores externos se realizaron las mezclas de materia orgánica y agua para cada reactor y se le agrego la mezcla de agua con cal, con la finalidad de elevar el pH ácido de la materia orgánica, a un pH entre 7 y 7.5 siendo un pH óptimo para el proceso de digestión anaerobio. Una vez acondicionado el pH se cargaron los tres reactores.
5. A cada reactor mostrado en la figura 3, se le tomaron tres muestras, a las que se les determinó su densidad y NTK, para tener los datos de las propiedades fisicoquímicas al iniciar el proceso.
6. Durante el proceso de digestión anaerobio solo se determinó ST, STV y MO con la finalidad de determinar la perdida de materia orgánica provocada por el consumo del sustrato por parte de las bacterias
7. También durante el proceso se determinó la generación volumétrica de biogás con la técnica de desplazamiento de fluidos usando una probeta invertida y con el uso de un cromatografo y un Orsat se analizó el biogás en términos de su composición CH₄, CO₂, y N₂.
8. Al finalizar el proceso, además del contenido de ST, STV, MO y pH se determinó el contenido de NTK para saber el comportamiento de la materia orgánica al inicio y final del proceso

Los parámetros se obtuvieron mediante las técnicas de los métodos estándar APHA [6],



Figura 3. Biodigestores cargados al 7.5, 10 y 12.5 % de MO

3.- Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestra la generación de basura promedio la cual fue de 3,384.497 g de basura por cada familia de 5 personas, siendo igual a 676.899 g/persona, de las cuales 2,797.29 g es orgánica y 587.207 g es inorgánica. Podemos identificar que la mayor producción fue de 1,962.5 g de desperdicio.

Tabla 1. Basura promedio generada diariamente en una familia de 5 personas

Basura inorgánica	Peso (g)	Basura orgánica	Peso (g)
Plástico rígido	82.588	Cartón o papel	264.166
Plástico película	170.478	Cáscaras	301.667
Metales ferrosos	70.525	Desperdicio	1962.5
Metales no ferrosos	60.755	Huesos	77.5
Vidrio	22.24	Madera	44.5833
Hule	4.405	Cuero	7.458
Baterías	10.898	Tierra o polvo	139.416
Ropa, trapo y algodón	42.652		
Equipo electrónico	85.273		
Pinturas, colorantes	15.548		
Material de construcción	21.845		
Total basura inorgánica	587.207	Total basura orgánica	2797.29
Basura total			3384.497

En la figura 4 se muestra la generación de basura orgánica promedio para 12 familias representativas

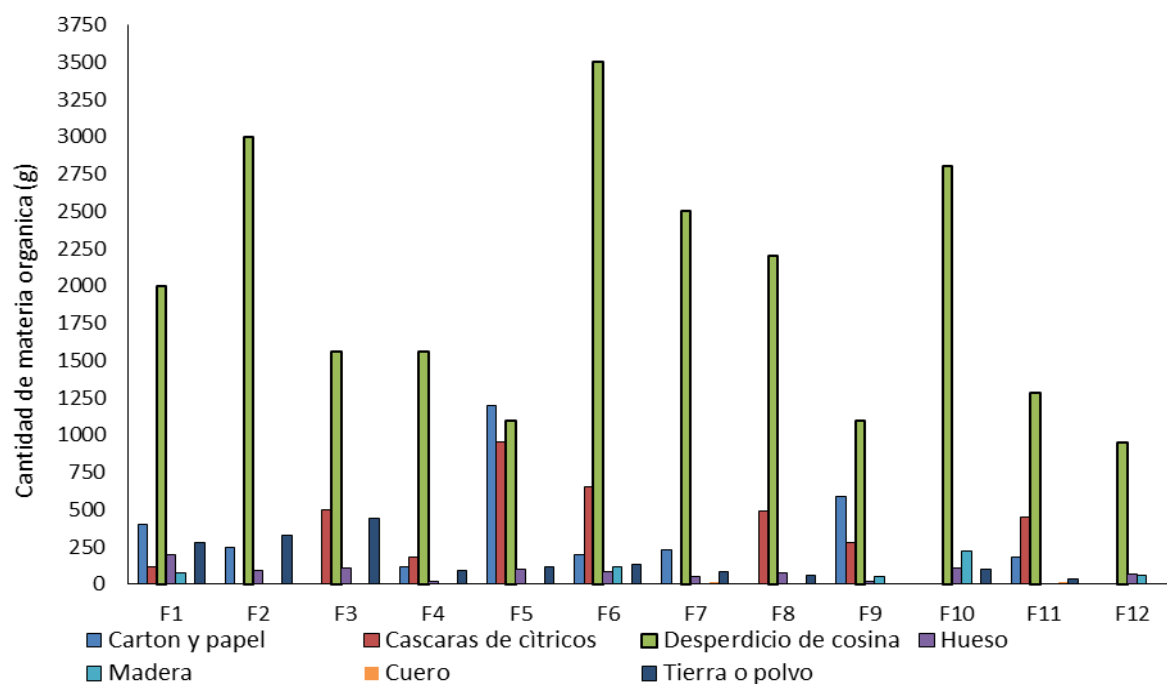


Figura 4. Basura orgánica promedio generada en 12 familias

En la tabla 2 se presenta el promedio de basura recolectada por semana, observando una mayor generación de basura de 5,235.77 g en los días lunes y 4873.15 g en los días jueves, debido a que en la ciudad de Zongolica, los días domingo y jueves son días de plaza, el domingo la gente realiza la compra de sus productos orgánicos en el mercado y junta el desperdicio en lunes, el día jueves la gente vuelve a comprar, pero ese día se junta basura sumada a la basura acumulada del día miércoles.

Tabla 2. Basura promedio generada por semana de una familia de 5 personas

Basura	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Inorgánica (g)	529.55	685.45	521.91	521.85	988.51	424.76	429.86
Orgánica (g)	3357.56	4550.32	2327.55	1952.99	3884.64	1678.99	1875.76
Total (g)	3887.11	5235.77	2849.46	2474.84	4873.15	2103.75	2305.62

Del total de basura generada por zona, se tomaron muestras de basura orgánica para caracterizarla, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3. De la tabla identificamos los datos necesarios para realizar las cargas orgánicas de los tres reactores, siendo un contenido de 24.2 % de ST, 95.81 % de MO, un pH ácido igual a 4.2 de la materia orgánica. También se determinó que la basura orgánica tiene un 28.35 % de NTK siendo un material orgánico extremadamente rico en N, el cual ayuda a la actividad metanogénica de las bacterias durante el proceso de digestión anaerobio de materia orgánica [7].

Tabla 3. Análisis físicoquímico de la materia orgánica

Parámetro	Variable	Unidad	Promedio de las seis zonas
Densidad	P	g/ml	0.936
% Humedad	% H	g/g	75.800
% Cenizas	% CN	g/g	0.886
% Solidos totales	% ST	g/g	24.200
% Solidos totales volátiles	% STV	g/g	23.313
% Materia orgánica	% MO	g/g	95.81
Potencial de hidrogeno	Ph	g/g	4.2
Potencial de hidrogeno	pH	Valoración	Acido
%Nitrógeno total Kjendahl	% NTK	g/kg ST	28.35
	% NTK	Valoración	Extremadamente rico en N

En la tabla 4 se presenta la relación, entre los resultados encontrados y los de la investigación de Pérez y Vicencio [8].

Tabla 4. Comparación entre dos investigaciones relacionadas con temperatura y % de STV

Muestra	Pérez y Vicencio, (2002)		Esta investigación	
Basura orgánica	Temperatura °C	% STV m/m	Temperatura °C	% STV m/m
Promedio	24.3	38	24	24.20
Máximo	30.4	65	30	34.15
Mínimo	21.1	14	17	21.55

En la tabla 5 se presentan los valores de comparación entre los resultados de la basura orgánica de esta investigación y los resultados de la investigación realizada por Delfín y Duran [9] en ambos resultados, existe relación entre las composiciones de la basura respecto al pasto y la paja.

Tabla 5. Comparación entre dos investigaciones relacionadas con el peso seco, cenizas, y nitrógeno de materia orgánica

Investigación	Material	% Peso seco	% Cenizas	% Nitrógeno
Delfín y Duran, (2003)	Algodón	71.32 ± 0.05	3.68 ± 0.01	1.17 ± 0.03
	Paja	84.66 ± 0.40	3.20 ± 0.12	4.30 ± 0.07
	Pasto	89.27 ± 0.20	9.23 ± 0.16	14.43 ± 0.05
	Piña	25.91 ± 0.12	3.43 ± 0.04	4.94 ± 0.03
	Café	80.01 ± 0.06	8.10 ± 0.20	1.32 ± 0.06
	Semilla var. Oscura	38.94 ± 0.00	404.06 ± 0.15	3.04 ± 0.06
	Semilla var. Clara.	31.77 ± 0.28	4.94 ± 0.12	2.11 ± 0.05
Esta investigación	Basura orgánica	29.45 ± 2.88	0.886 ± 0.12	28.35 ± 1.04

En la tabla 6 se presenta la composición fisicoquímica de la carga de los tres reactores, al iniciar el proceso de digestión anaerobia

Tabla 6. Composición fisicoquímica de las mezclas al iniciar el proceso de digestión anaerobio

Variable	Mezcla al 7.5 % de MO	Mezcla al 10 % de MO	Mezcla al 12.5 % de MO
% H (g/g)	84.4989	82.4433	73.4789
% ST (g/g)	15.5011	17.5567	26.5211
% CN (g/g)	4.1800	6.0200	9.9622
% STV (g/g)	11.1916	11.5367	16.5589
% MO	71.9032	66.7702	63.6219
Ph	6.82	6.85	6.84
%NTK (g/kgST)	25.58	23.44	22.05
Valoración	Extremadamente rico en N	Extremadamente rico en N	Extremadamente rico en N

En la figura 5, 6 y 7 se observa claramente una disminución del contenido de ST, STV y un porcentaje de remoción de MO muy elevada en los 21 días de su tiempo de residencia hidráulica, lo que indica que en este tiempo se generó mayor cantidad de biogás y las bacterias metano génicas consumieron los nutrientes presentes en cada composición.

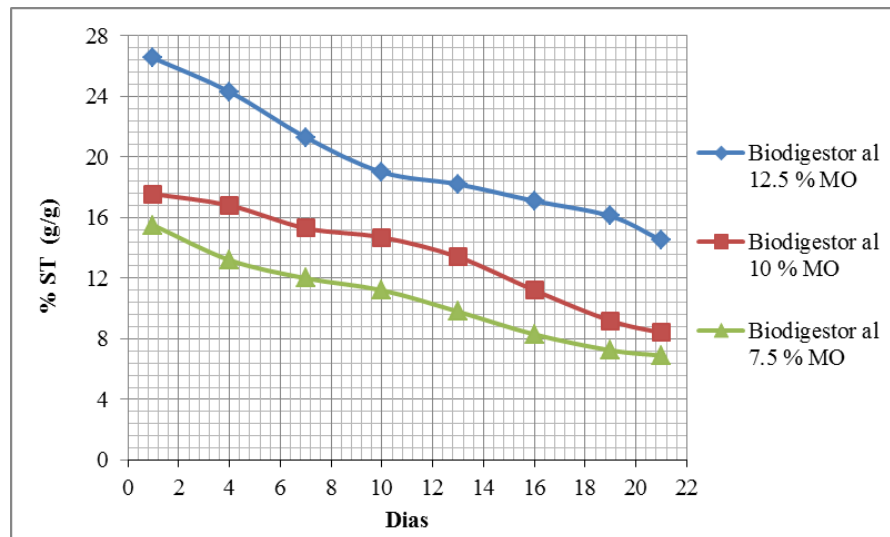


Figura 5. Porcentaje de Sólidos Totales en el proceso de digestión anaerobio

En la figura 7 se observa que durante los primeros 21 días, el proceso de biodigestion de la basura en el biodigestor cargado al 7.5 % de MO, logro remover el 39.53 % de MO; el de 10 % de MO logro remover el 41.16 % de MO y el de 12.5 % de MO logro remover el 44.71 % de MO. Por lo que los tres biodigestores superaron el 38% de Materia Orgánica, cumpliendo con la norma, NOM-004-SEMARNAT-2002 [10] la cual indica los valores permisibles para depositar al ambiente un residuo producto de algún proceso industrial, de lo contrario provoca daños al ser expuesta al ambiente.

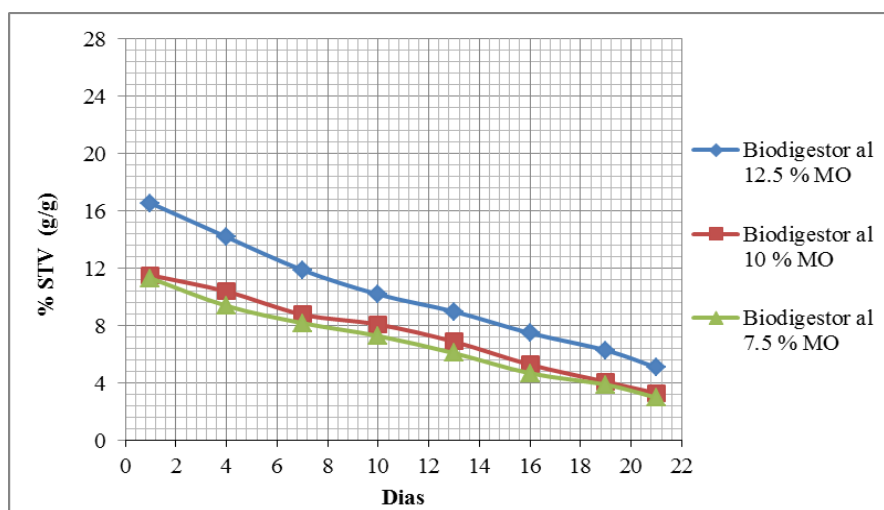


Figura 6. Porcentaje de Sólidos Totales Volátiles en el proceso de digestión anaerobio

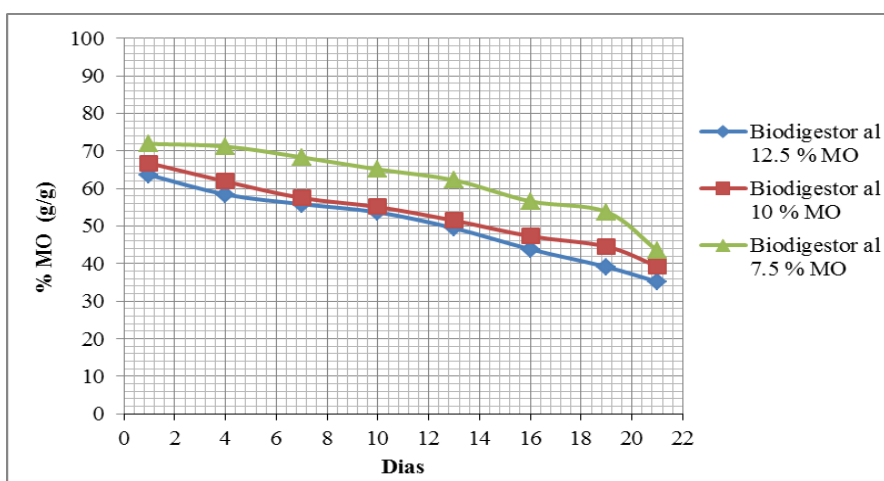


Figura 7. Porcentaje de remoción de Materia Orgánica en el proceso de digestión anaerobio

Los estudios de generación de biogás para cada reactor se muestran en la figura 8, y a medida que avanza el proceso de digestión anaerobia, la producción de biogás aumenta, hasta una producción máxima en el día 13. Y de ahí la producción de biogás baja hasta el día 21.

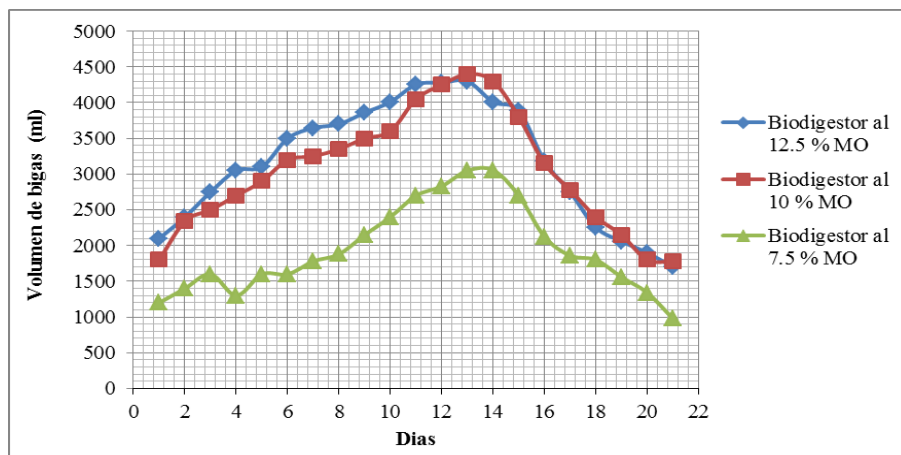


Figura 8. Volumen de generación de biogás para cada biodigestor

En la figura 9 se presenta la gráfica de la producción del gas metano que es el gas principal, el cual le confiere las características de combustión del biogás, podemos ver que la producción de gas metano comenzó con una pequeña producción en el día 5 y una máxima producción en el día 13 y 14, disminuyendo su producción hasta el día 21 debido a que las bacterias consumieron la mayor cantidad de materia orgánica y esta se está agotando por lo que después del día 21 el proceso se vuelve continuo cargando diariamente cada biodigestor con la mezcla de basura orgánica triturada y agua, previamente acondicionada.

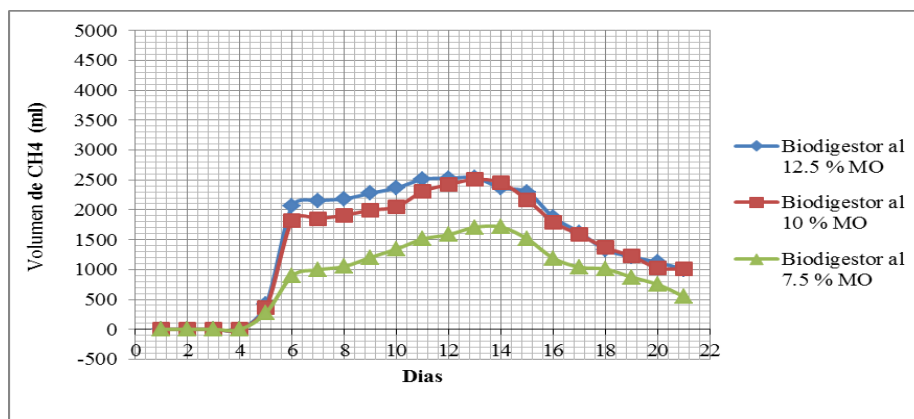


Figura 9. Volumen de generación de gas metano CH₄ para cada biodigestor

En la tabla 8 se presenta la composición del biogás, podemos observar que dicha producción está entre 59.2 y 62.1 % de CH₄, muy similar a la investigación de Malina quien obtuvo entre el 60%-75% de CH₄ [11].

Tabla 8. Porcentaje de composición promedio del biogás

Biogás		Reactores		
Nombre	Variable	7.5 % de MO	10 % de MO	12.5 % de MO
Metano	% CH ₄	59.2	61.5	62.1
Dióxido de carbono	% CO ₂	31.5	33.8	35.7
Nitrógeno molecular	% N ₂	9.3	4.7	2.2
Total		100.00	100.00	100.00

El conocimiento del porcentaje de los gases componentes presentes en el biogás es muy importante. Si se logra tener un sistema que separe los gases generados en el biodigestor, en sus gases principales CH₄, CO₂ y N₂, se aumentara la pureza de cada gas y se les dará un valor agregado. Quechulpa, 2014 diseño un sistema para purificar y separar los gases generados en los biodigestores [12]. Y este sistema puede ser usado en los biodigestores domésticos, tema que será para futuros trabajos de investigación.

En la tabla 9 se presenta el rendimiento del gas metano y se observa que el mejor rendimiento es para el biodigestor al 10 % de MO.

Tabla 9. Rendimiento de gas metano para cada carga

Rendimiento de gas	Biodigestor		
	7.5 % de MO	10 % de MO	12.5 % de MO
L de CH ₄ /kg de MO	1.691	2.012	1.675

4.- Conclusiones

Para disminuir un poco los problemas de contaminación provocados por la mala disposición de la basura; cada hogar deberá tener por lo menos 1 contenedores para depositar la basura orgánica, y 4 contenedores para la basura inorgánica, uno para plástico, otro para metales, otro para pilas, baterías, y otro para equipo electrónico. El ayuntamiento municipal deberá buscar la forma de recolectar la basura inorgánica ya clasificada mediante rutas de recolección. A nivel investigación buscar alguna aplicación a la basura inorgánica. Para el caso de la basura orgánica y con la finalidad de hacer más eficiente el proceso de digestión anaerobio y la generación de biogás; del total de basura orgánica recolectada por día en la casa, usar la basura orgánica que fácilmente pueda ser degradada por las bacterias, quitando los huesos, carne y compuestos cítricos con mayor contenido de ácido, posteriormente triturar la basura y preparar la carga formada por la mezcla de materia orgánica y agua al 10 % de MO. Mediante la mezcla de agua con cal al 10N elevar el pH de ácido a neutro en el rango de 7 a 7.5.

El biodigestor al 10 % de MO es el que da un mejor resultado con un rendimiento de 2.012 L de CH₄/Kg de MO.

Después del día 21 el proceso se convierte en continuo por lo que se tiene que agregar diariamente una carga de materia orgánica y agua, en esta segunda etapa las bacterias ya están acondicionadas y producen una mayor cantidad de biogás.

El proceso de digestión anaerobio usando biodigestores modulares domésticos, es una alternativa viable para generar biogás para ser usado en la cocción de los alimentos y el efluente desechado por el biodigestor sirve como abono orgánico con excelente contenido de nitrógeno equivalente al 27.5%, siendo indispensable para el crecimiento de las plantas el cual puede ser usado en la creación de huertos familiares en los que se siembren verduras y leguminosas para el consumo de la familia.

5.- Agradecimientos

Los autores externan su gratitud al Instituto Tecnológico Superior de Zongolica (ITSZ) por el apoyo para llevar a cabo dicha investigación, así como al Centro de Investigación y de Estudios Tecnológicos Avanzados (CINVESTAV) del IPN unidad Querétaro, Qro. Institución en donde se llevaron a cabo algunos análisis y estudios correspondientes.

6. - Referencias

- [1] Gupta N., Gupta S.K., Ramachandran K.B. Modelling and simulation of anaerobic stratified biofilm for methane production and prediction of multiple steady states, *Bioresource Technology*, 65, (1997).
- [2] Rajbhandari S.K. Annachatre A. P. Anaerobic ponds treatment of starch wastewater: case study in Thailand, *Bioresource Technology*, In press, 25, (2004).
- [3] Winkler M. Tratamiento biológico de aguas de desecho, 4ª. Ed., Limusa, México D.F. (1995).
- [4] Murphy J.D., McKeogh E., Kiely G. Technical and economic environmental analysis of biogas utilization, *Applied Energy*, 77, 407-427, (2004).
- [5] Van Buren A. A Chinese Biogas Manual. Intermediate Technology Publications, London, (1979).
- [6] APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 20th Edition, Washington, D.C, (1995),
- [7] Guirovich, M. J. Biosolids Treatment and Management, Ed Marcel Decker, Inc. Cap. 7. N. Y., E.U.A., 79 – 85, (1996).
- [8] Pérez L. M. E., Vicencio de la R. M. G. Influencia del basurero municipal en la calidad del agua de acuífero de la ciudad de Durango, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18 (003): 2 – 7, (2002).
- [9] Delfín, A. I., Duran de B. C. Biodegradación de residuos urbanos lignocelulosicos por pleurotas, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, UNAM, México, 19(001), 37 – 45: 41, (2003).
- [10] Norma Oficial Mexicana, NOM – 004 – SEMARNAT – 2002, publicada en el Diario Oficial de la Federación, México (15 de agosto de 2003), 4 – 9, 15 – 17.
- [11] Malina, F. J. Variables Affecting Anaerobic Digestion, *Public Works*, 25(8): 113 – 116, (1993).
- [12] Quechulpa-Pérez P, Pérez-Robles JF, Pérez-de Brito AF, Avilés-Arellano LM (2014) Hybrid Membranes Prepared by the Sol-Gel Process and based on Silica-Polyvinyl Acetate for Methane Enrichment from Biogas. *J Membra Sci Technol* 4: 128. doi:10.4172/2155-9589.1000128
- [13] Harris Jonathan M. Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach. 2a Ed. Tufts University, Global Development and Environmental Institute (2006).
- [14] Rodrigo S. A. Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de residuos alimentarios. *Ainia*, México, 12: 2 – 10 (2005).
- [15] Arvizu F. J. L. y Huacuz V. J. M. Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad. *Boletín IIE*, octubre-diciembre, México, 118 – 123: 118, 119 (2003).
- [16] Esty, Daniel et. al. Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship, Yale Center for Environmental Law y Policy. New Haven, <http://www.yale.edu/esi> (2005).
- [17] Rivera P, Foladori, G. Reflexiones sobre la contabilidad ambiental en México, *Economía, Sociedad y Territorio*, mayo – agosto, México, 6 (021), 177 –217: 192, 197 (2006).

- [18] Pineda P. N., Loera B. E. Bien recolectada pero mal tratada. El manejo municipal de la basura en Ciudad Obregón, Hermosillo y Nogales, Sonora. Colegio de Sonora, México, 16, 30 (2006).
- [19] SEMARNAT. Guía para la gestión de los residuos sólidos municipales. Subsecretaria de Gestión para la Protección Ambiental, México, 24 (2001).
- [20] Steiner C.G. Understanding anaerobic treatment. Pollution engineering. 32,12, 1-7 (2000).
- [21] Noyola A. Incubadoras de empresas y creación de empresas de base tecnológica: 1) creación de empresas spin-off por parte de investigadores universitarias. Reunión Regional OMPI-CEPAL de expertos sobre el sistema nacional de innovación: propiedad intelectual, universidad y empresa (2003).
- [22] Omer A.M., Fidelli Y. Biogas technology in Sudan. Renewable pp. 28: 499-507. Paginas consultadas 53 – 100 (2003).
- [23] Muñoz Valero, J. A., Ortiz Cañabate, J., Vázquez Míguela, J. Técnicas y aplicaciones agrícolas de la biometanización. Serie Técnica – Ministerio de Agricultura Pesca y alimentación, España (1987).
- [24] Marchaim U. Biogas processes for sustainable development. FAO, Agricultural. Roma, 95 (1992).
- [25] Stronach, S. M., Rudd, T. y Lester, J. M. Anaerobic Digestión Proceses in industrial Wastewater Treatmen. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. Republica Federal de Alemania, 59 – 68, 149, 158 (1986).
- [26] Hohlfeld J, Sasse L. Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries. GTZ. Eschborn, Alemania (1986).
- [27] Taiganides, E.P. Biogás, recuperación de energía de los excrementos animales Zootecnia, 35: 2-12 (1980).
- [28] Coombs, J. “The present and future of anaerobic digestion”, en Anaerobic digestion: a waste treatment technology. Editado por Wheatley, A. Critical reports on applied chemistry. Vol. 31, 93-138. Elsevier applied science LTD (1990).
- [29] González S., Marmolejo C. Tratamiento de aguas de desecho de la industria del nixtamal en un reactor anaerobio empacado. Series de' Instituto de Ingeniería No. 498. Universidad Nacional Autónoma de México (1986).
- [30] Montiel E., Joachin M. Comportamiento cinético y cuantificación de la producción de metano de aguas residuales en un reactor anaerobio. Tesis de licenciatura. Ingeniería Agroquímica. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas de Orizaba, México (2000).
- [31] Hernández S. B., Guyot J. P. Arranque de un reactor anaerobio con Iodos adaptados cama inoculas y un afluente industria agroalimenticia (levaduras). Ingeniería Bioquímica Industrial. Publicaciones Universidad Autónoma Metropolitana, México (1991).

Gestión y manejo integral de residuos sólidos urbanos en un salón de eventos sociales de la ciudad de México, D.F.

¹Villa-Mendoza Jorge Erik Emmanuel, ¹Sierra Hernández Gladys, ¹Díaz Pérez Verónica Jazmín, ¹Puerto Rosales Luisa Fernanda, ²Mireya Castañeda-Velasco, ²Adelaida Ocampo-López, ²Cornelio Cruz-Ahumada

¹Estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Ambientales. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Unidad Zacatenco. Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. Av. Wilfrido Massieu, s/no. Gustavo A. Madero, C.P. 07738. Ciudad de México, D.F. e-mail: jvillam1401@alumno.ipn.mx

²Profesores del Departamento de Ingeniería en Sistemas Ambientales. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Zacatenco. Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. Av. Wilfrido Massieu, s/no. Gustavo A. Madero, C.P. 07738. Ciudad de México, D.F.

Resumen

Los resultados de este estudio dan a conocer una estimación de la generación de residuos sólidos urbanos en un salón de eventos sociales en la colonia San Bartolo Atepehuacan, Delegación Gustavo A. Madero, Ciudad de México, siguiendo las Normas Mexicanas NMX-AA-15-1985 con el método de Cuarteo, NMX-AA-22-1985 con la Selección y Cuantificación de Subproductos, así como NMX-AA-19-1985 para obtener el Peso volumétrico “in situ”. Los análisis estadísticos aleatorios demostraron la recolección y factible separación de subproductos valorizables como son el cartón (2.19 kg), periódico (2.55 kg), botellas de refresco “PET” (1.93 kg) y vidrio (4.85 kg) por un sólo evento social. Una estrategia dentro del plan de manejo es el diseño integral de un sistema vertical con tres contenedores para facilitar en gran medida la separación de estos residuos que pueden generar un ingreso a la economía con una proyección de casi 27 pesos. Finalmente, para la correcta gestión integral de residuos se proponen dos clínicas para talleres de inducción en este tipo de microempresas, con la prioridad de fortalecer aún más su compromiso normativo para la correcta separación y confinamiento temporal de los residuos orgánicos e inorgánicos con un valor agregado así como los no valorizables con y sin volumen.

Palabras Clave: *generación, orgánicos, inorgánicos valorizables, clínicas*

1. Introducción

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [1] artículo 5 fracción XXIX se le denomina residuo a todo material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven [1]. Tal es el caso de la Ciudad de México con la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal en materia de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos y servicio de limpia [2] y la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013 [3] para la correcta separación desde un generador y su vertimiento en el transporte recolector de los residuos orgánicos, inorgánicos valorizables y no valorizables, así como los de gran volumen con la inclusión de los electrodomésticos y electrónicos [3].

Con el fin de aportar una estrategia que promueva la separación y confinamiento temporal de residuos como lo da a conocer la normatividad [3], y además, contribuir con la agenda del Plan Nacional de Desarrollo del país [4], vinculado estrechamente con los Objetivos del Desarrollo Sostenible 2030 el cual señala que para erradicar la pobreza, proteger al planeta y asegurar la prosperidad de todos, es necesario tener metas integrales y multisectoriales que tomen en cuenta la inclusión social, el crecimiento económico y proteger al ambiente [5]. Ante los objetivos 11 y 12 dirigidos a ciudades y comunidades resilientes y sostenibles, así

como de generar una producción y consumo responsable [5], se llevó a cabo la caracterización, cuantificación y disposición de los residuos sólidos urbanos generados en un salón de eventos sociales ubicado en la delegación Gustavo A. Madero.

2. Metodología

El salón de eventos sociales se encuentra en la Delegación Gustavo A. Madero. El estudio de los residuos se llevó a cabo con los métodos y materiales de la Norma Mexicana NMX-AA-19-1985, sin realizar el método de cuarteo debido a que la cantidad de residuos fue menor de 50 kg [6], por lo que sólo se hizo el muestreo y recolección en bolsas de polietileno para continuar con su separación sobre un área plana horizontal de 2 x 2 m. Continuando con la selección de subproductos de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-22-1985 [7] y con la estimación del peso volumétrico de la Norma Mexicana NMX-AA-19-1985 [8] y su ecuación.

$$P_v = P/V \quad (1)$$

P_v = peso volumétrico del residuo sólido, en Kg/m³

P = Peso de los residuos sólidos expresados en Kg

V = Volumen del contenedor, en m³

Para la proyección de resultados se utilizó la siguiente ecuación

$$(C*4)/2 \quad (2)$$

Donde C representa la cantidad de residuos, 4 son las semanas en un mes y 2 son las semanas transcurridas.

También, se realizó una predicción y escenario para 1 año con la fórmula siguiente:

$$(C*5/22) \quad (3)$$

Para el cálculo de las dimensiones de un sistema vertical de contenedores se realizó un ejercicio de optimización en función del volumen para los cuatro tipos de residuos que más se generan en el salón de eventos sociales (Figura 1, Tabla 4).

Para el contenedor expresando el área de una caja sin tapa se siguió la siguiente ecuación:

$$A=xy+2xz+2yz \quad (4)$$

Para estimar el volumen de un contenedor cúbico se siguió esta ecuación:

$$V=xyz \quad (5)$$

3. Resultados y discusión

Los resultados y análisis de los muestreos señalaron la prioridad de diseñar y proponer un sistema vertical de recolección de residuos muy funcional y adaptado estrictamente en un espacio de confinamiento temporal en el área de cocina y barra de bebidas del salón (Figura 1 y 2). Una propuesta más para cumplir con el objetivo de reducción y valorización de los residuos sólidos es el de confinarlos durante una semana y llevarlos a un establecimiento dedicado a la compra de aluminio, papel, cartón, vidrio y PET, con lo cual se logra tener ingresos extraordinarios por su venta (Tablas 1, 2, 3, 4 y 5).



Figura 1. Métodos de muestreo y análisis de los residuos sólidos urbano: a) recolección y separación (Norma NMX-AA-15-1985), b y c) clasificación de subproductos y obtención del peso volumétrico (Normas NMX-AA-19-1985, NMX-AA-22-1985) y d) sistema de contenedor vertical.

Con base en los registros de estimación de la generación de residuos a partir del método del cuarteo y obtención del peso volumétrico por subproducto entre los dos muestreos (tabla 1 y 2), se da a conocer que los residuos con mayor emisión son vidrio, PET, papel periódico y cartón, lo cual fundamenta la propuesta desarrollada como cálculo de la proyección mensual y anual de residuos sólidos urbanos del salón de eventos sociales tal y como se muestra en la tabla 3.

Tabla 1. Datos obtenidos por método del cuarteo y peso volumétrico "in situ" para la primera determinación *

Producto	Peso (Kg)	Volumen ocupado (m ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
Vidrio	5.523	0.056	98.625
PET	1.372	.031	43.72
Papel periódico	3.444	.028	123
Cartón	2.184	.056	39
Otros residuos	8.477	.076	2427.59
Total	21.00	.224	2731.85

*con el ajuste hecho a la tabla de subproductos mencionados en la Norma Mexicana NMX-AA-22, 5 de septiembre 2016

Tabla 2. Datos obtenidos por método del cuarteo y peso volumétrico "in situ" para la segunda determinación*.

Producto	Peso (Kg)	Volumen ocupado (m ³)	Peso volumétrico (kg/m ³)
Vidrio	1.26	0.0056	225
PET	1.33	.056	23.75
Papel periódico	0.119	.028	42.5
Cartón	0.882	.028	31.5
Otros residuos	2.975	.0876	976.619
Total	6.566	.180	1299.369

*con el ajuste hecho a la tabla de subproductos mencionados en la Norma Mexicana NMX-AA-22, 12 de septiembre 2016

Tabla 3. Cantidad proyectada de residuos a generar por mes como al año en kilogramos.

Cantidad mensual	39.38	Cantidad anual	472.56

La proyección se encuentra en función del número de eventos que se llevan a cabo mensualmente y el número de invitados atendidos, incluyendo los tipos y unidades de insumos utilizados para la preparación de alimentos, y obviamente con los residuos que se generan en esta actividad. Este modelo de proyección da conocer los ingresos extraordinarios por la valorización de los residuos mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Valorización de los 4 residuos sólidos con mayor generación y su proyección mensual (M.N.).

Producto	Cantidad quincenal generada (kg)	Valor calculado	Proyección mensual
Cartón	2.19	3.00	6.00
Papel periódico	2.545	2.50	5.00
PET	1.93	5.50	11.50
Vidrio	4.845	2.50	4.50
Total	11.51	13.50	27.00

Tabla 5. Valores registrados en este estudio para la propuesta de un diseño vertical de tres contenedores por tipo de residuo con base en su tamaño y volumen (ancho, largo o altura “m”).

Producto	Ancho	Largo	alto
Vidrio	0.221	0.442	0.442
PET	0.248	0.496	0.496
Papel periódico	0.175	0.35	0.35

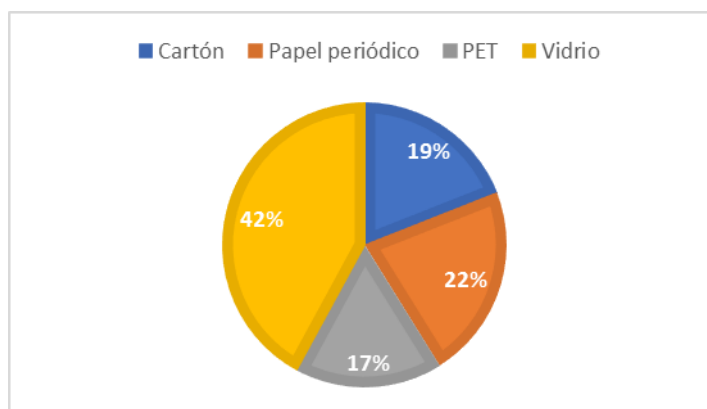


Figura 2. Grafica con los residuos más producidos por el salón de eventos sociales proyectados en una quincena.

Como estrategia prioritaria para difundir el correcto manejo de los residuos se elaboró un minitaller con un formato de presentación de dos clínicas en Power Point, con el objetivo de presentarlo ante el personal ejecutivo y administrativo, mostrando los efectos y causas posibles de la emisión de partículas contaminantes en el aire, suelo y agua hacia los mantos freáticos por el incorrecto manejo de los residuos sólidos urbanos generados, lo que conlleva a un riesgo y un factible impacto económico negativo como microempresa, así como a la ciudad y los ecosistemas urbanos naturales (Figura 3 y 4).

La primera clínica está dirigida a las cantidades generadas de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México, su clasificación por subproductos con valor agregado y sin valor, probables vías de reducción o de un correcto manejo aplicable dentro de este comercio o en una casa habitación, aunado al compromiso cívico de cumplir estrictamente la legislación y norma ambiental dirigidas a la correcta gestión y manejo integral de los residuos de eventos sociales.

Mientras que la segunda clínica versa sobre la concientización ambiental (Figura 3 y 4), el material desarrollado profundiza en la contaminación del aire, agua, suelos y los recursos naturales, involucrando

medidas para minimizar impactos negativos al ambiente, sobre todo demostrar directamente la prioridad de tener un manejo de residuos sólidos urbanos (Figura 2) y su potencial de reúso como centros de mesa y para decoración de los eventos sociales.

La clínica de residuos sólidos contempla también la capacitación para el uso del sistema vertical de recolección, así como la secuencia para la correcta separación de los residuos desde el inicio y termino de cada evento social como se muestra en la figura 3.

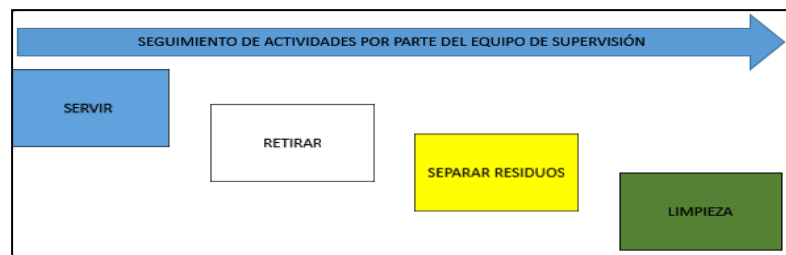


Figura 3. Esquema de secuencia de servicio y supervisión propuesta para la correcta separación de residuos durante la operación de celebraciones en el salón de eventos sociales.

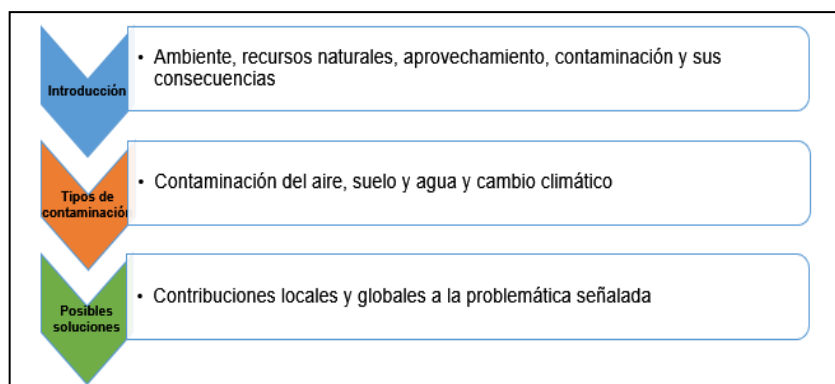


Figura 4. Esquema de la clínica de concientización ambiental.

Finalmente, los resultados obtenidos durante esta investigación dan a conocer el requerimiento de más estudios en el ámbito de salones para todo tipo de eventos donde se incluya de manera obligatoria la capacitación tanto para la correcta separación de residuos orgánicos con los inorgánicos valorizables y no valorizables, consolidando la reducción de un impacto al ambiente como a los recursos naturales y su sobreexplotación (figura 4).

4. Conclusiones

Se ofrecieron los métodos y protocolos fundamentales al salón de eventos sociales con el objetivo prioritario de realicen definitivamente la gestión y plan de manejo de sus residuos sólidos urbanos incluyendo su aprovechamiento y manejo especial para un incremento económico y de sustentabilidad. Proponiendo complementariamente un diseño y construcción ergonómica de un prototipo de contenedores verticales para la correcta separación y confinamiento temporal de los residuos valorizables, para un cumplimiento como futura microempresa socialmente responsable de sus residuos y de su medio ambiente. Con la propuesta y proyección de clínicas de concientización ambiental y de un plan de manejo integral de los residuos sólidos urbanos se generó un minitaller para la capacitación del personal de esta microempresa familiar.

Agradecimientos

Se externa un reconocimiento al dueño del lugar por brindarnos parte de su tiempo y su aprobación para la realización de este estudio. Asimismo, se expresa un profundo reconocimiento a nuestros padres por todo su amor y apoyo incondicional para nuestra vida y formación que hacen al mismo tiempo obligarnos a ser mejores ciudadanos y estudiantes para participar en este congreso ambiental tan importante para México y la Humanidad.

Referencias

- [1] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2018). En línea <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/263.pdf>> Recuperado el 10/10/2016
- [2] Asamblea Legislativa del Distrito Federal. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. En línea <<http://www.aldf.gob.mx/archivo-aa9a4d396b0b0d6ce900a0256f275939.pdf>> Recuperado el 10/10/2016
- [3] Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013. Establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal. En línea <<http://a1contenedores.com.mx/NADF024OFICIAL.pdf>> Recuperado el 10/10/2016
- [4] Diario Oficial de la Federación (DOF). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. En línea <http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013> Recuperado 3/05/2018
- [5] ¿Qué es la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible? En línea <<https://www.gob.mx/agenda2030>> Recuperado el 10/05/2018
- [6] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Mexicana NMX-AA-15-1985 Protección al Ambiente- Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo. (1985). En línea <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-015-1985.pdf>> Recuperado el 20/08/2016
- [7] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Mexicana NMX-AA-22-1985 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Selección y Cuantificación de Subproductos. (1985). En línea <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-022-1985.pdf>> Recuperado el 20/08/2016

- [8] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Mexicana NMX-AA-19-1985 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Peso Volumétrico “in situ”. (1985). En línea
<<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-019-1985.pdf>> Recuperado el 20/08/2016

SECCION 4

RECUPERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS

Potencial biometanogénico de residuos de poda

¹ Carolina Dafne Camarillo Lima, ² José Luis Contreras Larios, ² Griselda González Cardoso, ² Alfonso Espitia Cabrera

1) Posgrado en Ciencias Ambientales CBI Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, 2) Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Av. San Pablo 180 Col. Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México. Tel 5553189073, aec@correo.azc.uam.mx

Resumen

La digestión anaerobia es un proceso que valoriza los residuos orgánicos obteniendo como productos un digestato útil como bioabono y biogás, que puede ser aprovechado para generar energía eléctrica. En la UAM-A, se produce una gran cantidad de residuos orgánicos provenientes de actividades de jardinería y poda, con potencial biometanogénico (PBM), que puede ser aprovechado para generar energía para el autoconsumo dentro de la Unidad y bioabono para las áreas verdes. Se evaluó el PBM de los residuos por medio del método de cromatografía de gases, realizando un análisis cualitativo y cuantitativo del biogás producido durante 22 días en digestión anaerobia, con un inóculo preparado ex profeso, experimentando con tres diferentes relaciones de sustrato inóculo (RSI) de =0.5/1; 1/1 y 1.5/1. Se obtuvo un biogás con una concentración promedio de metano superior al 50%, con una calidad adecuada para su aprovechamiento. La RSI de 0.5/1 fue la que obtuvo un mejor resultado en PBM acumulado, con 125.14 ml CH₄/g SV, comparado con los valores de las RSI de 1 y 1.5 en las que se obtuvieron resultados cercanos a los 70 ml CH₄/g SV. Se observó una relación inversamente proporcional entre el PBM y la concentración de sustrato. Cabe mencionar los residuos de poda son una matriz muy compleja debido a los compuestos lignocelulósicos, que son la principal limitante para la digestión de estos residuos; por lo que se recomienda un proceso de pretratamiento que permita romper estas estructuras complejas o bien incluirlos en un proceso de co-digestión.

Palabras Clave: *aprovechamiento, biogás, digestión anaerobia, relación sustrato/inóculo*

1. Introducción

Debido al aumento de la generación de los residuos sólidos y la escasez de infraestructura para su tratamiento, se han desarrollado métodos para el control, reciclaje y minimización de los mismos. Para reducir los impactos negativos para el ambiente y la salud humana, se han creado programas de gestión integral o planes de manejo de residuos, además del desarrollo de técnicas de minimización y valorización.

En este contexto se han desarrollado tecnologías para la transformación de residuos, a través de alteraciones físicas, químicas o biológicas de los mismos para recuperar materiales valiosos y para generar productos tales como la composta o bien energía en forma de calor, y biogás como combustible [1]. El uso de residuos orgánicos para su aprovechamiento por medio de la digestión anaerobia tiene grandes beneficios, ya que disminuye la cantidad de residuos llevados a tiraderos, genera energía renovable y es una fuente de materiales estabilizados (bioabono) que pueden ser utilizados como biofertilizante para cultivos [2].

La lignocelulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) es el principal y más abundante componente de la biomasa producida por la fotosíntesis, anualmente se forman 200,000 millones de toneladas en el mundo [3]. La pared celular de las plantas está formada por lignocelulosa y la composición y porcentajes de estos polímeros varían entre las especies de plantas, la edad y la etapa de crecimiento [4]. El término “recalcitrante” se aplica a aquellos compuestos cuya persistencia en el medio ambiente es grande debido a su difícil biodegradación. Dicha persistencia se debe a causas químicas, físicas y biológicas. La pared celular de las plantas define la naturaleza recalcitrante de la biomasa; y aun cuando la celulosa está disponible, su

misma estructura cristalina dificulta la penetración de microorganismos y enzimas para su consumo [5]. El material lignocelulósico es atractivo por su bajo costo y alta disponibilidad en diversos climas y localidades, sin embargo, el principal impedimento para su utilización es la falta de una tecnología de bajo costo para degradar la fracción recalcitrante de la biomasa.

Por otro lado, la digestión anaerobia, por medio de una serie de reacciones bioquímicas, genera biogás, constituido fundamentalmente por metano y dióxido de carbono. Este biogás puede ser almacenado y ser utilizado como combustible y para generar electricidad. En la digestión anaerobia, los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en biogás, por medio de un consorcio bacteriano anaerobio. En estos procesos más del 90 % de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiendo sólo un 10 % de la energía en crecimiento bacteriano. El biogás producido por medio de digestión anaerobia está constituido principalmente por metano y CO₂, pero también puede contener algunas impurezas por el tipo de material digerido y las condiciones del proceso. Para ser inflamable, el biogás debe tener un contenido de metano superior al 45% [6].

En la actualidad, no se cuenta aún con uniformidad y difusión de un protocolo único para la medición de la producción de metano de un sustrato [7]. La dificultad de estandarizar la metodología recae en diversos factores como la composición y naturaleza del sustrato, origen y homogeneidad del inóculo, relación alimento/microorganismos, temperatura, tiempo de retención hidráulica (TRH) y otros. De ahí la importancia de la calidad del análisis de los datos experimentales para reportar los resultados del estudio, por ejemplo mediante la actividad metanogénica específica y el potencial biometanogénico (BPM) [8]. En cuanto a las características del bioabono resultante, este depende en gran medida del material digerido. Pero debido a que el sustrato es convertido en su mayoría en metano, resulta un bajo contenido en materia orgánica y normalmente presenta un alto contenido de nitrógeno amoniacal.

El objetivo de esta investigación fue estimar el potencial biometanogénico de los residuos de poda generados en la UAM-Azcapotzalco, por medio de su caracterización fisicoquímica y la cuantificación del biogás producido durante un proceso de digestión anaerobia. Para finalmente determinar la RSI óptima que permita maximizar la generación de biogás con la mayor concentración de metano, para ser aprovechado para la generación de energía y el autoconsumo dentro de la Unidad.

2. Metodología

2.1 Obtención de muestras

Para obtener una muestra representativa de los residuos generados en la UAM Azcapotzalco durante las actividades de poda y jardinería, se realizó un doble cuarteo como se especifica en la NMX-AA-015-1985, separando aproximadamente 20 kg de residuos. Con la muestra una vez homogeneizada, a través de un nuevo doble cuarteo se obtuvo una muestra de aproximadamente 1 kg, misma que fue molida con un molino de café para reducir el tamaño de partícula y se almacenó en refrigeración a 4 °C.

El inóculo utilizado durante el proceso de digestión anaerobia se obtuvo del laboratorio del Área de Tecnologías Sustentables de la UAM-A, el cual está formado por tres partes iguales de composta madura, lodos de una planta de tratamiento anaerobio de aguas residuales y excretas de vaca. Éste se mantuvo en condiciones anaerobias y se alimentó cada 3 días con una mezcla de residuos orgánicos y papel durante 25 días antes de iniciar el proceso de digestión anaerobia.

2.2 Caracterización por medio de análisis fisicoquímicos

Para conocer el potencial biometanogénico se determinaron las características y componentes tanto del sustrato como del inóculo. Al finalizar el proceso de biodigestión también se caracterizó el digestato

resultante mediante los mismos parámetros. Los parámetros que se determinaron fueron: porcentaje de humedad (% H) y sólidos volátiles (SV), éste último considerado el más importante ya que representa la materia orgánica contenida en el sustrato y por medio de este dato se calcula la relación sustrato-inóculo (RSI) que se usó en el montaje de los viales o biorreactores; se determinó además el pH, la demanda química de oxígeno (DQO), el potencial de óxido-reducción (ORP), el nitrógeno total y la relación carbono-nitrógeno (C/N). Los parámetros fueron evaluados en base a las normas que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros a determinar para caracterización

Parámetro	Referencia
pH	NMX-AA-25-1984 [9]
DQO	Raposo et al., 2008 [10]
% Humedad	NMX-AA-16-1984 [11]
Sólidos volátiles	NMX-AA-034-SCFI-2001 [12]
Nitrógeno total	NMX-AA-24-1984 [13]
Relación C/N	NMX-AA-67-1984 [14]
Potencial de óxido-reducción (ORP)	Lectura directa (manual del fabricante)

2.3 Preparación de los biorreactores

Se realizó la experimentación a escala laboratorio en biorreactores de vidrio ambar de 125 ml de capacidad, sellados con un séptum de goma y un anillo de aluminio, con un volumen total de trabajo de aproximadamente 65 ml de la solución del sustrato e inóculo.

Una vez obtenidos los datos de SV del inóculo y del sustrato, se determinaron las cantidades necesarias para montar tres RSI por triplicado con un sustrato de composición conocida y además, se preparó un blanco positivo con una solución del inóculo con celulosa de papel y un blanco negativo alimentado con una solución del inóculo sin sustrato, a fin de descartar el biogás producido por la materia orgánica residual contenida en el inóculo. Se tuvo un total de 11 biorreactores, como se muestra en la tabla 2. Los biorreactores se purgaron con N₂ para obtener condiciones anaerobias y con agitación manual diaria durante 1 min para homogeneizar la mezcla. Se mantuvieron a temperatura ambiente.

Tabla 2. Contenido y número de viales

Contenido	No. de viales
Blanco +	1
Blanco -	1
RSI 0.5 / 1	3
RSI 1 / 1	3
RSI 1.5 / 1	3
Total de viales	11

2.4 Medición del biogás

Para determinar la composición del biogás producido, se utilizó la cromatografía de gases, en donde se inyectó una muestra a una columna cromatográfica y se produjo la separación de componentes por el flujo de un gas inerte, que transportó los analitos a través de la columna con una fase estacionaria; en donde ocurrió la separación y se obtuvieron los componentes de una muestra volátil. Para ello se tomaron muestras de 10 ml de gas de cada uno de los viales los días 7, 14 y 21 a partir del montaje de los biorreactores para realizar el análisis cromatográfico, y se obtuvo la composición del gas generado, por medio de un cromatógrafo marca Agilent Technologies modelo 7890B, equipado con 5 columnas capilares (Molsieve

13X, Molsieve 5^a, Hayasep Q (2), Hayasep T) y 2 detectores TCD a 180 °C y un flujo de 20 ml/min. Se utilizó argón como gas de arrastre, con el horno a 50 °C. Los datos fueron obtenidos por medio del programa OpenLab CDS.

Para reducir la presión dentro de los viales, se liberó el gas por medio de la técnica de desplazamiento de agua (Figura 1), con lo que se obtuvo adicionalmente el volumen del gas producido durante los 22 días en que se mantuvo la biodigestión.



Figura 1. Medición del gas generado mediante desplazamiento de agua

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización fisicoquímica

Los 7 parámetros mencionados se evaluaron para caracterizar el inóculo, el sustrato, así como el digestato resultante al finalizar el proceso de biodigestión. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de caracterización

Parámetro	pH	ORP (μV)	DQO (mg/L)	% Humedad	C/N	Sólidos volátiles (g/kg)	Nitrógeno total (%)
Sustrato	6.60	7	5802.02	9.22	45.22	778.45	1.10
Inóculo	8.16	-88	21157.96	56.48	7.06	281.76	5.32
Digestato	6.32	25	82507.95	82.22	27.05	139.78	1.68

El resultado de la DQO del sustrato muestra que tiene una cantidad alta de materia orgánica susceptible para degradarse por medio de la digestión anaerobia, sin embargo, debido a su naturaleza y su alto contenido de compuestos lignocelulósicos una gran parte de ésta se considera recalcitrante por lo que no será degradada como se espera teóricamente.

En cuanto al digestato, se puede observar que hubo un gran desarrollo de materia orgánica, mayormente microorganismos ya que se tiene un aumento considerable en el valor de la DQO, integrando la DQO tanto del sustrato como del inóculo.

Con respecto al contenido de SV se observa una disminución considerable, que se puede deber al agua agregada ya que el sustrato al ser analizado se encontraba seco. Lo anterior, es congruente al observar el contenido de humedad presente en cada muestra.

3.2. Composición del gas generado

Durante el proceso de digestión anaerobia de 22 días, se realizaron 3 muestreos para las pruebas de cromatografía, para cada uno de los 11 ensayos realizados en total. El cromatógrafo utilizado tiene la

capacidad de detectar metano, dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno, aunque sólo se tomaron en cuenta los primeros tres gases. Se realizaron curvas de calibración de cada uno de éstos para poder determinar la concentración en el biogás que se obtuvo.

Los resultados de la composición del biogás se obtuvieron por medio del software OpenLab CDS el cual muestra los resultados obtenidos de la experimentación por triplicado por medio de áreas bajo la curva a 25 $\mu\text{V}\cdot\text{s}$, con medias aritméticas como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Área bajo la curva por cromatografía de gases para metano y dióxido de carbono para cada ensayo

Relación S/I	Muestreo 1 (8 días)			Muestreo 2 (15 días)			Muestreo 3 (22 días)		
	CH ₄	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂
0.5/1	4549.2	1710.7	3169.0	3546.4	1507.1	4455.1	5849.9	2542.0	1859.5
1/1	4613.4	2004.3	2652.7	2564.9	1229.1	3596.2	5250.5	2977.1	1538.7
1.5/1	5041.2	2238.0	2430.8	3622.3	1763.1	2917.5	5257.6	3229.4	1267.3

Además de los nueve ensayos de cada RSI por triplicado, también se realizó un blanco positivo, conteniendo inóculo con una proporción de celulosa en forma de papel; y un blanco negativo conteniendo únicamente una solución de inóculo, los resultados del análisis cromatográfico se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Área bajo la curva por cromatografía de gases para metano y dióxido de carbono en los blancos positivo y negativo

	Muestreo 1 (8 días)			Muestreo 2 (15 días)			Muestreo 3 (22 días)		
	CH ₄	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂
B +	6157.5	2474.1	1878.9	6549.6	2770.6	1692.2	5909.7	3366.1	1043.3
B -	4030.8	1193.4	3827.9	434.3	154.8	4921.6	7336.5	2113	1914.5

Se obtuvieron los promedios aritméticos de los resultados del análisis cuantitativo de la concentración de metano, dióxido de carbono y nitrógeno contenido en el biogás; estos valores se muestran en las tablas 6, 7 y 8, una por cada muestreo.

Tabla 6. mmol obtenidos de cada gas en el muestreo a 8 días de incubación para cada RSI

Muestreo 1 (8 días)	mmol de metano	mmol de CO ₂	mmol de N ₂
B +	0.18	0.07	0.06
B -	0.11	0.03	0.10
0.5/1	0.13	0.04	0.09
1/1	0.13	0.05	0.08
1.5/1	0.15	0.06	0.07

Tabla 7. mmol obtenidos de cada gas a los 15 días de incubación para cada RSI

Muestreo 2 (15 días)	mmol de Metano	mmol de CO ₂	mmol de N ₂
B +	0.19	0.08	0.06
B -	0.01	0.00	0.12
0.5/1	0.10	0.04	0.09
1/1	0.06	0.03	0.10
1.5/1	0.10	0.05	0.08

Tabla 8. mmol obtenidos de cada gas a los 22 días de incubación para cada RSI

Muestreo 3 (22 días)	mmol de Metano	mmol de CO ₂	mmol de N ₂
B +	0.17	0.09	0.05
B -	0.21	0.06	0.06
0.5/1	0.17	0.07	0.06
1/1	0.15	0.08	0.05
1.5/1	0.15	0.09	0.05

Con los datos obtenidos se elaboraron las gráficas mostradas en las figuras 2, 3 y 4, en donde se puede observar una tendencia que permite observar en cuál de los ensayos se obtuvo una mayor producción de biogás.

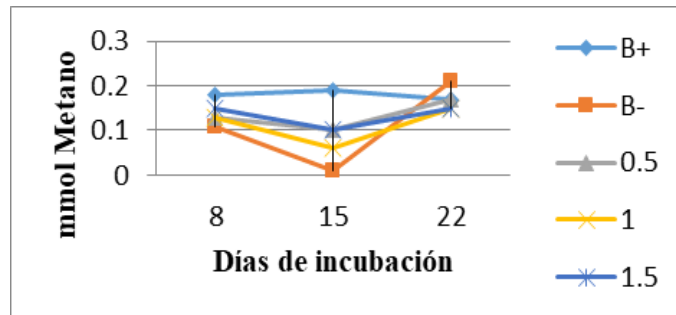


Figura 2. Producción de metano en mmol para cada RSI durante los días de incubación

En la Figura 2, se observó que la mayor producción de metano se obtuvo al final del proceso para cada RSI, así como para el blanco negativo, en el cual además se obtuvo una mayor producción de metano, por lo que se puede suponer que el sustrato, inhibe la producción de biogás, debido a la compleja estructura del sustrato, ya que se trata de un residuo con gran contenido de componentes lignocelulósicos [5].

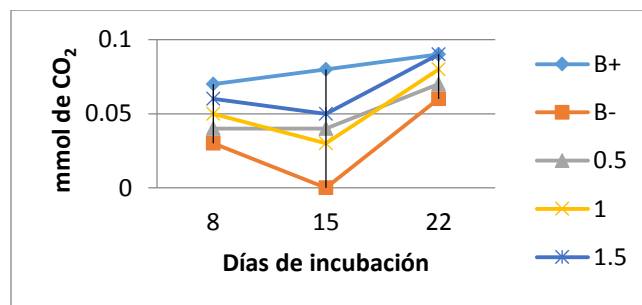


Figura 3. Producción de dióxido de carbono en mmol en cada RSI durante los días de incubación

En la Figura 3, al igual que en el caso del metano, se puede observar un aumento en la producción de dióxido de carbono en el último muestreo, debido a la complejidad de la estructura del sustrato lo cual retarda la hidrólisis, primera etapa de la digestión anaerobia.

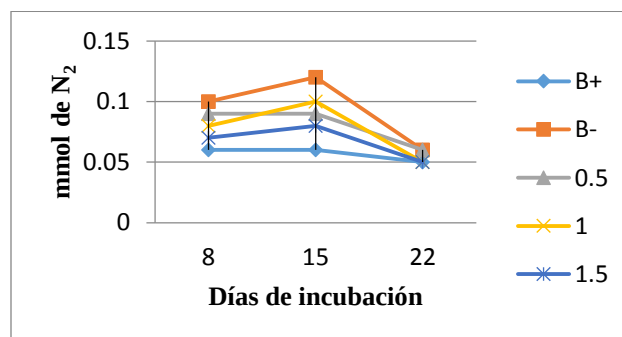


Figura 4. Producción de Nitrógeno en mmol para cada RSI durante los días de incubación

En la Figura 4, se observó que disminuye el contenido de Nitrógeno, lo cual se esperaría ya que en procesos anaerobios no hay producción de nitrógeno y el contenido inicial puede deberse a la purga para obtener condiciones anaerobias.

Una vez que se obtuvieron los mmol de cada gas, fue posible obtener la fracción molar de éstos en cada muestreo; este dato además del volumen de gas generado se obtuvo por medio de desplazamiento de agua, corregido a condiciones estándar (25 °C y 1 atm), como se muestra en la tabla 9. Se puede observar que se obtuvo una mayor generación en volumen de metano en el blanco negativo en comparación de las RSI.

Tabla 9. Fracción mol de cada gas y volumen producido de metano a condiciones estándar

	mmoles totales	Fracción mol CH ₄	Fracción mol CO ₂	Fracción mol N ₂	Volumen de biogás (ml)	Volumen de CH ₄ (ml)
Muestreo 1 (8 días de incubación)						
B+	0.31	0.58	0.23	0.19	7.7	4.47
B-	0.24	0.46	0.13	0.42	7.7	3.53
RSI 0.5	0.26	0.50	0.15	0.35	7.7	3.85
RSI 1	0.26	0.50	0.19	0.31	7.7	3.85
RSI 1.5	0.28	0.54	0.21	0.25	7.7	4.13
Muestreo 2 (15 días de incubación)						
B+	0.33	0.58	0.24	0.18	57.75	33.25
B-	0.13	0.08	0.00	0.92	28.49	2.19
RSI 0.5	0.23	0.43	0.17	0.39	31.57	13.73
RSI 1	0.19	0.32	0.16	0.53	45.68	14.43
RSI 1.5	0.23	0.43	0.22	0.35	46.45	20.20
Muestreo 3 (22 días de incubación)						
B+	0.31	0.55	0.29	0.16	85.47	46.87
B-	0.33	0.64	0.18	0.18	48.51	30.87
RSI 0.5	0.3	0.57	0.23	0.20	46.71	26.47
RSI 1	0.28	0.54	0.29	0.18	63.14	33.83
RSI 1.5	0.29	0.52	0.31	0.17	64.68	33.46

Con esta información se realizó una comparación entre las RSI's, la cual se muestra en la Figura 5.

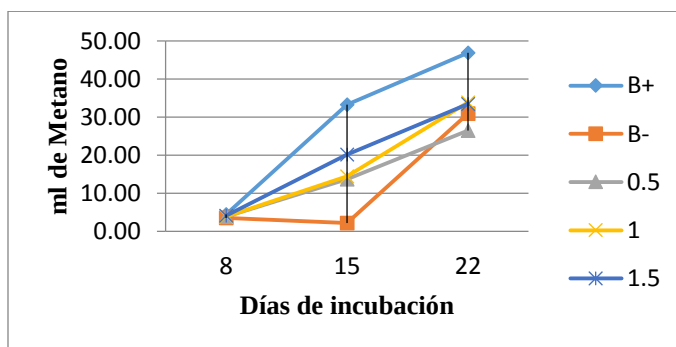


Figura 5. Volumen de Metano generado durante el proceso de biodigestión

De la figura 5, se puede observar que la mayor generación de metano se presentó en las RSI 1:1 y 1.5:1, lo que demuestra que, al aumentar la cantidad de sustrato con respecto al inóculo, también aumenta la producción de metano. También se observa que el blanco negativo conteniendo únicamente inóculo fue en el que se produjo un mayor volumen de metano, como se esperaba.

3.3. Volumen de gas generado

El volumen de biogás producido durante el proceso de DA se estimó por medio de la técnica de desplazamiento de agua, como se muestra en la tabla 10, a condiciones estándar (25° C y 1 atm).

Tabla 10. Generación acumulada de biogás en ml a condiciones estándar

	8 días	15 días	22 días
B+	7.7	57.75	85.47
B-	7.7	28.49	48.51
0.5	7.7	31.57	46.71
1	7.7	45.68	63.14
1.5	7.7	46.45	64.68

En la Figura 6, se observa que la producción de biogás en general para todas las relaciones S/I tienen valores similares, a diferencia de los blancos tanto positivo y negativo, los cuales muestran una mayor generación, particularmente el blanco negativo, el cual solo contiene una solución del inóculo.

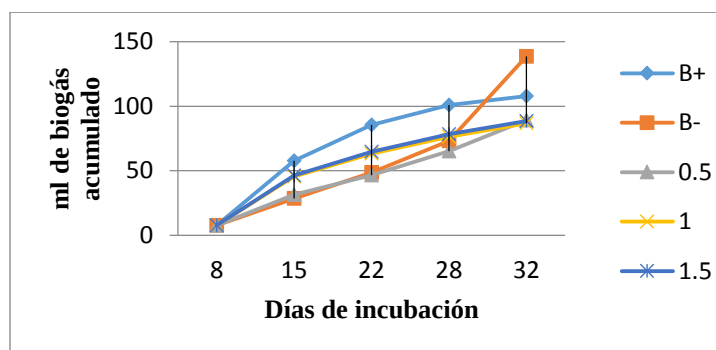


Figura 6. Generación de gas acumulado a condiciones estándar

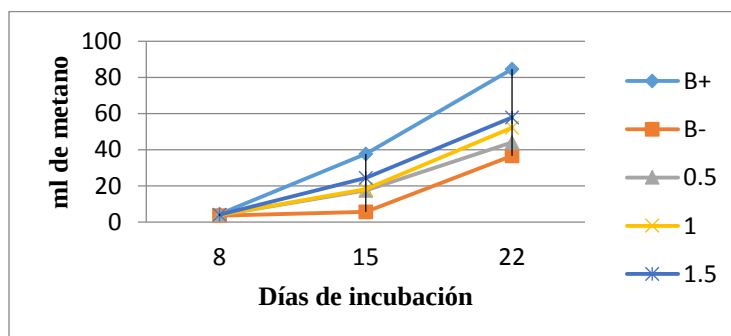


Figura 7. Generación de metano acumulado a condiciones estándar

En la Figura 7, se puede observar que en el reactor donde hubo una mayor generación de metano fue en el blanco positivo, el cual contiene una solución de inóculo con celulosa en forma de papel, por lo que se puede suponer que el sustrato agregado en cada RSI hasta cierto punto inhibe la producción de biogás, aunque no por completo ya que si se generó metano; pero en cuanto a las RSI, se tuvo una mayor producción en la RSI de 1.5/1.

En la Figura 8, se muestra el volumen acumulado de dióxido de carbono producido durante el proceso de digestión anaerobia.

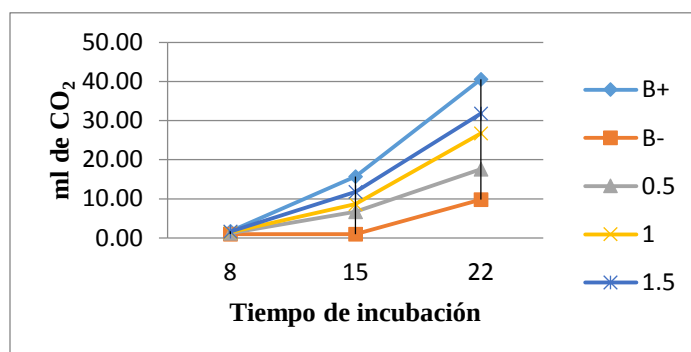


Figura 8. Volumen acumulado de CO₂ a condiciones estándar

3.4. Determinación del potencial biometanogenico, PBM

La determinación del PBM, se realizó a partir del volumen acumulado de metano obtenido en la Figura 15, dividiéndolo entre la masa de sólidos volátiles (gSV) contenidos en el sustrato. Estos resultados se muestran en la Tabla 11 y Figura 9.

Tabla 11. PBM acumulado en ml de CH₄/gSVsustrato durante el proceso de biodigestión

Días de incubación		8	15	22
	gSV sustrato	PBM acumulado (ml CH ₄ /g SV sustrato)		
RSI 0.5	0.352	10.94	49.94	125.14
RSI 1	0.704	5.47	25.97	74.02
RSI 1.5	0.822	5.02	29.60	70.30

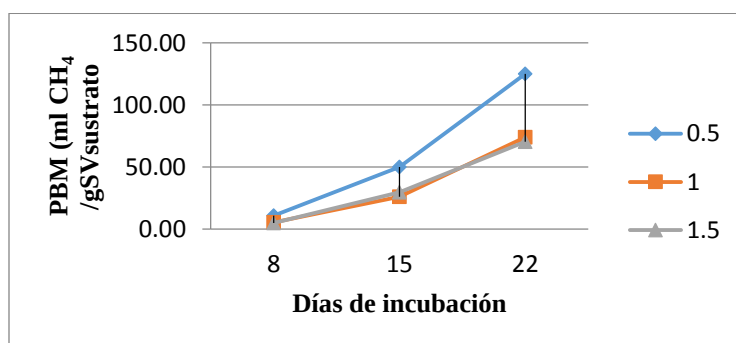


Figura 9. PBM acumulado en ml CH₄/gSV sustrato

En la figura 9, se observa el comportamiento del PBM acumulado para cada RSI durante el periodo de incubación, en donde la RSI que tuvo mejores resultados es la que contenía menor cantidad de sustrato, siendo 125.14 ml CH₄/g SV sustrato para la RSI de 0.5/1. Se observó que la relación del PBM es inversamente proporcional al contenido de g SV de sustrato.

También se estimó el volumen de biogás producido en m³/ton sustrato, para observar la relación supuesta anteriormente entre el PBM y las RSI, mostrado en la Tabla 12.

Tabla 12. Volumen de metano producido en m³CH₄/ton sustrato

RSI	m ³ CH ₄ /ton sustrato

0.5	276.86
1	81.79
1.5	66.58

4. Conclusiones

Se obtuvo un mejor rendimiento del PBM acumulado en los ensayos con la RSI de 0.5/1, con un valor de 125.14 ml CH₄/g SVsustrato, lo cual muestra una relación inversamente proporcional entre la producción de metano y la concentración de sustrato contenida en los reactores; es decir, que a menor concentración de sustrato, se presentó mayor producción de biogás.

Por medio de Cromatografía de gases se obtuvo un análisis cualitativo del biogás generado durante el proceso de DA, con el que se obtuvo la composición del biogás, resultando una composición aproximada del 50% de metano para las tres RSI, aunque la RSI de 0.5 tuvo un mejor resultado con 50.63% aunque no es la RSI con mayor generación de biogás acumulado, ya que la RSI de 1.5 resultó mejor.

Con respecto a la generación acumulada de los gases se obtuvieron resultados contrastantes, ya que en el caso del metano se obtuvo un valor más alto en la RSI de 1.5 con un volumen aproximado de 60 ml de CH₄ durante los 22 días que se mantuvo la DA; con relación al CO₂, la RSI de 1 fue la que obtuvo mayor generación con un poco más de 30 ml y en cuanto al N₂ la RSI de 1 también tuvo mayor generación con aproximadamente 38 ml, sin embargo, cabe mencionar que en el segundo muestreo se obtuvieron datos que sugieren un error de muestreo y por consecuencia fuga y pérdida de la muestra, lo cual resultaría en valores erróneos.

Con los datos anteriores se puede concluir que la RSI de 1.5 produjo un mayor volumen de metano acumulado, aunque no es el que resultó con mejor calidad.

Debido a la compleja estructura de los materiales lignocelulosicos, se recomienda utilizar este sustrato en mezclas con otros de composición menos compleja y en el caso de la UAM-Azc con los residuos orgánicos provenientes de la cafetería.

Referencias bibliográficas

- [1] Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994), “*Gestión Integral de Residuos Sólidos*”, Mc Graw Hill
- [2] Colomer, F. y Gallardo, A. (2007). “*Tratamiento y gestión de residuos sólidos*”, Limusa, Universidad Politécnica de Valencia
- [3] Ragauskas A, Williams C, Davison B, Britovsek G, Cairney J, Eckert C, Frederick W, Hallett J, Leak D, Liotta C, Mielenz J, Murphy R, Templer R & Tschaplinski T. (2006) “*The path forward for biofuels and biomaterials*”. Science. 311: 484-489.
- [4] Jeffries T. (1994). “*Biodegradation of lignin and hemicelluloses. In: Biochemistry of microbial degradation*” Ratledge C (ed.) Kluwer, Dordrecht, 233-277
- [5] Zhao, X., Zhang, L., & Liu, D. (2012). “*Biomass recalcitrance. Part I: the chemical compositions and physical structures affecting the enzymatic hydrolysis of lignocelluloses*”. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 6(4), 465–482.
- [6] Vamero M.M.T. (2011) “*Manual de biogás*”. Ministerio de Energía del Gobierno de Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO.

- [7] Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J. L., Guwy, a J., ... van Lier, J. B. (2009). “*Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays*”. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 59(5), 927–34.
- [8] Aquino, S. F., Chernicharo, C. A., Foresti, E., Florencio Dos Santos, M. de L., & Monteggia, L. O. (2007). “*Methodologies for determining the Specific Methanogenic Activity (SMA) in Anaerobic Sludges*”. *Eng.Sanit. Ambient*, 12(2), 192–201.
- [9] NORMA MEXICANA NMX-AA-25-1984, Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos Sólidos-Determinación del ph- Método potenciométrico
- [10] Raposo F., De la Rubia M.A., Borja R., Alaiz M. (2008), “*Assessment of a modified and optimised method for determining chemical oxygen demand of solid substrates and solutions with high suspended solid content*” [version electronica] *Talanta* 76 (5), 448,453
- [11] NORMA MEXICANA NMX-AA-16-1984, Protección al ambiente -Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales - Determinación de humedad
- [12] NORMA MEXICANA NMX-AA-034-SCFI-2001, Análisis de agua- Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas
- [13] NORMA MEXICANA NMX-AA-24-1984, Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos Sólidos Municipales - Determinación de nitrógeno total
- [14] NORMA MEXICANA NMX-AA-67-1985, Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de la relación carbono/nitrógeno
- [15] Prochnow A., Heiermann M., Plöchl M., Linke B., Idler C., Amon T., Hobbs P.J. (2009), “*Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas*”. [version electronica] *Bioresource Technology*, 100(21), 4931–4944

Caracterización microbiológica del lixiviado producido por la Planta de Composta de Bordo Poniente

¹Aixa Kari Gállego Bravo, ²Daniel Alejandro Salcedo Serrano, ³Jaime García Mena, ⁴Gloria López Jiménez, ²María Eugenia Gutiérrez Castillo, ²Luis Raúl Tovar Gálvez

¹Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto S/N, La Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07340, 5537191741, agallegob1500@alumno.ipn.mx.

²Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, Calle 30 de Junio de 1520 s/n, La Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07340.

³Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07360.

⁴Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto 550, la Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CDMX, 07340.

Resumen

El lixiviado que proviene de las pilas maduras de composta de la Planta de Composta de Bordo Poniente ha sido probado, en trabajos previos, como inóculo para iniciar el proceso de digestión anaerobia termófila que trate una muestra de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos que se generan en la Ciudad de México. Al realizar las evaluaciones fisicoquímicas se encontró que este lixiviado presenta características favorables que podrían facilitar el arranque de un digestor anaerobio. Sin embargo, al desconocer las comunidades microbianas de éste, no se podría asegurar su utilidad. En consecuencia, el propósito del presente trabajo fue caracterizar las comunidades microbianas que tiene este lixiviado y compararlo con un inóculo de excreta de bovino. En el Dominio Bacteria se encontró que en ambos inóculos, los *fila* más predominantes correspondieron a *Firmicutes*, *Bacteroidetes* y *Proteobacteria*, quienes poseen la capacidad de degradar compuestos orgánicos complejos. En el dominio de Arquea, el género más abundante encontrado en el inóculo del lixiviado perteneció a *Methanoculleus*, el cual ha sido descrito como un metanógeno hidrogenotrófico, es decir, la producción de metano en este estudio fue mediante H_2 y CO_2 .

Palabras Clave: Comunidades microbianas, digestión anaerobia, fracción orgánica, inóculo.

1. Introducción

La Ciudad de México (CDMX) cuenta con el Programa de Gestión Integral de Manejo de Residuos Sólidos 2016-2020 en el cual se ha incorporado, de manera más ambiciosa, el concepto de “Basura Cero” que establece reducir la generación de residuos así como incorporar tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de éstos a fin de evitar la disposición final. Una de las metas que se ha propuesto el programa en cuanto al tratamiento de la fracción orgánica, es la implementación de la tecnología de digestión anaerobia (DA) que trate alrededor de 2,500 t/día [1].

La DA es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales, vegetales, etc.) son convertidos en biogás por un consorcio de microorganismos que son sensibles o completamente inhibidos por el oxígeno [2]. El biogás es una mezcla de metano (CH_4 , 50 – 70%), dióxido de carbono (CO_2 , 30 – 50%) y elementos traza como amoníaco (NH_3), sulfuro de hidrógeno (H_2S) e hidrógeno (H_2) [3], el cual posteriormente puede ser transformado en energía eléctrica o como fuente de calor [4]. Entre las ventajas ambientales de la DA se encuentran: la disminución de residuos y gases de efecto invernadero, la recuperación de nutrientes y el enriquecimiento de suelos [5].

No obstante, la digestión anaerobia es un proceso muy complicado tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas, pues muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea [2]. En el proceso se pueden identificar 4 etapas principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, cada una de ellas llevada a cabo por un grupo funcional único de microorganismos [6].

Uno de los factores que hay que tomar en cuenta para la DA y que resulta crucial, es la selección del inóculo pues determina el inicio de la operación del digestor anaerobio [7], además de desempeñar un papel vital por la forma en que degrada la materia orgánica y produce biogás, en algunos casos también impactará en la cantidad del mismo [4].

En el presente trabajo se utilizaron el lixiviado que proviene de las pilas maduras de la Planta de Composta de Bordo Poniente (PCBP) y excretas de bovino como inóculos para iniciar el proceso de digestión anaerobia termófila, empleando como sustrato la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), estudiando tanto las propiedades fisicoquímicas, el desempeño de los reactores así como las comunidades microbianas involucradas en el proceso.

2. Metodología

2.1 Sustrato e inóculo

Sustrato: La fracción orgánica fresca fue recolectada en la Planta de Composta de Bordo Poniente, tomando de tres pilas diferentes, y de cada pila en nueve puntos diferentes.

Inóculos: Las muestras del lixiviado maduro de la PCBP se recolectaron formando una muestra compuesta a partir de la toma de tres muestras simples. Una porción de esta muestra fue refrigerada inmediatamente para los análisis de microbiota inicial.

Las muestras de excretas de bovino fueron colectadas en la granja orgánica de Melchor Ocampo, ubicada en la colonia Álamos, sobre la calle Dolores y avenida de los Cerezos, Tlalnepantla Estado de México.

2.2 Potencial bioquímico de metanización

Este ensayo fue empleado para evaluar la producción de metano y la biodegradabilidad de la FORSU con los inóculos.

Se utilizaron viales de 125 mL y de acuerdo con los resultados obtenidos de sólidos volátiles de los inóculos y FORSU, los reactores fueron operados con una relación 1:1 sustrato/inóculo en 60 ml; el volumen restante se destinó para la acumulación del biogás. Los viales se sellaron con septas y un anillo de aluminio. Posteriormente se purgaron con helio ultra puro por 20 segundos a 20 psi para obtener condiciones anóxicas. Los reactores fueron incubados a 55°C con agitación constante (60 rpm) por 30 días. Previo a la preparación de los viales, los inóculos fueron preincubados a 55°C por dos semanas. Se realizaron tres réplicas por cada muestra.

Se trabajaron cuatro tipos de tratamiento: CN: control negativo (inóculo PCBP solo), CP: control positivo (inóculo PCBP con papel filtro, 97% celulosa), SUST: sustrato (inóculo PCBP con FORSU), EXC: excreta (inóculo de bovino con FORSU) y la muestra inicial traída de sitio (IN).

Para los análisis fisicoquímicos, las muestras fueron tomadas al inicio y al final del ensayo, mientras que para los análisis microbiológicos, se tomaron muestras a los días 1, 17 y 30.

2.3 Análisis fisicoquímicos

Los parámetros analizados a las muestra de los reactores (FORSU, inóculos y digestato) fueron: pH, conductividad eléctrica (CE), potencial óxido-reducción (ORP), sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV). El pH y la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) fueron determinados usando un electrodo de pH Hanna Instruments HI99300. El ORP (mV) se midió usando el electrodo Hanna Instruments H1003. ST y SV fueron calculados empleando el método gravimétrico, para ST las muestras estuvieron a 70°C por 48 horas mientras que para los SV las muestras estuvieron a 550°C por dos horas.

2.4 Generación y composición de biogás

La composición del biogás (CO_2 , CH_4 y N_2) fue medida mediante cromatografía de gases (Perkin Elmer Autosystem) equipado con un detector de conductividad térmica (TCD), se utilizó helio como gas de arrastre a una tasa de arrastre de 35ml/min. La producción fue determinada mediante el método de desplazamiento de jeringa. Las mediciones se realizaron cada dos días.

2.5 Análisis microbiológicos

2.5.1 Cuento de microorganismos mesófilos y termófilos

La técnica de conteo en placa fue usada para los grupos mesófilos: bacterias totales (BT) y bacterias celulolíticas (BC). Estos grupos fueron incubados a 35°C. BT fueron incubadas por 48 horas, mientras que BC por 5 días. Agar nutritivo fue usado para el cultivo de BT y agar base mineral con papel celulosa para BC. Cada muestra fue inoculada por duplicado usando 3 diluciones seriadas. Los resultados fueron reportados en unidades formadores de colonias (UFC) mL^{-1} .

Los microorganismos termófilos (los mismos grupos anteriormente mencionados) fueron determinados usando la técnica de número más probable (3 tubos). Sin embargo, estos grupos se incubaron a 55°C por 5 días. El medio de cultivo empleado fue el detallado anteriormente pero usando caldo en lugar de medio sólido. Se utilizaron tres diluciones seriadas seguidas y los resultados se expresaron en NMP mL^{-1} .

2.5.2 Identificación de microorganismos

2.5.2.1 Bacterias mesófilas y termófilas

A partir de las colonias que fueron contadas, se aislaron aquellas que presentaran morfología colonial diferente. Se determinaron características de color, tamaño, bordes, forma, elevación, luz transmitida y luz reflejada. Posteriormente se realizó morfología microscópica mediante tinción de Gram.

Conociendo la morfología microscópica de cada colonia, se procedió a realizar pruebas bioquímicas. Para las cepas con morfología de bacilos Gram positivas (G+) se hicieron los siguientes ensayos: catalasa, citrato, crecimiento en caldo hipersalino, Voges Proskauer (VP), rojo de metilo, reducción de nitratos e hidrólisis de almidón. Para las cepas Gram negativas (G-) se hicieron: citrato, rojo de metilo, VP, agar triple hierro azúcar y sulfuro-indol-movilidad (SIM).

Para las cepas con morfología de cocos Gram positivas y negativas se utilizó el sistema comercial API, aplicando el kit API20 Strep.

2.5.2.2 Bacterias totales y arqueas metanógenas por secuenciación por semiconducción del gen 16S rADN

Se realizó la extracción de ADN total de las muestras utilizando el kit MoBio PowerSoil de acuerdo con las

instrucciones del fabricante. Posteriormente se cuantificaron las concentraciones de ADN total y se determinó su integridad por cuantificación de su coeficiente A260/280 usando el espectofotómetro NanoDrop Lite (Thermo Scientific, USA) así como su calidad por fraccionamiento electroforético en geles de agarosa al 0.5%.

Para la construcción de la genoteca del gen 16S rADN se utilizaron los siguientes conjuntos de cebadores para la amplificación por PCR de los siguientes dominios: para bacterias, la región hipervariable V3, V3-341F y V3-518R, y para arqueas Arc787F y Arc1059R amplificando las regiones hipervariables V5 y V6, dichos cebadores contienen una región específica que identifica las muestras durante el proceso de secuenciación masiva (Barcode).

La PCR se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones: para bacteria la desnaturalización empezó a 95°C por 5 minutos, seguido de 25 ciclos de desnaturalización a 94°C por 15 seg, alineamiento a 62°C por 15 seg y extensión a 72°C por 15 seg, con una extensión final a 72°C por 7 minutos. Para arquea las condiciones fueron las mismas, excepto que la temperatura de alineamiento fue a 56°C.

2.5.2.3 Secuenciación de las genotecas

Se hizo el análisis y acondicionamiento de cada genoteca de las muestras para su secuenciamiento en el equipo Ion Torrent [9] utilizando el Chip 318. El archivo de secuencias fue analizado utilizando Qiime pipeline versión 1.9.0 y comparado con base de datos 16S ARNr GreenGenes [10].

Los resultados que arroja esta técnica corresponden cinco 5 niveles taxonómicos (Filum, Clase, Orden, Familia y Género).

2.6 Análisis estadísticos

A los resultados de los parámetros fisicoquímicos se les aplicó la prueba de “t pareada” pues son datos dependientes que reflejan un antes y después del proceso. Para la generación de biogás se realizó ANOVA unifactorial. Las diferencias significativas se consideraron cuando $p < 0.05$.

La diversidad microbiana fue evaluada mediante beta diversidad. La beta diversidad, se utiliza para conocer la diferencia en composición entre comunidades, y fue calculada usando el análisis UniFrac. La abundancia de los diferentes grupos microbianos de los diferentes niveles taxonómicos (fila y género) fueron separadamente explorados usando el análisis de coordenadas principales (PCoA) [11]. De igual forma se realizó la prueba ANOSIM, el cual es un método que prueba si dos o más grupos de muestras son significativamente diferentes.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización fisicoquímica y desempeño de los reactores

La tabla 1 muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos de todos los tratamientos. El pH final se mantuvo con valores ligeramente alcalinos en aquellos reactores donde se usó el inóculo PCBP, mientras que el tratamiento con inóculo de excreta presentó un pH ácido, lo cual repercute directamente en la generación de biogás. El ORP en todos los casos tuvo valores negativos, excepto en aquél con excreta el cual fue positivo, indicando un ambiente aerobio. Los sólidos volátiles bajaron de manera significativa en el control positivo, esto puede explicarse debido al uso de celulosa, considerado de fácil degradación.

Tabla 15. Características fisicoquímicas de los tratamientos al inicio y al final de la DA termófila

IN	CN1	CN30	CP30	SUST30	EXC30

pH	6.89±0.03*	8.33±0.01	8.51±0.12	7.98±0.14*	7.75±0.16*	5.09±0.7*
ORP (mV)	-284±3.6*	-335.67±3.78	-366±11.53	-379±9*	-378.6±3.06*	138±29*
EC (µS/cm)	33k±0.05k*	34k±0.2k	32k±4k	34k±3.8k	40k±1.3k*	8.8k±0.2k*
ST (%)	5.64±0.26	4.77±0.62	4.57±0.076	3.96±0.075	4.56±1.03	19.09±0.003*
SV (%)	53.1±0.45*	49.29±1.26	37.55±0.13	20.78±0.01*	46.01±0.02	77.47±0.94

IN: Inicial, CN1: Control negativo día 1, CN30: Control negativo día 30, CP30: Control positivo día 30, SUST30: Sustrato día 30, EXC: Excreta día 30

*Presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

-Los valores de EXC30 fueron comparados con su respectivo EXC1.

La figura 1 muestra el rendimiento acumulativo del biogás de todos los tratamientos, excepto del CN, ya que la producción de biogás de éste se restó para conocer la generación de los sustratos y no del inóculo. El CP generó 262.55 ml/g SV, mientras que el SUST y EXC generaron 219.14 ml/g SV y 31.11 ml/g SV respectivamente, durante los 30 días de incubación. El CP como era esperado presentó un mayor valor de generación de biogás debido a la alta degradabilidad de la celulosa, sin embargo al compararlo con la generación del SUST no hubo diferencia significativa ($p > 0.05$).

El tratamiento con excreta presentó los niveles más bajos de generación de biogás, pues como se mencionó anteriormente, factores como la caída del pH a valores ácidos así como un ambiente aerobio en el reactor, influyeron directamente en la generación del biogás. Cabe señalar que en los primeros 10 días de operación se generó de los tratamientos CP y SUST, el 79.41% y 68.42% del biogás total. En cuanto a EXC el biogás dejó de poder cuantificarse después del día 19.

En cuanto a composición de biogás, el CP y SUST presentaron en promedio 54.12% y 51.05% de metano respectivamente, entre estos dos tratamientos no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$). Aunque los valores obtenidos se consideran adecuados, para que un biogás pueda ser usado para ser transformado a energía eléctrica o calorífica, debe alcanzarse una composición de metano de más del 60%.

El tratamiento EXC de igual manera presentó el nivel más bajo de metano, obteniendo un promedio de 5.7%.

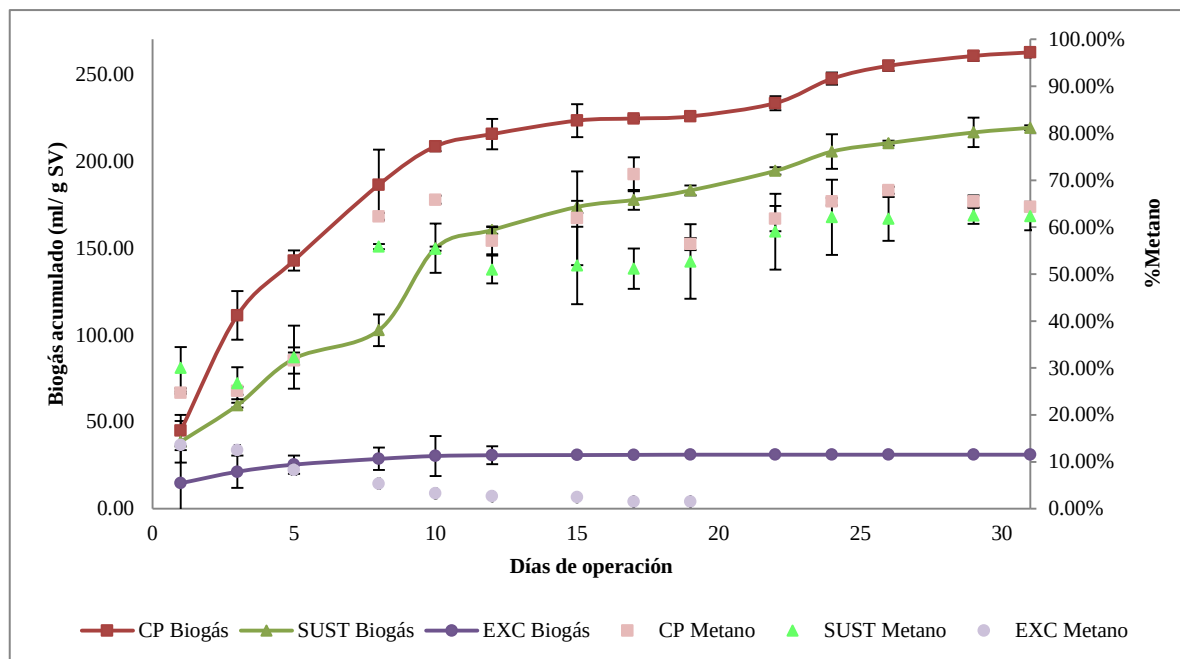


Figura 16. Biogás acumulado y porcentaje de metano de cada tratamiento a lo largo del proceso de DA

3.2 Cuantificación de poblaciones microbianas

En la tabla 2 se muestran las cuentas totales de los grupos de bacterias totales y bacterias celulolíticas tanto mesofílicas como termofílicas para todos los tratamientos. En cuanto a bacterias totales mesofílicas, los tratamientos que contenían el inóculo de la PCBP se mantuvieron relativamente constantes a lo largo de los 30 días en un orden de entre 10^4 y 10^5 . El tratamiento EXC empezó con la mayor cantidad de microorganismos 10^6 , sin embargo para el día 30 tuvo un descenso importante hasta el orden de 10^3 . Del grupo de los termofílicos, todos los tratamientos se mantuvieron en los órdenes de 10^4 y 10^5 .

Del grupo de bacterias celulolíticas mesofílicas, en general hubo mayores cuentas, esto puede deberse al uso del medio selectivo. En todos los tratamientos puede observarse que hay una tendencia de incremento de microorganismos para el día 17 y un descenso de 1 o 2 órdenes para el día 30, esto puede deberse a la disminución de materia orgánica. El comportamiento en los microorganismos termofílicos, es una tendencia a la alta conforme el tiempo avanza, sin embargo las cuentas fueron menores a las bacterias totales.

3.3 Identificación de microorganismos

3.3.1 Bacterias

Del grupo de bacterias totales, lograron aislarse en total (considerando mesofílicos y termofílicos), 246 colonias, de las cuales el 84.15% correspondieron a bacilos G+, 3.25% bacilos G- y 12.6% cocos G+. Del grupo de bacterias celulolíticas se aislaron 104 colonias, 60.48% pertenecieron a bacilos G+, 6.73% a bacilos G- y 31.73% a cocos G+.

A partir de los resultados de morfología colonial, microscópica y pruebas bioquímicas, las colonias fueron clasificadas en 42 grupos diferentes para BT y 29 grupos para BC. Los géneros encontrados se enlistan en la tabla 3.

Tabla 16. Cuenta total de los grupos Bacterias totales y celulolíticas de cada tratamiento

		Mesófilos (UFC/ml)				Termófilos (NMP/ml)			
		Día 0	Día 1	Día 17	Día 30	Día 0	Día 1	Día 17	Día 30
Bacterias totales	IN	6.4 x 10 ⁵		-		4.3 x 10 ⁴		-	
	CN		5.9 x 10 ⁵	3.7 x 10 ⁴	5.3 x 10 ⁵		4.3 x 10 ⁴	9.5 x 10 ⁴	2.9 x 10 ³
	CP		6.5 x 10 ⁵	3.5 x 10 ⁴	3.2 x 10 ⁵		4.3 x 10 ⁴	2.4 x 10 ⁵	1.5 x 10 ⁴
	SUST	-	4.9 x 10 ⁵	3.7 x 10 ⁴	2.8 x 10 ⁵	-	1.1 x 10 ⁵	2.4 x 10 ⁵	1.6 x 10 ³
	EXC		8.7 x 10 ⁶	3 x 10 ⁴	7.5 x 10 ³		1.5 x 10 ⁴	1.1 x 10 ⁴	4.6 x 10 ³
Bacterias celulolíticas	IN	4.6 x 10 ⁶				35		-	
	CN		8.9 x 10 ⁴	9.1 x 10 ⁴	6.9 x 10 ⁶		1.1 x 10 ³	3.5 x 10 ³	3.5 x 10 ³
	CP		1 x 10 ⁵	4.9 x 10 ⁷	1.5 x 10 ⁵		1.1 x 10 ³	3.5 x 10 ³	2.1 x 10 ⁴
	SUST	-	9.5x 10 ⁵	6.1 x 10 ⁶	8.2 x 10 ⁴	-	27	1.5 x 10 ³	2 x 10 ³
	EXC		2 x 10 ⁵	6.1 x 10 ⁵	9.9 x 10 ⁴		3.5 x 10 ³	2.1 x 10 ⁴	3.5 x 10 ²

Tabla 17. Géneros encontrados mediante técnicas tradicionales de cultivo

Bacilos	Cocos
Bacillus	Streptococcus
Paenibacillus	Enterococcus
Aneurinibacillus	Lactococcus
Lysinibacillus	Micrococcus
Psychrobacillus	
Lactobacillus	

3.3.2 Bacterias totales y Arqueobacterias metanógenas por Secuenciación del gen 16 S rADN

En la figura 2 se presentan los *fila* más abundantes, encontrándose ocho principales representados por más de 1% del total de las secuencias obtenidas en al menos 1 muestra. El filum de *Firmicutes* resultó ser el más abundante, presentándose en más del 60% en 7 muestras, todas ellas ya estaban en el proceso de DA. En el caso de la muestra inicial, el filum dominante correspondió a *Bacteroidetes* con un 63% de abundancia y en CP30, con una abundancia del 50%, para las demás muestras estuvo presente en un 11% o menos. El tercer filum predominante corresponde a *Proteobacteria* el cual se presentó en un 43% en CN17 y en un 24% en SUST17; en las demás muestras se presentó en un 7% o menos.

Los miembros del filum *Firmicutes* son versátiles y participan en la degradación de varios compuestos orgánicos complejos como lípidos, carbohidratos y proteínas, además algunos miembros de este filum son bien conocidos por ser fermentadores y ser bacterias sintróficas que pueden degradar ácidos grasos volátiles como butirico, propiónico y análogos al acetato e H₂, los cuales son precursores del metano [7], [8], [12]. En el estudio de [13] trabajaron con un inóculo de lodos activados y como sustrato, residuos de comida, al hacer su identificación microbiológica encontraron 4 *fila* dominantes, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Actinobacteria* y *Proteobacteria*; de igual manera [14] trabajaron con residuos de rastrojo de maíz, usando como inóculo excretas de bovino encontrando que los filum más abundantes correspondieron a *Firmicutes*, *Chloroflex*, *Bacteroidetes*, *Proteobacteria* y *Actinobacteria*. El predominio del filum *Firmicutes* en el proceso de DA podría estar relacionado con su capacidad de adaptación a vivir en ambientes térmicos [15].

A nivel clase, *Clostridia* perteneciente al filum *Firmicutes* fue de las clases más abundantes en ambos inóculos; en la muestra inicial se presentó en 22.05%; después de que esta muestra fue incubada a 55°C por 2 semanas para ser usada como inóculo, la abundancia relativa aumentó considerablemente alcanzando el 71.48%. En todas las muestras sometidas al proceso de DA, *Clostridia* estuvo presente entre un 30.62 – 85.13%. Esta clase está formada por anaerobios estrictos, y representan uno de los grupos bacterianos más frecuentemente encontrado en los reactores de biogás [16]. Algunos miembros de *Clostridia* son homoacetogénicos, pudiendo ser los responsables del primer paso de oxidación sintrófica del acetato en CH₄. Estos homoacetógenos pueden presentarse en ambas rutas metabólicas (hidrogenotrófica y acetogénica) dependiendo de las concentraciones de sustratos en el reactor [17].

Los géneros *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Lysinibacillus*, *Enterococcus*, *Lactobacillus* y *Streptococcus*, identificados por técnicas de cultivo, fueron también identificados por técnicas moleculares, sin embargo su abundancia relativa representa menos del 1.5% en todos los casos para todos los tiempo en todas las muestras.

En la figura 3 se observan los géneros más abundantes de metanógenos presentes en las muestras trabajadas. Claramente se puede apreciar que la muestra inicial posee géneros diferentes a aquellas sometidas al proceso de DA. En esta muestra el género *Methanosarcina* estuvo en un 81.09%, el cual descendió drásticamente al someter la muestra a incubación a 55°C por 2 semanas (CN1), encontrándose en un 15.42%. Para los días 17 y 30 días del proceso, en la muestra de este control las abundancias fueron menores al 3%.

Uno de los géneros que se encontraron en mayor abundancia fue *Methanoculleus*, el cual alcanzó valores hasta de 92.57% y 91.67% para las muestras de CP17 y SUST17. En CP30 la abundancia descendió ligeramente llegando a 75.07%, sin embargo SUST30 el valor llegó 59.79%. Las especies de *Methanoculleus* producen metano a través de la vía hidrogenotrófica, pero también pueden utilizar diferentes alcoholes secundarios como donadores de electrones para la metanogénesis, así mismo se ha documentado que la actividad de los metanógenos hidrogenotróficos son cruciales para un rendimiento estable y eficiente del proceso de DA [18], [19].

Estudios como el descrito en [20] encontraron que el género *Methanoculleus*, fue el biomarcador más prometedor de un desempeño favorable al tratar lodos residuales usando un proceso de digestión mesofílica, mientras que en el caso de [8] menciona que este género se encuentra de forma más predominante en reactores termófilos, como fue el caso del presente trabajo.

El inóculo de excreta no se presenta para este reino, pues las muestras no pudieron amplificarse, pudiendo ser que había limitado ADN de este tipo de microorganismos y no fue detectado por la PCR y por lo tanto no se visualizó en el gel de agarosa.

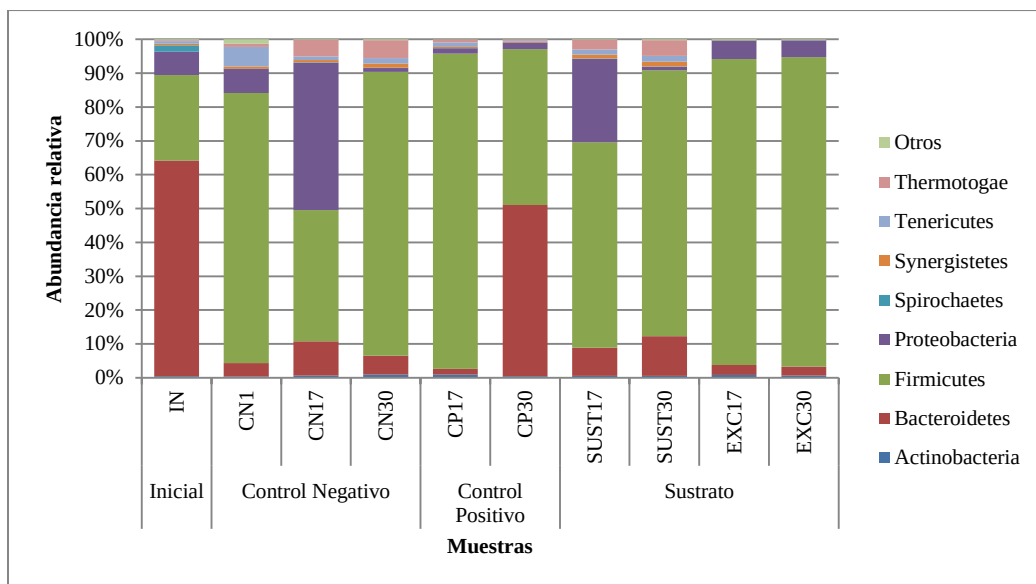


Figura 2. Abundancia relativa de los filum bacterianos dominantes de cada tratamiento a lo largo del proceso de DA

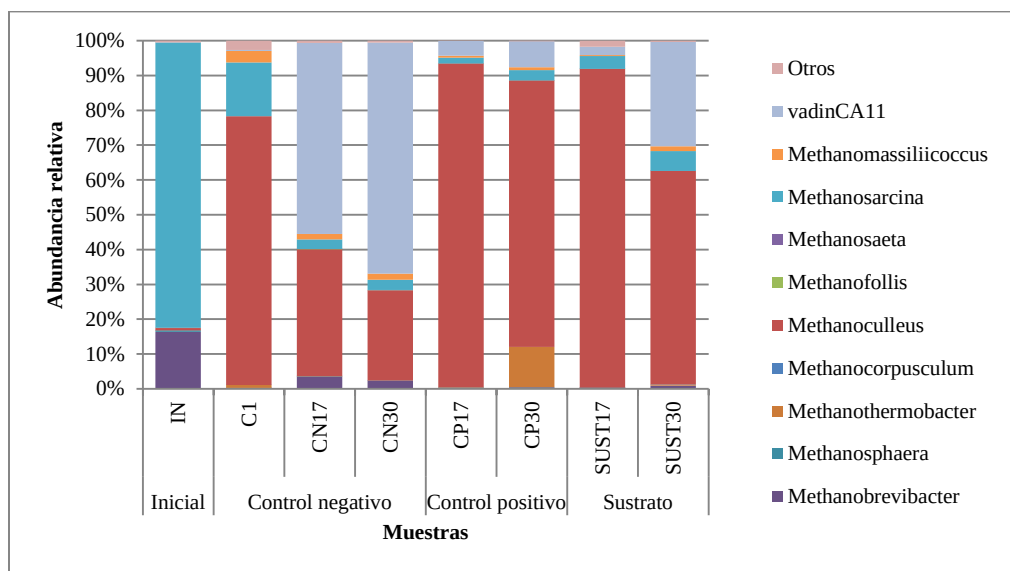


Figura 3. Abundancia relativa de los géneros de metanógenos dominantes de cada tratamiento a lo largo del proceso de DA

Para conocer si existieron diferencias significativas entre las muestras, éstas se clasificaron en 5 grupos: Iniciales (IN y CN1), Control Negativo (CN17y CN30), Control Positivo (CP17 y CP30), Sustrato (SUST17 y SUST30) y Excreta (EXC17 y EXC30).

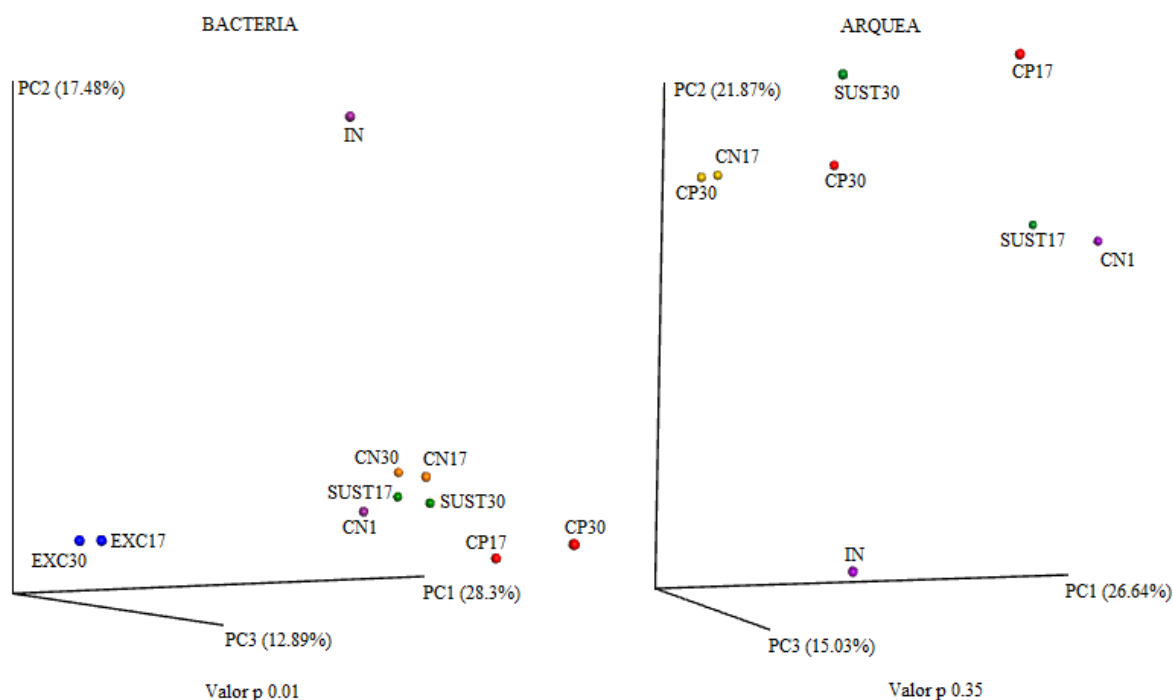


Figura 4. Análisis de coordenadas principales de los reinos Bacteria y Arquea

En la figura 4 se presenta el PCoA para ambos reinos, así como el valor de p derivado de la prueba estadística ANOSIM. Para el reino de Bacteria el valor de p fue 0.01, indicando que si existe una diferencia significativa entre las comunidades microbianas. Se puede apreciar claramente que las muestras que contenían el inóculo de excreta se encuentran alejadas de aquellas en donde se usó el inóculo de la PCBP, lo que podría explicar el valor de p.

En el reino de Arquea el valor de p fue de 0.35 por lo que no hubo diferencias significativas, esto puede deberse a que se trata del mismo tipo de muestra. Sin embargo es importante resaltar que la muestra inicial se mantiene distante al resto de las demás, pero sin existir diferencias estadísticamente significativas, aunque en la sección anterior se observó cómo ciertos géneros variaron considerablemente.

4. Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran que los fila más abundantes para el reino de Bacteria en ambos inóculos pertenecen a *Firmicutes*, *Bacteroidetes* y *Proteobacteria*, lo cual corresponde a trabajos similares. La clase *Clostridia*, del filum *Firmicutes*, fue de las más abundantes, y se ha reportado que algunos miembros de esta clase pueden ser los responsables de la oxidación sintrófica del acetato en CH_4 .

Cabe resaltar que no fue posible realizar el aislamiento de bacterias anaerobias estrictas, ya que sobrepasaba el alcance del presente.

Para el reino de Arquea, se encontró que el género más abundante, fue *Methanoculleus*, lo que nos indica que la producción de biogás fue mediante la vía hidrogenotrófica (utilización de H_2 y CO_2 para la producción de biogás) únicamente para las muestras en donde se empleó lixiviado de la Planta de Composta, pues para las muestras de excreta no se pudo hacer la amplificación de la región del gen, posiblemente por la baja cantidad de ADN de este tipo de microorganismos.

Este resultado también podría relacionarse con el pH ácido final del reactor, el cual complica el desarrollo de metanógenos y por ende la producción de biogás.

Se concluye entonces que el lixiviado que proviene de la PCBP puede ser usado como inóculo pues posee las comunidades microbianas necesarias para iniciar el proceso de DA termófila, ya que a lo largo del proceso pudieron encontrarse grupos microbianos específicos de cada etapa de la DA.

Para futuras investigaciones, se recomienda: utilizar diferentes relaciones inóculo/sustrato a fin de conocer cómo cambian las dinámicas microbianas, así como escalar la operación del digestor, es decir, trabajar con mayores volúmenes de sustrato e inóculo para trabajar bajo condiciones reales y determinar que sea efectivamente el uso de este inóculo una solución factible y eficiente para tratar la FORSU generada por la CDMX.

Referencias bibliográficas

- [1] Gaceta Oficial de la Ciudad de México. No. 183. Ciudad de México. 19 de Octubre de 2016.
- [2] Varnero, M. (2011). Manual de Biogas. *Manual de Biogas Proyecto CHI/00/G32*, 1–119. <http://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>.
- [3] Demirbas, A. (2005). Anaerobic Digestion of Agricultural Solid Residues. *International Journal of Green Energy*, 1, 483–494. <http://doi.org/10.1081/GE-200038719>.
- [4] Shah, F. (2014). Microbial Ecology of Anaerobic Digesters : The Key Players of Anaerobiosis. *The Scientific World Journal*, 2014, 21 pages. <http://doi.org/10.1155/2014/183752>.
- [5] Goux, X. (2015). Microbial community dynamics in replicate anaerobic digesters exposed sequentially to increasing organic loading rate, acidosis, and process recovery. *Biotechnology for Biofuels*, 8, 18 pages. <http://doi.org/10.1186/s13068-015-0309-9>.
- [6] Xu, F. (2013). Comparison of different liquid anaerobic digestion effluents as inocula and nitrogen sources for solid-state batch anaerobic digestion of corn stover. *Waste Management*, 33, 26–32. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.08.006>.
- [7] Boon, N. (2014). Inoculum selection is crucial to ensure operational stability in anaerobic digestion. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99, 189–199. <http://doi.org/10.1007/s00253-014-6046-3>.
- [8] Martín-González, L. (2011). Thermophilic co-digestion of organic fraction of municipal solid wastes with FOG wastes from a sewage treatment plant : Reactor performance and microbial community monitoring. *Bioresource Technology*, 102, 4734–4741. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.060>.
- [9] Rothberg, J. (2011). An integrated semiconductor device enabling non-optical genome sequencing. *Nature*, 475, 348–352. <http://doi.org/10.1038/nature10242>.
- [10] McDonald, D. (2012). An improved Greengenes taxonomy with explicit ranks for ecological and evolutionary analyses of bacteria and archaea. *ISME J.* 6, 610–618. <http://doi.org/10.1038/ismej.2011.139>.
- [11] Murugesan, S. (2015). Study of the diversity and short-chain fatty acids production by the bacterial community in overweight and obese Mexican children. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases: Official Publication of the European Society of Clinical Microbiology*, 34, 1337–1346.

- [12] Garcia-Peña, E. (2011). Anaerobic digestion and co-digestion processes of vegetable and fruit residues : Process and microbial ecology. *Bioresource Technology*, 102, 9447–9455. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.068>.
- [13] Mo, Y. (2015). Changes in bacterial and archaeal communities in anaerobic digesters treating different organic wastes. *Chemosphere*, 141, 134–137. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.086>.
- [14] Qiao, J. (2013). Molecular characterization of bacterial and archaeal communities in a full-scale anaerobic reactor treating corn straw. *Bioresource Technology*, 143, 512–518. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.014>.
- [15] Sun, W. (2015). From mesophilic to thermophilic digestion: the transitions of anaerobic bacterial, archaeal, and fungal community structures in sludge and manure samples. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99, 10271–10282. <http://doi.org/10.1007/s00253-015-6866-9>.
- [16] Zhou, A. (2017). Process assessment associated to microbial community response provides insight on possible mechanism of waste activated sludge digestion under typical chemical pretreatments. *Energy*, 137, 457–467. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.166>.
- [17] Moset, V. (2015). Mesophilic versus thermophilic anaerobic digestion of cattle manure: methane productivity and microbial ecology. *Microbial Biotechnology*, 8, 787–800. <http://doi.org/10.1111/1751-7915.12271>.
- [18] Schlüter, A. (2008). The metagenome of a biogas-producing microbial community of a production-scale biogas plant fermenter analysed by the 454-pyrosequencing technology. *Journal of Biotechnology*, 136, 77–90. <http://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2008.05.008>.
- [19] Demirel, B. (2008). The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: A review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 7, 173–190. <http://doi.org/10.1007/s11157-008-9131-1>.
- [20] Koo, T. (2017). Identifying methanogen community structures and their correlations with performance parameters in four full-scale anaerobic sludge digesters. *Bioresource Technology*, 228, 368–373. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.118>.

Diseño de un biodigestor de charola inoculado con bacterias metanogénicas bajo condiciones controladas de laboratorio

¹Daniel Tonahuri Ramirez Sánchez, ¹Victor Manuel Cabeza Fabián, ¹Nadia Jennyfer Villalva de la Cruz, ¹Agata Atzimba Luna Tejocote, ¹Nancy Judith Serrano García, ¹Jorge Enrique Pliego Sandoval.

¹Universidad Politécnica del Valle de Toluca, Carretera Toluca-Almoloya de Juárez Km 5.6 Santiago Tlalcalcali, Almoloya de Juárez Estado de México, C.P. 50904. Teléfono 01722 2766060. daniramirez@hotmail.com

Resumen

El objetivo de este estudio es desarrollar a futuro un biodigestor sustentable para comunidades de bajos recursos, ayudando a tener una fuente de energía limpia y económica. Se realizó el aislamiento de las bacterias metanogénicas de una mezcla de residuos orgánicos mediante un matraz kitazato al vacío, sellando con pinzas Kelly dejando incubar durante 72 horas a una temperatura de 34 °C. En los resultados preliminares se pudo observar la formación de colonias microbianas con índices de formación de gas, realizando pruebas microscópicas, así como bioquímicas para encontrar la especie de bacteria metanogénicas de interés, dando como resultado una *Methanococcus sp.*

Se realizó el diseño de un biodigestor para mantener a la bacteria de estudio en las condiciones ideales, para la optimización de la obtención de gas metano como fuente de energía renovable. Se obtuvo un prototipo (diseño propio) de un biodigestor de charolas con materiales reciclados, de fácil acceso, mantenimiento y de bajo costo, así como un sistema de control de fácil manipulación.

Palabras Clave: bacterias metanogénicas, biodigestor, diseño, biogás.

1. Introducción

El biogás es una mezcla de gases que se obtiene como resultado de la descomposición de la materia orgánica causada por diferentes microorganismos, entre los más importantes, las bacterias metanogénicas. El metano es el principal gas que se genera en estas reacciones bioquímicas. En las últimas décadas se habla de biorreactores que ayudan a la producción más efectiva de este producto, reduciendo los costos y obteniendo un producto más puro. Estas bacterias pueden ser estudiadas mediante la biotecnología basada en sistemas anaerobios [1].

El aislamiento de las bacterias metanogénicas es de gran importancia, ya que estos microorganismos pueden generar una equivalencia energética de 6.0 – 6.5 kW h m³ [2]. Por ello la producción de biogás es una alternativa como fuente de energía limpia (renovable), ocupando el tercer lugar a nivel mundial según la OCDE [3].

Los principales factores que afectan la producción de biogás son: composición y concentración del sustrato, temperatura del sistema, la velocidad de carga orgánica (VCO), tiempo de retención hidráulico (TRH), pH, relación Carbono/Nitrógeno y la presencia de compuestos inhibidores del proceso [3].

Por otro lado, los factores más importantes para el diseño de un biodigestor son el TRH y el VCO [4]. Donde, el TRH es el tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica y convertirla en biogás [4], mientras que la VCO es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el reactor por unidad de volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y del tiempo de retención [5].

El biogás se utiliza comúnmente para la generación de calor o electricidad en calderas, motores o turbinas. También, es posible su purificación para su incorporación en redes de gas natural y su utilización como material base en la síntesis de productos de elevado valor agregado como metanol o gas natural licuado [6].

En este trabajo se realizó el diseño de un biodigestor de charolas para la producción de gas metano inoculando bacterias metanogénicas y usando como fuente de energía los residuos orgánicos vegetales (de casa) y animales (vacuno).

2. Metodología

Este trabajo se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Politécnica del Valle de Toluca (UPVT), en los laboratorios de Biotecnología, Microbiología e Invernadero.

2.1 Muestreo de residuo vegetal y residuo bovino

Los residuos orgánicos vegetales (residuos verdes) se obtuvieron del mercado de Metepec, Estado de México, México, y los residuos orgánicos de animales (abono vacuno) de establos de Metepec y Almoloya de Juárez, Estado de México, México. Se utilizó también el contenido rumial de un bovino sacrificado en Metepec, el cual se obtuvo haciendo punción en la panza del animal muerto, esta muestra se mantuvo en condiciones anaeróbicas en medio de cultivo nutritivo con una placa de glicerol.

2.2 Determinación de pH

Se tomó una muestra compuesta de los residuos orgánicos vegetales y animales, se pesaron 5 gramos de cada una de las muestras por triplicado, se le adicionaron 25 ml de agua destilada, se agitó por 30 min con agitador de vidrio y se determinó el pH con un potenciómetro marca Thermo scientific [7].

2.3 Aislamiento de *Methanococcus*

2.3.1 Obtención de muestras

Durante el periodo de enero y febrero del año 2018 se analizaron muestras de residuo de vaca, obtenidas de establos en la zona perteneciente al Estado de México.

2.3.2 Medios de cultivo, obtención de aislamientos y caracterización bioquímica

Para inocular se pesaron 2.5 g de los residuos vegetales y 2.5 g de residuo de vaca. Se les adicionaron 25 ml de agua, se agitó y homogeneizó. Se utilizó 1ml de esta solución en 50 ml de Agar MacConkey, se preparó en matraz kitazato por triplicado; una vez inoculado se selló al vacío para asegurar la falta de oxígeno y se incubó durante 72 horas a 34 °C.

La morfología microscópica de las colonias se confirmó mediante la tinción Gram. Para una mejor caracterización se hicieron pruebas bioquímicas de descarboxilación, movilidad, producción de gas y fermentación de carbohidratos, mediante el uso de los medios: MIO, LIA, TSI y Manitol.

Para la propagación del organismo, se realizó en una resiembra en placas de medio base agar sangre dentro de una cámara casera de anaerobiosis (Figura 1).

2.4 Diseño del prototipo del biodigestor de charola

Se tomaron medidas de contenedores que son desechados por los agricultores de la región de Zinacantepec, Estado de México, utilizando materiales reciclados. Posteriormente se realizó el dibujo a mano del prototipo, dibujando en papel bond remarcado con estilógrafo, para pasar a programa Autocad.

El biodigestor propuesto en este trabajo se colocó en las instalaciones del invernadero ubicado en la Universidad Politécnica del Valle de Toluca. Se monitoreó una temperatura con un rango de 30 a 32°C, la cual es óptima para los procesos de descomposición del material vegetal y residuos de bovino [8].



Figura 1. Inoculación de bacterias anaerobias en cámara de anaerobiosis casera, formado por un frasco y bomba de vacío

3. Resultados y discusión

La medición tomada de pH en la muestra de residuo orgánico bovino fue de 8.6, siendo un pH ideal para el crecimiento de bacterias metanogénicas [10].

Los medios realizados y la metodología resultaron efectivos para el aislamiento de bacterias metanogénicas,

la
falta
de

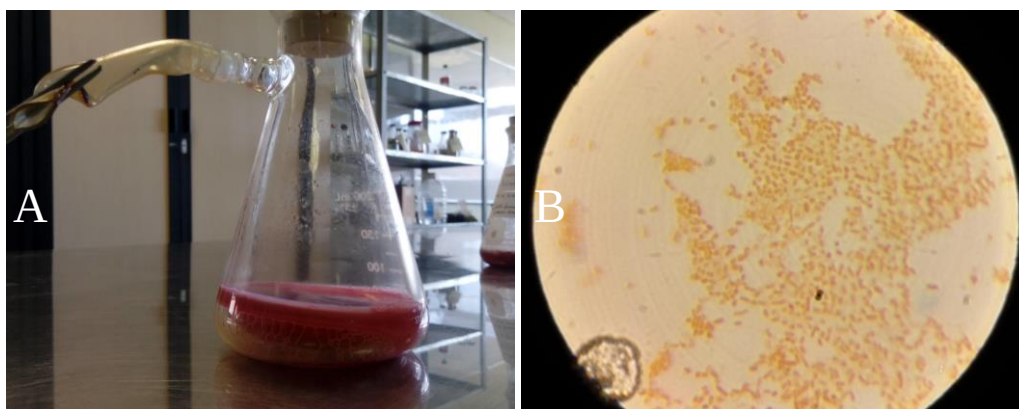


Figura 2. Morfología de las colonias: A. Colonias de posibles *Methanococcus* en medio MacConkey. B. Morfología microscópica (cocos Gram negativos).

oxígeno inhibió el crecimiento de distintos organismos permitiendo la proliferación de una sola colonia (Figura 2). Gracias a su caracterización bioquímica y a su aplicación en un biodigestor de baja escala se pudo dar una caracterización del género del organismo aislado [9].

La selectividad del medio MacConkey permitió el crecimiento de enterobacterias Gram negativas. Para su comprobación, se realizó una tinción de Gram, permitiendo observar una forma de cocos (Figura 2-B), debido a ese hecho y con los recursos que se disponían, se partió para la selección de las pruebas bioquímicas. Los resultados de dichas pruebas se reportan en las Tablas 1 a 4.

Puesto que el medio principal inhibe bacterias Gram positivas, las pruebas realizadas fueron enfocadas para cocos Gram negativas, logrando una buena aproximación del organismo aislado, concluyendo que este es una *Staphylococcus*, del género de las *Methanococcus*, ya que en todas las pruebas esta produjo gas. Se identificó también la presencia de descarboxilasas y ausencia de oxidasas, que indican que el organismo bajo estudio produce amonio, un producto notable en el proceso de biodigestión [10].

Para una mayor caracterización, se recomienda una secuenciación de los ácidos nucleicos de la bacteria aislada, con la finalidad de conocer el microorganismo, sin embargo, gracias a las pruebas realizadas se puede concluir que el aislamiento fue correcto mediante la metodología propuesta, obteniendo el metabolito de interés.

En las tablas 1, 2, 3 y 4, se observan los resultados obtenidos en las pruebas bioquímicas del aislamiento realizado dando como positivo la formación de gases. Esta prueba afirma que efectivamente hay bacterias anaerobias, ya que estas en sus rutas metabólicas, degradan el ácido sulfhídrico como fuente de energía, así como la movilidad, ya que al contacto con el oxígeno se empiezan a inhibir.

Tabla 1. Caracterización bioquímica del aislamiento de bacterias en TSI

Fermentación lactosa	Fermentación de glucosa	Fermentación de sacarosa	Formación de gas	Formación de ácido sulfhídrico	Viraje del medio
-	-	-	+	+	negro

Tabla 2. Caracterización bioquímica del aislamiento de bacterias en LIA

Formación de gas	Formación de ácido sulfhídrico	Degradación de lisina	Viraje del medio
+	+	-	amarillo

Tabla 3. Caracterización bioquímica del aislamiento de bacterias en Manitol

Coagulasa	Producción de gas	Color del medio
+	+	Amarillo

Tabla 4. Caracterización bioquímica del aislamiento de bacterias en Mio

Movilidad	Reacción de indol	Reacción de ornitina	Formación de gas
+	+	+	+

Construcción y atomización del biodigestor de charolas

El prototipo tiene dos charolas de polietileno con un diámetro de 51.5 cm. Además el diseño incluye, condensadores, estos servirán como trampas de agua para que se obtenga un producto más puro al terminar el proceso. Cuenta con una trampa de agua interna con una válvula de desagüe, tubos de alimentación para un proceso continuo, así como sensores de humedad y temperatura controlados mediante una tarjeta electrónica denominada Arduino uno. El sensor de temperatura que se empleó fue el LM33 y el de humedad es el YL69, el diseño del circuito se realizó en el programa libre Proteus 8. Se empleará esta tarjeta de control por su fácil manipulación, así como su bajo costo, los sensores a utilizar son de gran resistencia y de fácil mantenimiento. Proteus 8 brinda una mejor comodidad en el diseño electrónico facilitando el control de parámetros.

En la figura 3 se puede observar el diseño, con las conexiones, entradas y salida. Este prototipo es móvil y de fácil mantenimiento.

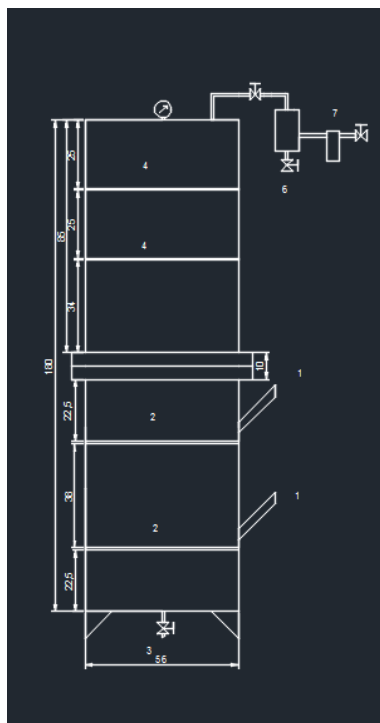


Figura 3. Dibujo del diseño del biodigestor elaborado en Autocad

Conclusiones

Se logró obtener el aislamiento de bacterias metanogénicas, que son de interés comercial, ya que con estas se puede optimizar el proceso de obtención de gas. Se logró también el diseño y construcción de un biorreactor de fácil acceso con productos reciclados, bajos costos de producción y mantenimiento. Éste tiene como ventajas la colocación de este tipo de biodigestor en comunidades de bajos recursos, contribuyendo a su sustentabilidad.

Referencias

- [1] Mertoglu B, Calli B, Guler N, Inoue Y. 2007. Effects of insufficient air injection on methanogenic Archae in landfill biorreactor. J hazard Mater. Pp 258-265.
- [2] Deublein D., Steinhauser A. 2008. Biogas from waste and renewable resources: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim. pp443.
- [3] Prospectiva de Energía Renovables 2012-2016, Gobierno Federal, Secretaria de Energía. SENER. México, 2012.
- [4] Food and Agriculture Organization. 2011. Manual de Biogas, Santiago, Chile, pp118.
- [5] Hilbert, J. 2000. Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, INTA. Castellar, Argentina. pp57.

- [6] Biodisol. 2010. ¿Qué es el Biogás?, digestión anaerobia, características y usos del biogás. Disponible en: <http://www.biodisol.com/biocombustibles/biogas-que-es-el-biogasdigestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas-energias-renovables-biocombustibles/> Consultado el 6 de febrero de 2018.
- [7] Norma oficial mexicana 021-SEMARNAT-2001. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.
- [8] Varnero M. 1992. Manual de reciclaje orgánico y biogás. Ministerio de Agricultura, Fondo de Investigación Agropecuaria. Santiago, Chile. pp52.
- [9] Paola Acuña, Lisvet Ángel, Aislamiento e identificación de microorganismos del género *Methanococcus* y *Methanobacterium* de cuatro fuentes de Bogota D.C., NOVA, Ciencias Biomédicas 2008.
- [10] Madigan M, Martinko J, Parker J. Biología de los microorganismos, aplicaciones, Ed. Prentice Hall, 2000.

Limitantes del biosecado de cáscara de naranja y mulch en reactores tipo composteros JK-400

¹Rosa Contreras Cisneros, ²Rooel Campos Rodríguez, ¹Roberto Carlos Hernández León,

¹Ana Belem Piña Guzmán, ¹Fabián Robles Martínez*.

¹ Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional,
Av. Acueducto S/N, Barrio la Laguna-Ticomán, tel.: 57296000 ext. 56470
froblems@ipn.mx*

²Tecnológico de Costa Rica, Calle 15, Avenida 14. CP 159-7050, Cartago (Costa Rica). Teléfono: [25525333](tel:25525333)

Resumen

Se utilizaron dos reactores tipo compostero JK-400 para evaluar el proceso de biosecado de una mezcla de residuos agroindustriales. Se consideró utilizar este tipo de reactor por la similitud entre los bioprocesos de compostaje y biosecado, además por que el equipo permite el volteo y homogenización de los residuos, para favorecer el intercambio de gases y eliminar los vapores generados durante el proceso. La mezcla de residuos estuvo compuesta por 80% de cáscara de naranja y 20% madera triturada, obtenidas de una planta productora de jugos y de poda de árboles, respectivamente. Se utilizaron en total 126 kg de residuos, los cuales ocuparon el 50% del volumen de cada reactor. Se realizaron dos corridas variando la frecuencia de volteo, una diariamente y la otra cada tercer día. Entre otros parámetros, se monitoreó la temperatura, pH y humedad de los residuos, tres veces por semana, obteniendo una reducción de peso entre el 37-40% al finalizar los 30 días de proceso. Mediante una prueba t-student de muestras pareadas, se demostró que la frecuencia de volteo no tuvo un impacto en la reducción de humedad, en cambio se identificó la condensación de vapores en las paredes y techo de los reactores, dificultando el proceso de biosecado, dando origen a la generación de entre 5.8L y 6.2 L de lixiviados totales. No se encontró diferencia significativa en el contenido de NO₃⁻, C, M.O., humedad y poder calorífico, demostrando que la frecuencia de volteo no impactó en la degradación de los residuos.

Palabras Clave: Biosecado, reactor, humedad, volteo.

1. Introducción

En México se procesan diversos productos en la agroindustria mexicana; estos no son aprovechados en su totalidad y, como resultado de su procesamiento, se generan residuos que en algunos casos llegan a ser del 50% del fruto, ya que se aprovecha únicamente la pulpa [1], [2]. Estos residuos pueden ser aprovechados por su poder calorífico como un combustible sólido a la vez que se reduce su volumen y se evita que lleguen a los sitios de disposición final.

El biosecado es una variación de la descomposición aeróbica muy similar al compostaje, la principal diferencia es que en el biosecado el propósito es aprovechar el calor biológico generado por los microorganismos para el secado de los residuos y que éstos conserven su potencial calorífico [3]. Este proceso ha sido estudiado en pilas [4], [5], en biorreactores de columna [6], [7] y rotatorios [8], [9]. Cabe mencionar que los reactores rotatorios se usan para mitigar el gradiente de temperatura de la matriz y para obtener una salida más homogénea en términos de humedad y energía [10], [11].

El biosecado en biorreactores es una oportunidad para estudiar, en condiciones controladas, dicho proceso. Para el presente trabajo se estableció que trabajar en un reactor rotatorio tipo compostero, permitiría lograr un producto más homogéneo en términos de humedad y valor calorífico. El objetivo fue estudiar los factores que afectan al biosecado en un reactor de tambor rotatorio a partir de la variación del volteo del reactor y considerando una aireación pasiva.

Los reactores JK-400 han sido utilizados para estudiar el proceso de compostaje, donde el volumen de operación recomendado es de 11 kg por día. Debido a la similitud entre el proceso de compostaje con el de biosecado, en el presente trabajo se propuso su uso para biosecar los residuos de cáscara de naranja y mulch.

2. Metodología

Se analizó el proceso de biosecado en dos reactores tipo composteros JK-400, ubicados en las instalaciones del Tecnológico de Costa Rica (TEC), en la provincia de Cartago (CR). Los reactores contaban con dos compartimentos separados por una lámina de PVC; en cada uno de los compartimentos se depositaron 63 kg de residuos, dando un total de 126 kg de residuos por reactor, cuya composición fue basada en experimentos previos de biosecado en pila semi-estática [12] (80% cáscara de naranja y 20% mulch).

El mulch utilizado fue obtenido de la poda de los árboles del TEC y las cáscaras de naranja, de una planta productora de jugos ubicada en la Ciudad de Cartago (CR), ambos residuos se caracterizaron conforme a la Tabla 1. La metodología aplicada para el análisis fisicoquímico fue la que dicta la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, con excepción de la evaluación del poder calorífico, el cual fue determinado con base en la norma mexicana NMX-AA-033-1985.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de los residuos y el material biosecado

Parámetros	Mulch /Cáscara de naranja	Material biosecado (MB)
Humedad	X	X
NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺	-	X
%N total	X	X
P-PO ₄ ⁻³	-	X
pH	X	X
C.O. y M.O.	X	X
C/N	-	X
Poder calorífico	X	X

Durante el proceso, se llevó a cabo el monitoreo tanto de las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura ambiente y radiación solar, diariamente cada dos horas en un horario de las 08:00 a las 18:00 h), como de la masa de residuos contenidos en los reactores (temperatura, humedad y pH, con una frecuencia de cada tercer día).

Se consideraron cuatro puntos de monitoreo de temperatura por compartimento en cada reactor, como lo muestra la Figura 1. Para medir la temperatura de los residuos en el reactor, se utilizaron dos monitores de temperatura TempTale 4 marca SensiTech, los cuales fueron colocados en el centro de los compartimentos C1.1 (Compartimento 1 del reactor 1) y en C2.2 (Compartimento 2 del reactor 2). Adicionalmente, se monitoreó la temperatura del resto de los puntos con un termómetro de espiga (temperatura de centro “T.centro”, temperatura de la superficie “T.sup.”, temperatura en la zona de separación de compartimentos “T.pv.” y temperatura de la zona cercana a la ventila “T.ven”).

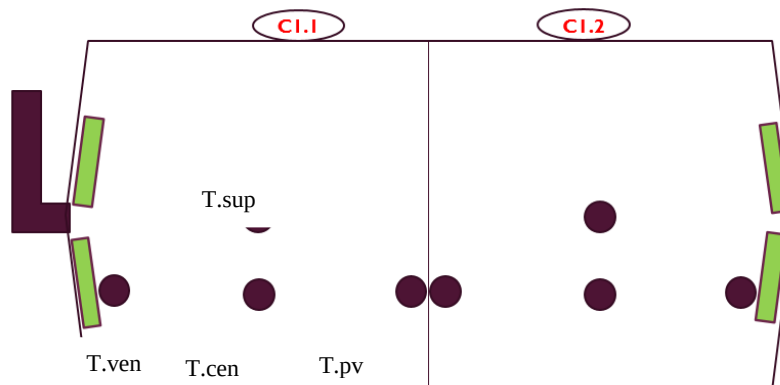


Figura 17. Puntos de monitoreo en ambos compartimentos del reactor tipo compostero JK-400. Ejemplo del reactor 1

Para determinar la reducción de masa, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Reducción de masa} = \frac{(m_i - m_f) * 100}{m_i}$$

Donde:

m_i = masa inicial de residuos(kg)

m_f = masa final de material biosecado (kg)

3. Resultados

3.1 Monitoreo de las condiciones ambientales

Tanto la humedad relativa como la temperatura ambiente se midieron en el mismo horario en que fue registrada la radiación solar (diariamente a las 8:00 h, 10:00h, 12:00 h, 14:00 y 16:00 h). La máxima radiación registrada fue a las 12:00 h obteniendo valores entre 600 y 1400 W/m² como lo muestra la Figura 2.

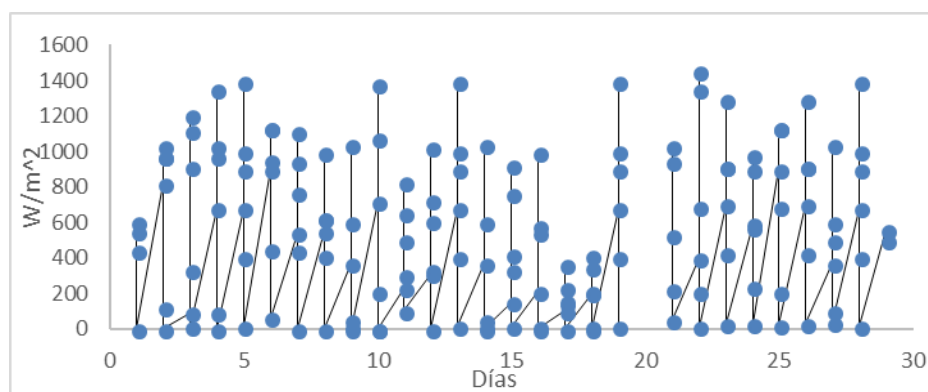


Figura 1. Radiación solar durante el proceso de biosecado registrado a las 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas

Las máximas temperaturas que fueron reportadas por la estación de monitoreo ambiental del TEC fueron las registradas a las 12:00 horas con temperaturas entre 26°C y 21°C, mientras que las menores fueron

registradas en las mañanas a las 08:00 h, teniendo una variación de $\pm 4^{\circ}\text{C}$ entre ambas temperaturas, como lo muestra la Figura 3.

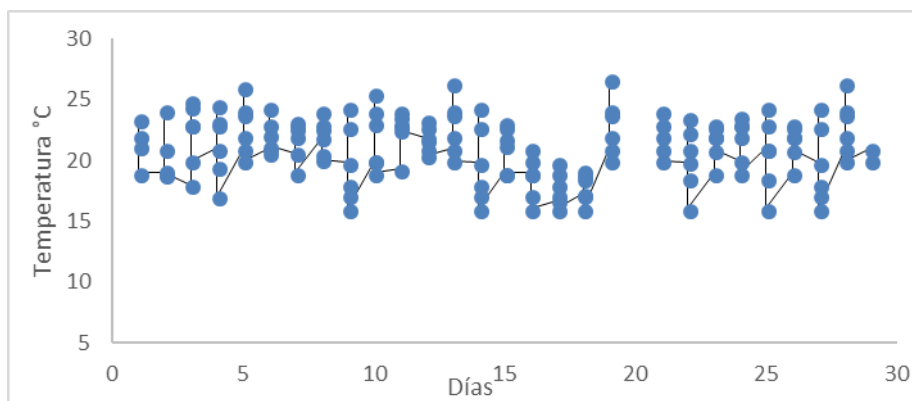


Figura 2. Temperatura ambiente registrada a las 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas

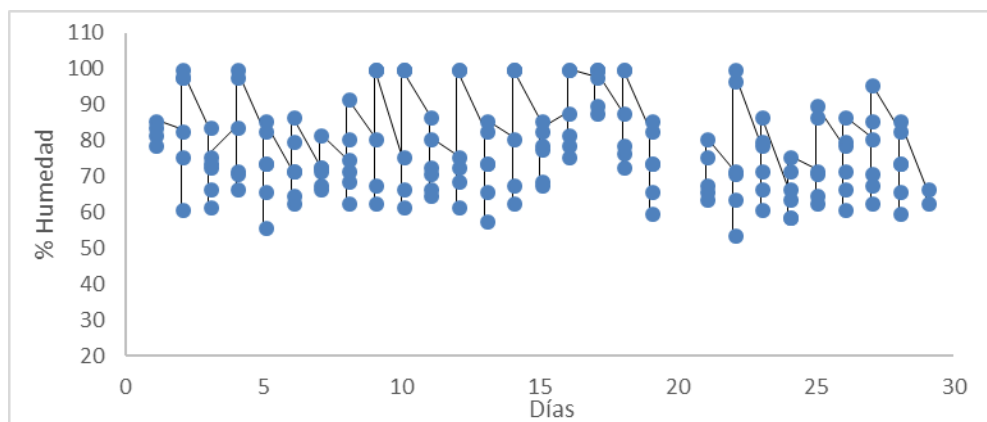


Figura 3. Humedad relativa a las 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas

La Figura 4 muestra que las humedades relativas más altas se registraron a las 8:00 y 16:00 h, siendo de entre 100% y 75% por el contrario, las humedades más bajas (58%-75%) fueron registradas a las 12:00 h. Como se observa en el monitoreo de las condiciones ambientales del proceso, la provincia de Cartago es un lugar muy húmedo y lluvioso en el tiempo en el que fue llevado a cabo el biosecado (Septiembre-Octubre de 2017), influyendo directamente en el desarrollo del proceso.

3.2 Temperatura en el reactor

Las mediciones de temperatura muestran que en el reactor 1 se alcanzó la fase termofílica (mayor a 40°C) a las 18 horas de iniciado el proceso, a diferencia del reactor 2, en el que dicha fase se alcanzó 24 horas después de haber iniciado el proceso. En las figuras 5 y 6, se muestran los resultados de las temperatura de ambos compartimentos del reactor 1, el cual tuvo el volteo diario (de lunes a sábado) durante los 30 días, y en las figuras 7 y 8, los de ambos compartimentos del reactor 2, el cual tuvo el volteo cada tercer día.

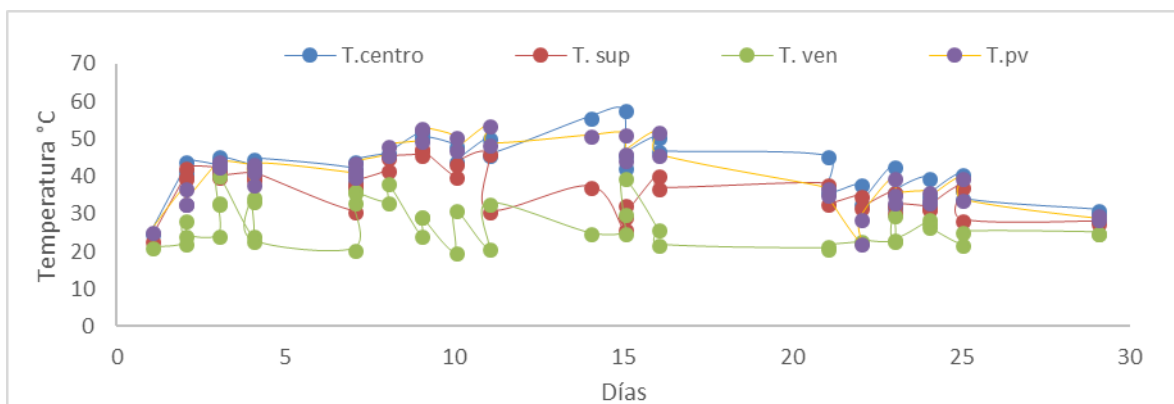


Figura 5. Perfil de temperaturas del compartimento 1 del reactor 1 (C1.1) a las 08:00, 10:00, 12:00 y 14:00 horas

Las máximas temperaturas registradas fueron de 56.8 el día 17 del proceso para C1 y 54.4 el día 16 para C2. En ambas gráficas podemos observar como después de los volteos (diario para C1 y cada tercer día para C2), se llegó a presentar un aumento de temperatura de hasta 15°C y 27°C para C1 y C2, coincidiendo este último con lo reportado anteriormente por [13] en pilas semi-estáticas con la misma composición. Teóricamente los volteos favorecen la transferencia de oxígeno y la homogenización de la temperatura a lo largo de la matriz de residuos, eliminando y a su vez favoreciendo la salida del vapor de agua en la matriz de manera homogénea. En el reactor JK-400, el volteo se llevaba a cabo con la puerta del reactor cerrada, por lo tanto, la única vía de salida del vapor del reactor fue por la ventila de cada compartimento de los reactores. La fase termofílica continuó durante 21 días para C1 y 18 días para C2.

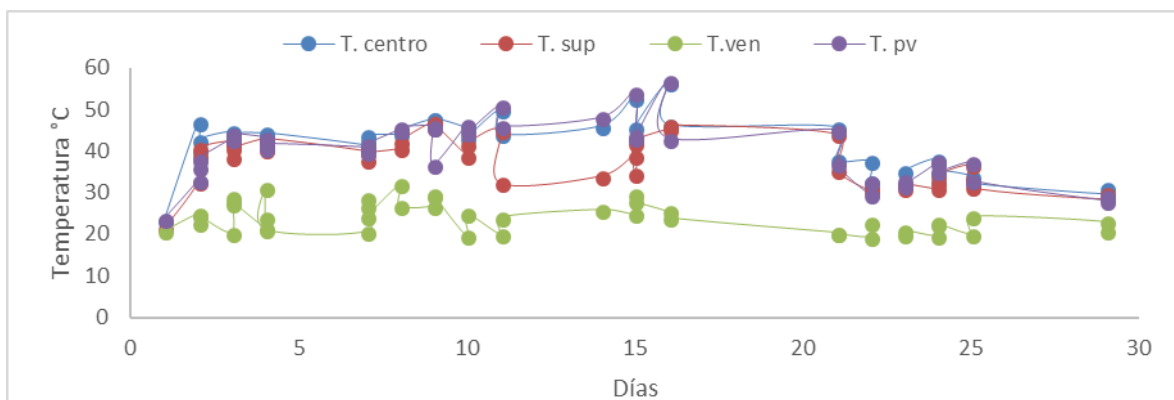


Figura 6. Perfil de temperaturas del compartimento 2 del reactor 1 (C1.2) a las 08:00, 10:00, 12:00 y 14:00 horas

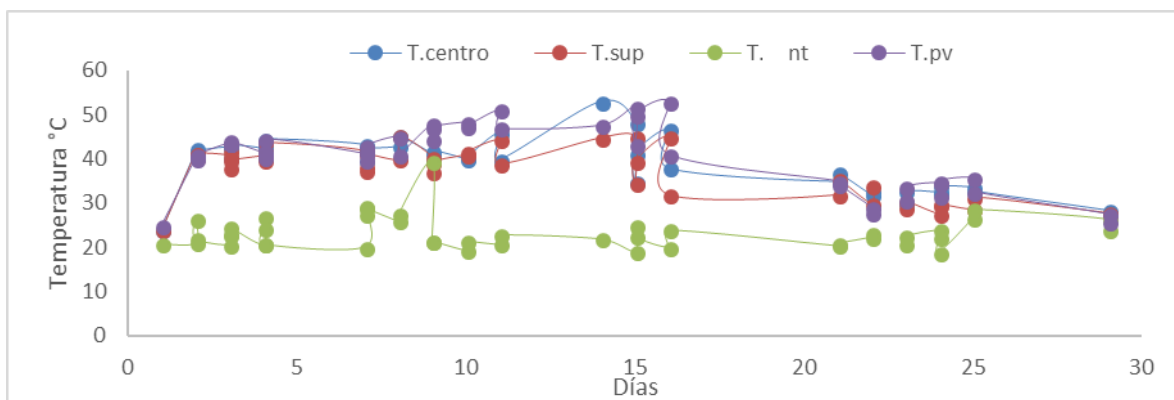


Figura 7. Perfil de temperaturas del compartimento 1 del reactor 2 (C2.1) a las 08:00, 10:00, 12:00 y 14:00 horas

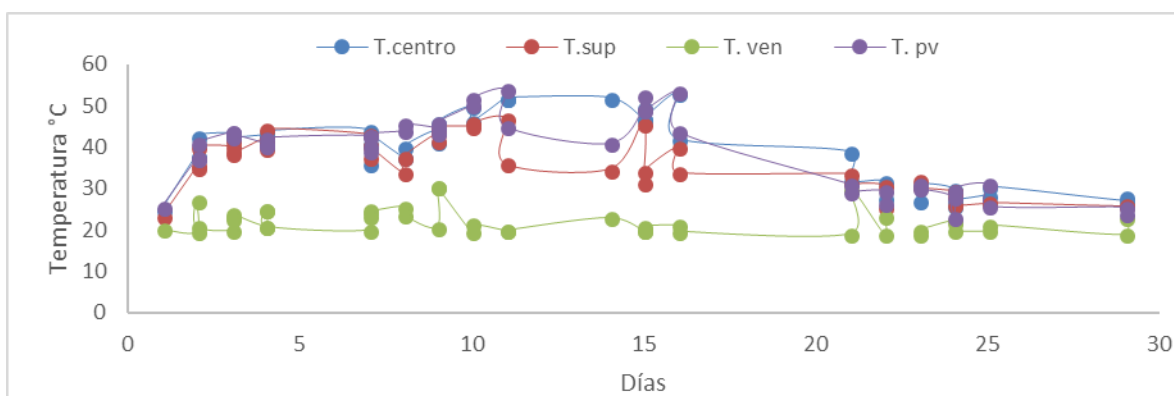


Figura 8. Perfil de temperaturas del compartimento 2 del reactor 2 (C2.2) a las 08:00, 10:00, 12:00 y 14:00 horas

En los perfiles de temperatura mostrados en las figuras 5, 6, 7 y 8) se observa que en los dos compartimentos de los dos reactores, tanto las temperaturas del centro (T.centro) como las temperaturas de la separación entre compartimentos (T.pv) son las más altas y tienen un comportamiento similar, seguida por la temperatura de superficie (T.sup) y finalizando por la temperatura del punto cercano a la ventila (T.ven). Es importante recalcar que diariamente a las 8:00 a.m. se midieron todas las temperaturas en los reactores, una vez finalizada la toma de temperaturas, se procedió a realizar el/los volteo(s) y después se volvió a medir la temperatura, para saber que tanto se homogenizaba la misma en los puntos de muestreo. Las temperaturas registradas en el punto T.pv, solían ser mayores a las del centro, esto se puede deber a la disponibilidad de aire en esa zona de reactor, debido a que las ventilas están localizadas del otro lado del reactor, haciendo más difícil la salida de esos vapores una vez ocurrido el volteo, también por la dirección en la que se lleva a cabo la agitación en este tipo de reactores, moviendo el material en un solo sentido y actuando en un solo eje en el momento del volteo. Esto hace que el material no avance a la zona cercana a la ventila (y con mayor aireación), haciendo que los vapores queden atrapados en la zona que divide ambos compartimentos.

3.3. Humedad en el reactor

Se realizó una prueba T-student (Diferencia para comparar muestras pareadas) para comparar la humedad del material en el centro de los cuatro compartimentos. La prueba mostró que, con un 95% de confiabilidad, no hay diferencia significativa entre los compartimentos de ambos reactores (C1.1, C1.2, C2.1 y C 2.2). Demostrando que la frecuencia de volteo de ambos reactores no impactó en la reducción de humedad de los residuos en proceso.

La Figura 9 muestra las humedades en el centro de los cuatro compartimentos, la humedad inicial fue de 87% para todos los compartimentos, finalizando en el día 30 con 57% y 60% para C 1.1 y C1.2 y 62% y 58% para C 2.1 y C 2.2. Comparado con las humedades finales en trabajos previos llevados a cabo en pilas semi-estáticas, se muestra que al día 30 de proceso, la humedad del centro se encuentra entre 30% y 15% según lo reportado por [13] y [14] que también trabajaron con cáscara de naranja (56%) y mulch (24.9%), añadiendo pasto como residuo de jardinería (19.1%), estos autores también reportaron que en los días 10 y 20 del proceso la humedad del centro en las pilas estaba en 60%, porcentaje cercano al del día 30 del proceso del presente proyecto.

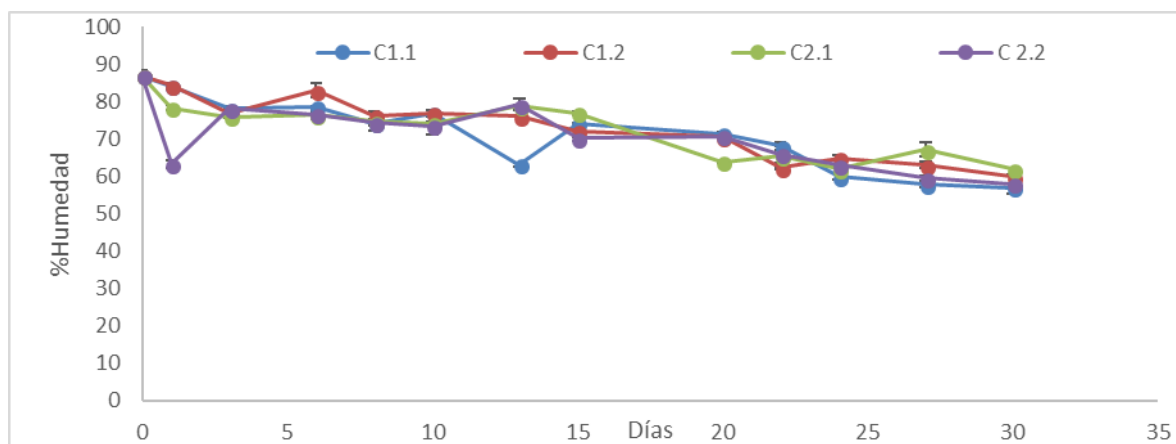


Figura 9. Humedad del centro de los 4 compartimentos de ambos reactores

La diferencia en las humedades con respecto a lo mencionado anteriormente, puede deberse a varios factores, primero la humedad inicial, [15] reportaron que la humedad inicial óptima en el proceso de biosecado debe mantenerse entre 50% y 70%, pues humedades iniciales más altas o más bajas, retardan la degradación y, por consecuencia, se obtienen bajas temperaturas máximas, la humedad inicial en los reactores fue de 87%, retardando la degradación y así la eliminación del vapor de agua del interior de la matriz de residuos. Otro factor es el material del que está hecho el reactor, así como el tamaño de las ventilas. El material que recubre la parte interna del reactor es un polímero poroso tipo foamy que retiene el calor y evita que los vapores salgan a través de las ventilas, que es la única vía de intercambio de gases entre el reactor y el exterior. De hecho, diariamente se observó condensación de los vapores de agua en las paredes y techo del reactor, trayendo consigo una salida deficiente del vapor de agua generado en la degradación de materia orgánica (M.O.), favoreciendo la generación de lixiviados en ambos reactores, mismos que se recolectaron en la parte inferior de ambos reactores, obteniendo una generación total de 5.8 L y 6.2 L para el reactor 1 y el reactor 2, respectivamente. Ningún reactor contó con algún sistema de recolección de lixiviados, así que se estimaron los mismos colocando una bolsa de plástico grande debajo de los reactores.

Al día 8 de proceso, al encontrarse las humedades en 75%, con generación de lixiviados y condensación de vapores dentro de reactor, se decidió mantener los reactores con las puertas abiertas para favorecer la salida del vapor de agua, colocando solo una malla para evitar que los insectos entraran a los reactores, como los muestra la Figura 10.



Figura 10. Reactor JK-400 a partir del día 8 de proceso

Mantener las puertas abiertas favoreció el desarrollo del proceso, ya que se dejaron de generar lixiviados; sin embargo, eso no fue suficiente para llevar a cabo el proceso de biosecado con mayor rapidez que en pila semi-estática.

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso de biosecado busca la eliminación de agua a partir del calor metabólico generado por los microorganismos al degradar la M.O. y los reactores JK-400 están diseñados para producir composta, donde se busca la degradación de los residuos para obtener un producto mineralizado, siendo la humedad un factor importante y determinante en el proceso de compostaje (50% a 70%), para la adecuada degradación de la M.O. Así pues, la condensación de vapores observada dentro de los compartimentos de los reactores favorece el proceso de compostaje pero perjudica el proceso de biosecado.

3.4 pH en el reactor

De la muestra que se obtenía para determinar la humedad, se realizó el monitoreo del pH en ambos compartimentos de los dos reactores, los resultados se muestran en la Figura 11.

Al inicio del bioproceso se comenzó con un pH de 3.5 y al final este parámetro se situó en un pH cercano a 8.5 en ambos reactores. Del mismo modo que para la humedad, se aplicó la T-student para comparar el pH de los cuatro compartimentos de ambos reactores, la prueba muestra que con 0.05% de significancia, el pH de los cuatro compartimentos no son significativamente diferentes.

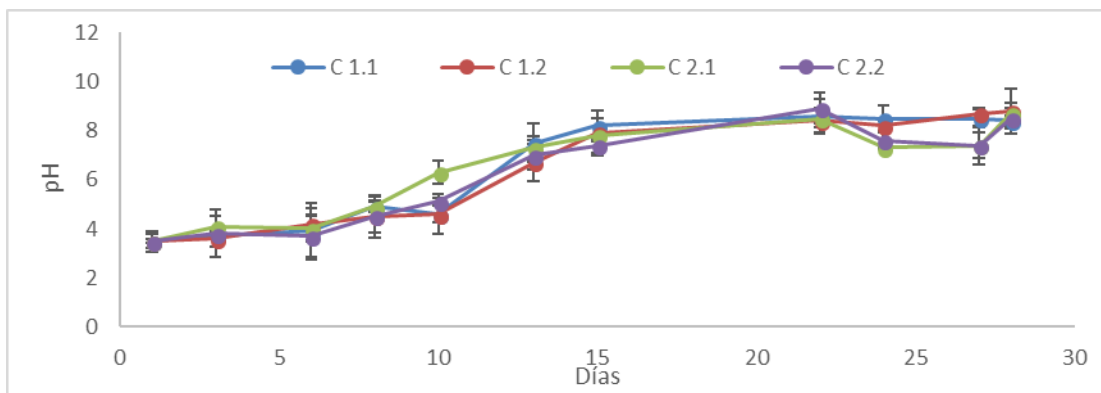


Figura 11. pH de los compartimentos de ambos reactores

Al día 13 de proceso se registró un aumento de pH a 7, este aumento de pH se puede atribuir a la formación de amoníaco cuando se degradan las proteínas y compuestos nitrogenados, estos resultados son similares a lo reportado por [13], quien obtuvo un pH final de 8.5

3.5. Caracterización fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica tanto de los residuos como de los productos de los compartimentos de ambos reactores se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de los residuos y del material obtenido en los compartimentos de los dos reactores al final del proceso

Parámetros	Cáscara de naranja	Mulch	Material biosecado (C1.1)	Material biosecado (C1.2)	Material biosecado (C2.1)	Material biosecado (C2.2)
Humedad	74.2 ± 0.12	22.1 ± 0.3	57 ± 0.13	60 ± 0.21	62 ± 0.33	58 ± 0.43
NO ₃ ⁻ (%)	X	X	3.8 ± 0.6 ^a	3.7 ± 0.5 ^a	3.2 ± 0.2 ^a	4.1 ± 0.5 ^a
NH ₄ ⁺ (%)	X	X	<0.01	<0.004	<0.004	<0.01

Nitrógeno total (%)	0.77 ± 0.03	0.29 ± 0.01	1.5 ± 0.2 ^a	2.6 ± 0.1 ^b	1.22 ± 0.05 ^a	1.4 ± 0.01 ^a
P-PO ₄ ⁻³ (mg/kg)	X	X	776 ± 44 ^a	730 ± 36 ^a	628 ± 31 ^b	749 ± 37 ^a
pH	3.6 ± 0.09	7.01 ± 0.1	8.4 ± 0.21	8.8 ± 0.91	8.7 ± 0.41	8.5 ± 0.41
Carbono orgánico (%)	54 ± 5	54 ± 5	50.89 ± 0.03 ^a	51.5 ± 0.3 ^a	51.0 ± 0.7 ^a	50.4 ± 0.1 ^a
Materia Orgánica (%)	93.096	93.096	87.73436	88.786 ^a	87.924 ^a	86.8896 ^a
C/N	70.12	186.2	33.92	19.8	41.8	36
Poder calorífico (KJ/kg)	6633 ± 200	17171 ± 200	19095 ± 0.03 ^a	17220 ± 1653 ^a	18840 ± 687 ^a	18216 ± 176 ^a

Las letras diferentes muestran diferencia significativa entre los sustratos ($p \leq 0.05$) ($n=3$)

Se realizó un análisis de varianza y el método de Tukey con 5% de significancia para comparar los resultados de los cuatro compartimentos, mostrando que para el reactor 1, tanto C 1.1 como C 1.2, no muestran diferencias significativas en el contenido de NO₃⁻, P-PO₄⁻³, C, M.O. y poder calorífico, sin embargo si muestra diferencia en el contenido de N de ambos compartimentos, esto impacta directamente en la proporción C/N, considerándose baja para un proceso que no consistió en la degradación de la materia orgánica. Al analizar el reactor 2, se observa que en ambos compartimentos no se muestra diferencia significativa en el contenido de NO₃⁻, N, C, M.O. y poder calorífico, pero si muestra diferencia en el contenido de P-PO₄⁻³ siendo menor en el compartimento 1. Al comparar ambos reactores, se observa que el contenido de NO₃⁻, C, M.O. y poder calorífico no es significativamente diferente para los dos reactores, demostrando que la frecuencia de volteo no impactó en la degradación de los residuos. Sin embargo, tanto la diferencia de N para el reactor 1 como la de P-PO₄⁻³ para el reactor 2, se puede atribuir a la heterogeneidad de la muestra, ya que ambos compartimentos fueron sometidos a las mismas condiciones de operación para cada reactor.

4. Conclusiones

La masa de residuos fue disminuyendo conforme avanzaba el proceso, obteniendo una reducción de masa final de entre 37% y 40% para ambos reactores. Sin embargo, al ser Cartago un lugar con alta humedad relativa y temperaturas ambientales de entre 14 y 26°C, el proceso de biosecado no se llevó a cabo como se esperaba. Además, el material del recubrimiento interno del reactor y el diminuto tamaño de las ventilas no favorecieron la salida del vapor de agua del reactor. Independientemente de eso, la frecuencia de volteo no impactó en la reducción de humedad del material, ni en el contenido final de NO₃⁻, C, M.O. y poder calorífico. Debido a que no se logró apreciar la reducción de humedad en el reactor tipo compostero, se sugiere trabajar en un biorreactor rotatorio con aireación forzada, la cual puede ser negativa (succión de aire) o positiva (expulsión de aire), pero que favorezca la salida del vapor de forma continua. También es importante que los materiales con los que se construya el interior del reactor, permitan el paso del vapor de agua.

Agradecimientos

Se agradece a los Ingenieros Laura Patricia Brenes Peralta, María Fernanda Jiménez Morales y Rubén Calderón Cerdas de la Escuela de Agronegocios del Tecnológico de Costa Rica por las facilidades dadas para el desarrollo de este proyecto.

Se agradece a la SIP por el financiamiento del proyecto de investigación que permitió la obtención de los resultados aquí presentados.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ramos-Casselis, M. E. (2015). BUAP crea fibra, alimento y biocombustible de residuos frutales. Comunicación institucional BUAP. Recuperado de: http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd.
- [2] Mejías B., Orozco E., Galán N. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales Y Recursos Naturales*, 2(6), pp. 27–41.
- [3] Velis, C. A., Longhurst, P., Drew, G., Smith, R., Pollard, S. (2009). Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresource Technology* 100 (11), pp. 2747–2761.
- [4] Robles, F., Gerardo, O., Piña, A., Montiel, L., Colomer, F., Orozco, C. (2013). Obtención de un combustible alternativo a partir del biosecado de residuos hortofrutícolas. *Revista internacional de contaminación ambiental* 29 (3). pp. 79-88.
- [5] Cai, L., Chen, T.-B., Gao, D., & Yu, J. (2016). Bacterial communities and their association with the bio-drying of sewage sludge. *Water Res*, 90, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.026>
- [6] Colomer, F., Herrera, L., Robles, F., Gallardo, A., Carlos, M. (2012). Secado de residuos de jardinería en reactores mediante procesos biológicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28(1), pp. 59-65.
- [7] Zhang, D.Q., He, P.J., Jin, T.F., Shao, L.M., 2008. Bio-drying of municipal solid waste with high water content by aeration procedures regulation and inoculation. *Bioresour. Technol.* doi:10.1016/j.biortech.2008.04.046
- [8] Patcharavongsiri M., Tondee T., Teekasap S. (2016). Effect of Rotation Rate on Rotary Bio-drying of Dewatered Municipal Solid Waste. In *Proceedings of the 5th International Conference on Mechatronics and Control Engineering (ICMCE '16)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 61-64.
- [9] Khajon S., Tusane T., Somrat K. (2016). Effect of airflow on moisture removal of rotary biodrying reactors. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 78(5-6), pp. 57 – 63.
- [10] Bartha, B., Brummack, J., (2007). Investigations on the separability of dynamically dried municipal solid waste. In: Kuehle-Weidemeir, M. (Ed.), *International Symposium MBT 2007*, Hanover, Germany 22–24 May 2007, pp. 350–360.
- [11] Skourides, I., Theophilou, C., Loizides, M., Hood, P., Smith, S. (2006). Optimisation of advanced technology for production of consistent auxiliary fuels from biodegradable municipal waste for industrial purposes. In: *Waste 2006 – Sustainable Waste and Resource Management*, Stratford-upon-Avon, UK, 19–21, 2B–14, 40.
- [12] Alcántara, S. y Molina, L. (2017) Evaluación del comportamiento del oxígeno en el bioproceso durante biosecado en pilas. Proyecto terminal. Instituto Politécnico Nacional.
- [13] Díaz, J. (2014). Análisis del proceso térmico durante el proceso de biosecado de residuos sólidos orgánicos. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- [14] Contreras, R. (2016) Efecto de los residuos orgánicos biosecados en la germinación y crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa*). Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.

[15] Benqin, Y., Lei, Z., Deokjin, J. (2014) Importance of Initial Moisture Content and Bulking Agent for Biodrying Sewage Sludge, *Drying Technology: An International Journal*, 32:2, 135-144, DOI: 10.1080/07373937.2013.795586

Purificación de biogás mediante la adsorción de metano en una malla molecular

¹Anakaren Ordaz Martínez, ² Jose Luis Contreras Larios, ²Alfonso Espitia Cabrera

1)Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, 2) Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Av San Pablo 180 Col. Reynosa Tamaulipas, delegación Azcapotzalco, Cd de México, (045) 5569752067, al2123000904@alumnos.azc.uam.mx

Universidad Autónoma Metropolitana, Av San Pablo Xalpa No 180. Col. Reynosa Tamaulipas C.P 02200. Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México, (045) 5569752067, al2123000904@alumnos.azc.uam.mx

Resumen

El desequilibrio ecológico causado por el hombre, ha generado una explotación de los recursos naturales del planeta con un mayor impacto en los combustibles que no son renovables y adicionalmente su utilización genera residuos que el sistema natural de la tierra es incapaz de asimilar en su totalidad, dos problemas que aquejan nuestro entorno. La digestión anaerobia contribuye a la solución de estos problemas, mediante la generación de biogás y de bioabono, aprovechando el valor energético de los residuos para generar un biocombustible renovable y un abono orgánico mejorador de suelos. El presente proyecto pretende purificar la corriente de biogás, a partir de incrementar el porcentaje de metano mediante su adsorción/ desorción en una malla molecular de 3 Angstroms. El tiempo que se empleó fue de 20 minutos. El sistema propuesto y el biorreactor que se utilizó fueron contruidos ex profeso. Se llevó a cabo un seguimiento de los parámetros iniciales y finales para conocer su impacto en la composición del biogás. Los resultados del tratamiento de purificación, se obtuvieron con cromatografía de gases y se determinó la eficiencia del tratamiento, determinando que la corriente de biogás aumento el porcentaje en un 10.45%. Por último, se establecieron las condiciones óptimas para mejorar el proceso de purificación y se hicieron recomendaciones adicionales para implementarse.

Palabras clave Biogás, energía, residuos orgánicos, valorización.

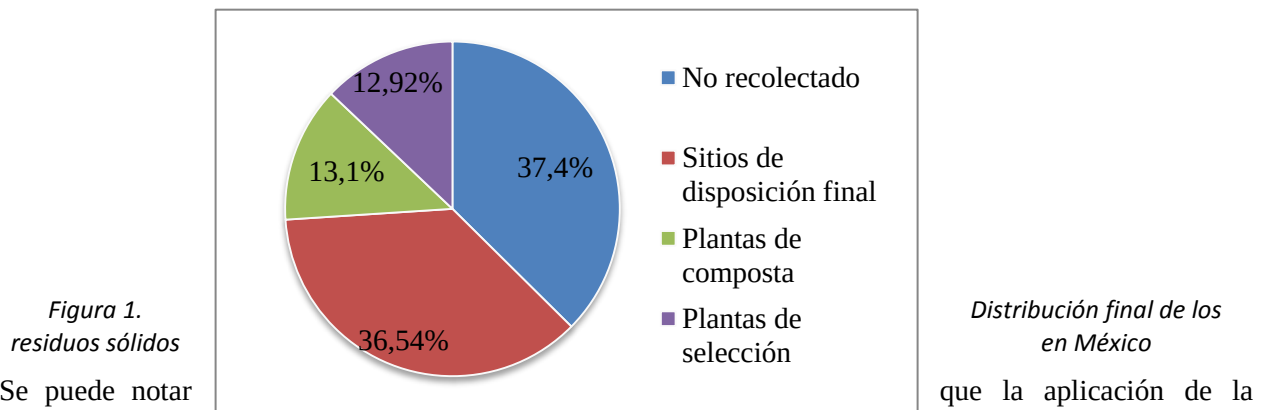
1. Introducción

La aparición del ser humano en la naturaleza, suscitó que su entorno se fuera modificando de manera paralela a su crecimiento, promoviendo un avance social, pero también ocasionando un impacto negativo en el ambiente, debido a una sobreexplotación de los recursos naturales y a un exceso en la generación de residuos.

Dentro de los recursos naturales afectados, la explotación de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) tienen una relevancia superior debido a que son éstos los que abastecen en un 80% la energía consumida por el mundo y de un 90,44% en México, para el año 2014 [1]. Esto significa que dependemos energéticamente de recursos no renovables, casi por completo. Además de que su utilización genera elevadas emisiones de dióxido de carbono (CO₂). En cuanto a la generación de residuos a nivel mundial, se estima que pasara de los 3,5 millones de toneladas por día en 2010, a más de 6 millones de toneladas por día para el año 2025 [2]. De acuerdo al inventario de residuos sólidos del 2014, en la Ciudad de México se producen 12,893 toneladas diarias y esta cantidad va en aumento constante [3]

Ante este panorama, en México, La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), establece como parte del artículo 1, aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos [4].

Retomando los datos del inventario de residuos sólidos del 2014, de las 12,893 toneladas generadas diariamente, solo el 62,6% se recolecta, el 36,54% llega a sitios de disposición final, el 13,10% a plantas de composta y el 12,92% a plantas de selección [3]. Estos porcentajes se presentan en la Figura 1.



Se puede notar
LGPGIR tiene

delante, para lograr cumplir sus principios, en especial el de la valorización de los residuos, debido a que es donde menos participación se tiene.

que la aplicación de la
un largo camino por

Frente a esta situación, la *digestión anaerobia* presenta una solución viable a la problemática energética y a la de los residuos sólidos orgánicos, por medio, de la generación de *biogás* y de *bioabono*, ocupando los residuos como biomasa para obtener energía mediante el biogás y generando abono orgánico, como mejorador de suelos.

Purificación del biogás

A partir de la composición de la corriente de biogás, se establecen los niveles de impurezas que se requieran remover, para incrementar la fracción del metano y por consiguiente su poder calorífico. Para lograrlo existen algunos métodos de purificación que buscan remover principalmente el dióxido de carbono (CO₂) y el ácido sulfhídrico (H₂S); y en algunos casos ciertas especies orgánicas halogenadas [5].

Dentro de los tratamientos para purificar el biogás empleados destacan: la absorción física y química, la adsorción, la separación por membranas, la separación criogénica, el método de conversión química, los procesos de oxidación seca y la separación biológica. En la tabla 1 se muestra la comparación entre ellos.

Tabla 1. Tratamientos para la purificación del biogás

Tratamiento	Operación	Costo de inversión	Costo de operación	Calidad del tratamiento
Absorción física	Sencilla	Bajo	Medio	Alta eficiencia de purificación. En algunos casos se obtiene metano puro, genera productos que requieren tratamiento
Absorción química	Sencilla	Bajo	Alto	Se utiliza para remover CO ₂ , H ₂ S y vapor de agua. Eficiencia alta pero varía en función del compuesto químico empleado, utiliza consumibles
Adsorción en superficie sólida	Sencilla	Medio	Medio	A partir de una buena elección del adsorbente, el proceso puede remover CO ₂ , H ₂ S, humedad y otras impurezas simultánea o selectivamente, no utiliza consumibles
Superación por membrana	Normal	Medio	Alto	Para alta purificación de metano, la permeabilidad debe ser alta. Se pueden lograr 98% v/v de metano
Separación criogénica	Normal	No hay datos disponibles	No hay datos disponibles	Tiene la ventaja de recuperar los componentes puros de forma líquida. Aunque no presenta alta eficiencia en la remoción de CO ₂
Método de conversión química	Complejo	Muy alto	Muy alto	Reduce la concentración de gas indeseable a niveles traza
Procesos de oxidación	Compleja	Alto	Bajo	Solo presente alta eficiencia en la eliminación de H ₂ S y vapor de agua

Con la intención de incrementar el poder combustible del biogás, en esta investigación se seleccionó la adsorción en una superficie sólida para elevar la concentración de metano en el biogás.

Método de adsorción

Es un proceso que se fundamenta en la capacidad de ciertos sólidos para remover de manera selectiva, por adherencia en la superficie componentes gaseosos de una corriente. La ventaja de este método recae en su reversibilidad, que sirve para recuperar el gas adsorbido mediante la desorción, que se da al incrementar la

temperatura o disminuir la presión [6]. El proceso depende del sólido adsorbente, del tipo de gas adsorbido, de la presión y de la temperatura.

Sólido adsorbente

Los materiales sólidos más utilizados como adsorbentes son el carbón activado, la sílicagel y las mallas moleculares de zeolitas o de carbón [7]. La ventaja que ofrecen es su selectividad, conseguidas a partir del desarrollo a la medida de su estructura cristalina [6]. Las mallas moleculares comercialmente disponibles contienen cavidades conectadas por poros uniformes y el rango de sus diámetros oscila entre 3 y 10 angstroms.

Gas adsorbido

Para la elección del material adsorbente es necesario conocer el tipo de gas que se busca adsorber, particularmente con el tamaño del diámetro molecular. Si el diámetro de la molécula es menor al del material adsorbente dicha molécula atravesará el material, en cambio si el tamaño del diámetro es mayor, la molécula quedará retenida en la superficie del sólido. En la tabla 2 se muestran algunos gases y sus diámetros cinéticos [8].

Tabla 2. Diámetros moleculares de algunos gases

Molécula	He	H ₂	NO	CO ₂	Ar	O ₂	N ₂	N ₂ O	CO	CH ₄
Diámetro cinético	2.6	2.89	3.17	3.3	3.4	3.46	3.64	3.71	3.76	3.8

Referencia: [9]

Presión y temperatura

En general, el aumento de la presión y las temperaturas similares a las ambientales favorecen la adsorción del gas por el sólido, y para que la desorción ocurra es necesario un cambio en la presión o en la temperatura.

Considerando estas variables, en este estudio se estableció el incremento de la concentración de metano en la corriente de biogás mediante la adsorción/ desorción de metano (CH₄) en una malla molecular de 3 angstroms.

2. Metodología

Para llevar a cabo el proceso de purificación del biogás, se siguió el esquema mostrado a continuación (ver Figura 2). Los equipos utilizados se muestran en las figuras 3 y 4.

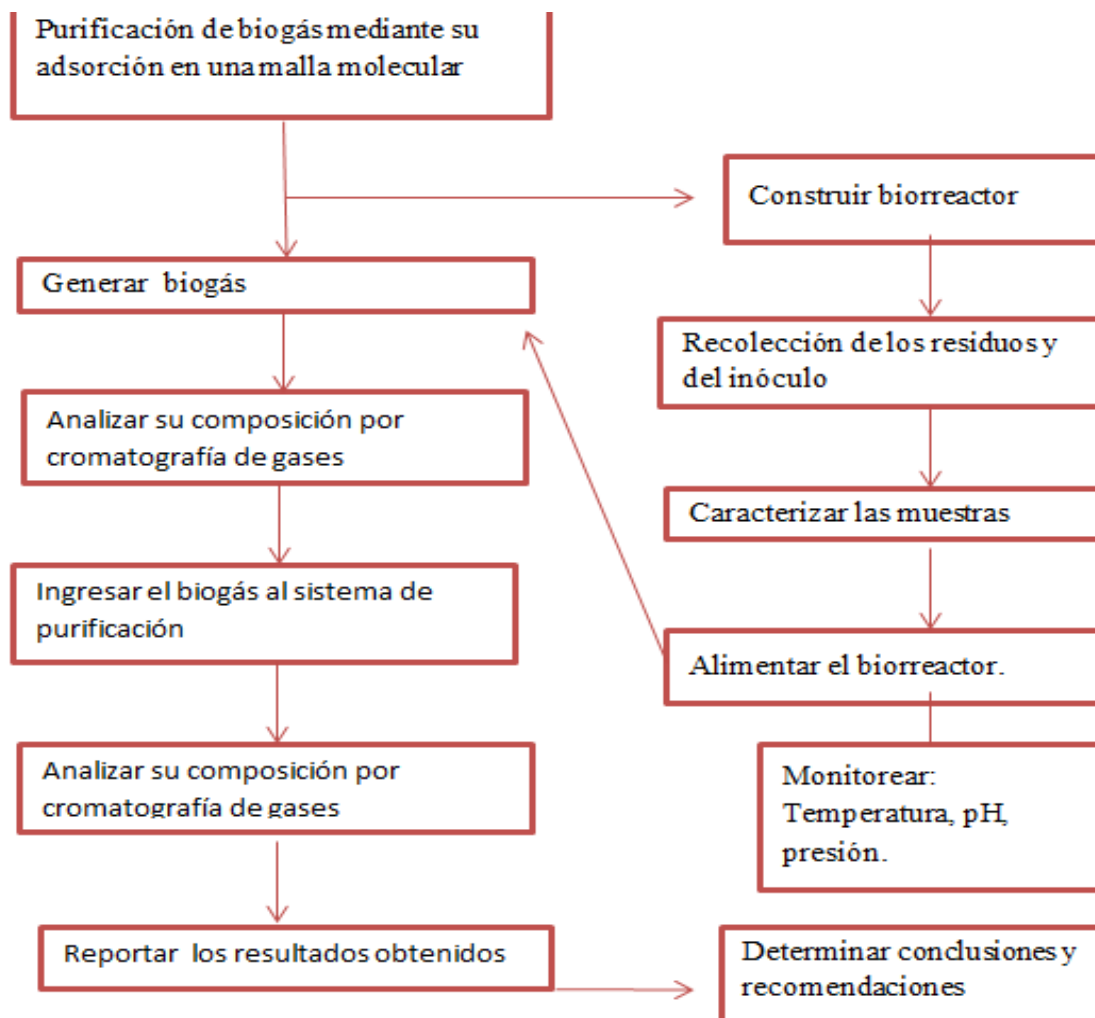


Figura 3. Filtro y malla molecular

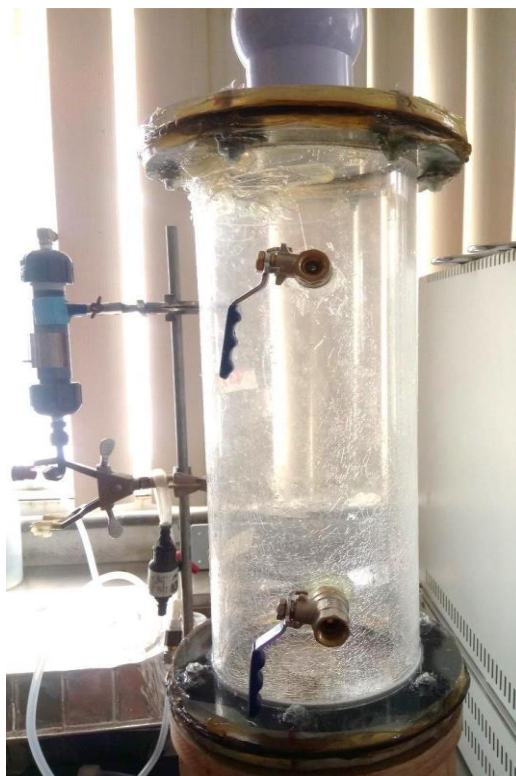


Figura 4. Biorreactor

El equipo utilizado para obtener biogás fue construido para tal efecto. Cuenta con dos válvulas, una de alimentación en la parte superior y la otra de salida en la parte inferior, además tiene dos puertos de muestro, el primero para obtener biogás y el segundo para monitorear la mezcla. Las dimensiones son: 40.4 cm de altura y de 21.1 cm de diámetro.

El sustrato empleado fueron residuos de la cafetería de la universidad. El inóculo utilizado proviene de la planta de composta del Bordo Poniente, del lixiviado de las pilas de composta. Se caracterizaron las muestras de sustrato y del inóculo para establecer una relación de sustrato/inóculo (RIS) 1:1 mediante su valor de sólidos volátiles. Posteriormente se homogenizó la muestra, se le añadió agua destilada y se conectó a una bomba de vacío por el puerto de muestreo 2 para extraer el aire y crear un medio anaerobio. Finalmente, para controlar la temperatura del proceso, se llevó a una estufa y se procuró mantener el biorreactor en un rango termófilo.

El proceso de la digestión anaerobia tardó 54 días, durante este periodo se mantuvo un monitoreo continuo de la presión, la temperatura y el pH. De igual forma, se agitaba el biorreactor para promover la mezcla del contenido. Se inició con una temperatura de 45°C y cada 15 días se incrementó 5°C.

El tratamiento planteado para este proyecto consistió en hacer pasar la corriente de biogás (una muestra de 40 ml) por el filtro que contenía la malla molecular de 3Å, en diferentes tiempos de residencia (10, 15 y 20 minutos) y se analizó en el cromatógrafo una muestra de 300 µL para cada tiempo de retención, de esta forma se determinó la adsorción del metano (CH₄).

Posteriormente se recuperó la cantidad de metano (CH₄) adsorbido, empleando una corriente a contraflujo de aire caliente en el filtro, se capturó el metano liberado y se inyectó en la corriente de biogás para incrementar el porcentaje de metano (CH₄).

3. Resultados y discusión

Análisis del biogás en la adsorción

Como se mencionó en la metodología, se analizó la composición de la corriente de biogás al inicio y posteriormente, se inyectó una muestra de 40 ml en el filtro que contenía la malla molecular, se tomaron muestras de 300 μ L después de 10, 15 y 20 minutos para cuantificar la adsorción. Los resultados se muestran en la figura 5.

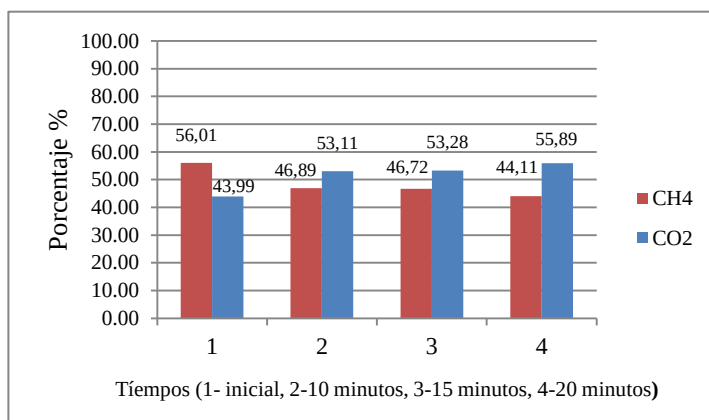


Figura 5. *Proceso de adsorción*

Se observa que la presencia de metano disminuyó en la corriente, conforme el tiempo transcurría, pasando del 56.01% inicial a un 44.11% tras 20 minutos. Esto indica que el metano quedó retenido en la malla molecular de 3Å. De igual forma, se aprecia un incremento más rápido al comienzo de la adsorción y que, con el paso del tiempo se vuelve más lenta.

El proceso de desorción se llevó a cabo una sola vez, al finalizar los 20 minutos. Se empleó una corriente de aire caliente a contraflujo en el filtro, se capturó ese metano liberado y se inyectó en la corriente de biogás con la composición inicial. El cromatograma de la composición inicial y final de la corriente de biogás se muestra en las figuras 6 y 7, respectivamente.

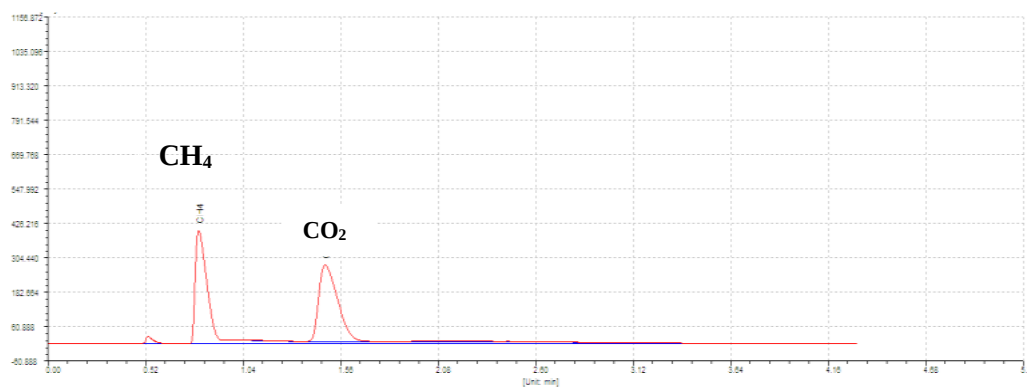


Figura 6. *Composición inicial*

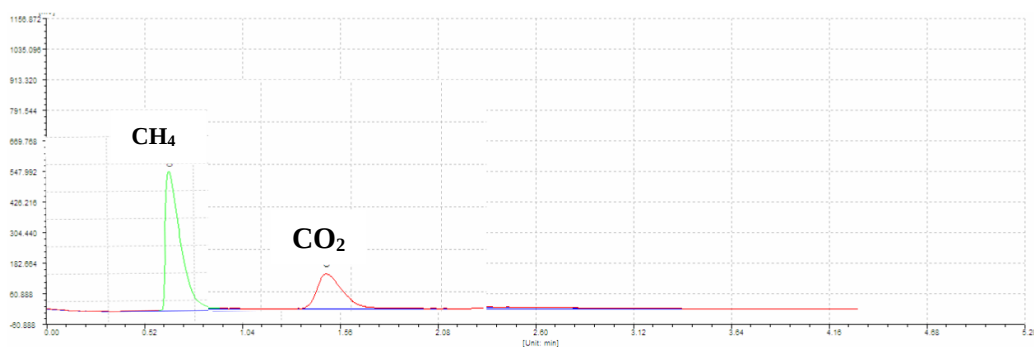


Figura 7. Composición final

Comparación de la composición inicial y final de la corriente de biogás

Con los datos de los cromatogramas se cuantificó la composición. Los resultados se muestran en la figura 8.

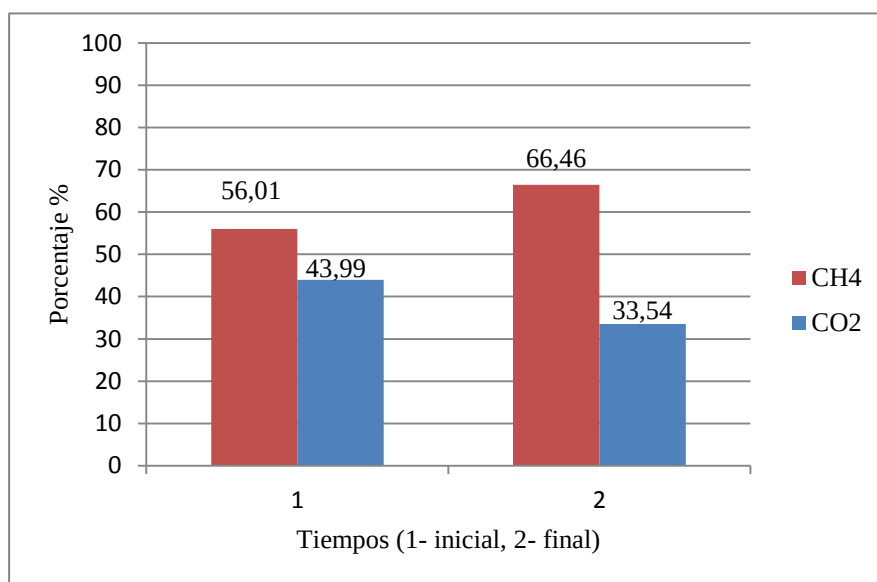


Figura 8. Comparación de la composición inicial y final

Se observa que la cantidad de metano (CH_4) que se incrementó en la corriente de biogás representa un 10.45% después de 20 minutos de tratamiento. Se visualiza que la cantidad adsorbida de metano fue de 11.90% y que la cantidad desorbida (recuperada) es de 10.45%.

4. Conclusiones

El objetivo general se logró, ya que se incrementó la concentración de metano en el biogás mediante su adsorción/desorción en una malla molecular de 3 angstroms, a partir de una corriente de biogás. La concentración de metano (CH_4) que se logró incrementar fue de un 10.45%.

La cantidad incrementada es aceptable, si se considera que la composición inicial no alcanzaba el 60% de metano (CH₄), (cantidad mínima necesaria para considerarlo combustible). A través del tratamiento se volvió combustible y apto para emplearse.

El tiempo de retención empleado fue bastante corto, pues no se alcanzó a observar el momento en que la malla molecular se satura y por ende, no se pudo conocer la cantidad máxima que es posible incrementar.

Con la intención de mejorar la eficiencia del presente tratamiento, se establecen algunas recomendaciones:

- El tiempo de retención deberá superar los 20 minutos para muestras con contenidos por debajo del 50% en metano pero, sin exceder el tiempo en el que la malla molecular se sature; y menores a 20 minutos para corrientes con un 95% de metano.
- Luego de conocer el tiempo de saturación, se recomienda usar dos filtros en lugar de uno, el segundo se activaría cuando se sature el primero, sin tener que esperar a darle tratamiento.
- Si se trabajan con temperaturas termófilas en la generación de biogás, añadir un intercambiador de calor en el punto de muestreo para templar al contacto la corriente de biogás y así, aumentar el porcentaje de adsorción.

Referencias bibliográficas

- [1] Banco Mundial. (2014). Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total) En línea <<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&start=1960&view=chart>> Recuperado el 11/2/2018.
- [2] Prieto, Navarrete, G. (2013). Geografía Infinita. En línea <<http://www.geografiainfinitia.com/2013/11/quien-genera-mas-basura-mapa-mundial-de-los-residuos-urbanos2/>> Recuperado el 12/2/2018.
- [3] SEDEMA. (2015). *Inventario de Residuos Sólidos CDMX-2014*. Ciudad de México.
- [4] SEMARNAT (2013). *NOM-161-SEMARNAT-2011*. DOF. Ciudad de México.
- [5] Morero del Valle, B. (2014). Tesis de doctorado. *Purificación de biogás con tecnologías de producción limpias*. Santa Fe, Argentina.
- [6] Wark, K. Warner, C. (2007). *Contaminación del aire*. Limusa. Ciudad de México.
- [7] Llana, H. Morís, M. González, L. (2010). *Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento de biogás: Caracterización, purificación y control del biogás*. Probiogás PSE. España.
- [8] Escobar Gutierrez, K. (2007). *Estudio de membranas poliolefinicas para separación de mezcla de gases*. Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile. Chile
- [9] Handbook of Chemistry and Physics. 77 edition CRC Press. 1996.

Herramienta para la definición de líneas de gestión de biorresiduos

Mónica Delgado Salgado, Carlos Rico de la Hera, Miguel Cuartas Hernández y Amaya Lobo García de Cortázar

Grupo de Ingeniería Ambiental (GIA). Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente.
Avda. de los Castros, s/n, 39005 Santander, España. Tel.: +34 942 20 22 86, delgadosm@unican.es.
E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria.

Resumen

Se presentan los primeros resultados de un proyecto que pretende avanzar en la optimización de la gestión de los biorresiduos mediante la creación de una herramienta multicriterio que permita la elección de la mejor línea de gestión para cada situación. Esta herramienta englobará todas las etapas del proceso de gestión de residuos orgánicos, teniendo en cuenta, para la elección de la alternativa más adecuada, criterios ambientales, técnicos, económicos y sociales, además de los condicionantes locales que pudieran existir en cada caso. En la primera fase de este proyecto se ha desarrollado una matriz de compatibilidad, que engloba las diferentes etapas de gestión: tipo de recogida, pretratamiento I, II y III, tratamiento y aplicación final. Para cada una de estas etapas se presentan diferentes alternativas, planteando el grado de compatibilidad entre las mismas, pudiendo ser estas totalmente compatibles, moderadamente compatibles o no compatibles. Partiendo del destino deseado para la fracción biodegradable, la matriz permite definir las líneas de gestión (sucesión de etapas) que harán posible dicho uso. En las siguientes fases del proyecto se desarrollará un catálogo que englobe toda la información necesaria para facilitar la elección de la mejor alternativa en cada etapa.

Palabras Clave: *Compatibilidad, residuo municipal, matriz, tratamiento, residuo biodegradable*

1. Introducción

Dentro de la categoría de los residuos municipales, los biorresiduos son una de las fracciones más problemáticas a nivel mundial, por el gran volumen generado y su potencial contaminante al biodegradarse en el terreno. Tanto es así, que las políticas de gestión integral de residuos incorporan estrategias específicas para su gestión y desvío de las grandes cantidades que se llevan a vertedero en la actualidad. Es por ello de gran interés la creación de una herramienta que facilite a usuarios de diferentes sectores y poblaciones, la consideración de todos sus criterios para la elección de la alternativa que mejor se ajuste a su situación. En esta primera fase del presente proyecto se ha comenzado creando una matriz de compatibilidad que engloba todas las etapas del proceso de gestión de los biorresiduos, permitiendo identificar las líneas de gestión posibles en cada caso y la compatibilidad existente entre las alternativas de cada etapa. La metodología de funcionamiento de la matriz, las alternativas que se tienen en cuenta y el grado de compatibilidad entre las mismas, se presentan a continuación.

2. Matriz de compatibilidad propuesta

2.1. Descripción

Para la creación de esta matriz de compatibilidad, **Tabla**, se ha tenido en cuenta la estructura seguida por Max Maurer [1]. Esta estructura está formada por una serie de etapas dentro de las cuales se disponen las diferentes alternativas existentes. El usuario deberá escoger una alternativa de cada una de las etapas, una vez escogida cada alternativa, deberá comprobar la compatibilidad con las alternativas escogidas anteriormente, consiguiendo de esta forma que el conjunto de la línea sea viable y cada etapa sea compatible con las etapas sucesivas. Este conjunto de elecciones dentro de cada etapa conformará la totalidad del proceso de gestión. Las etapas consideradas dentro de la matriz son: recogida, pretratamiento I,

pretratamiento II, pretratamiento III, tratamiento y aplicación final.

2.2 Etapas de la línea de gestión

A continuación, en la **Tabla 18**,

Tabla ,

Tabla , y **Tabla ,** se muestra el conjunto de etapas incluidas en la matriz y sus respectivas alternativas, así como, una breve descripción de cada una de ellas.

Tabla 18. Alternativas de la etapa de recogida

Etapa	Alternativas	Descripción
Recogida	En masa	Todas las fracciones se recogen de forma conjunta.
	Fracción Orgánica + Envases Ligeros + Fracción Resto	Las tres fracciones mencionadas se recogen de forma conjunta.
	Fracción Orgánica + Fracción Resto	La fracción orgánica se recoge junto a la fracción resto.
	Fracción Orgánica	Se realiza la recogida separada en origen de la fracción orgánica.

Tabla 2. Alternativas de la etapa de pretratamiento

Etapa	Alternativas	Descripción
Pretratamiento I	Triaje/ Separación de Materia Orgánica/ Eliminación de metales	Separación de impropios de la materia orgánica.
Pretratamiento II	Trituración/ Homogeneización/ Acondicionamiento	Acondicionamiento mediante diferentes procesos para la preparación del residuo.
	Mezcla con Fracción Vegetal	Mezcla de la materia orgánica con fracción vegetal para aportar porosidad y estructura.
Pretratamiento III	Pulping/ Cribado	Proceso de aporte de humedad, trituración y cribado.
	Térmico	Pretratamiento térmico en un amplio rango de temperaturas (50-250°C), que permite la solubilización de compuestos orgánicos [2].
	Biológico	Pretratamiento biológico aerobio (pre-compostaje).
	Secado/ Pelletización	Eliminación de la humedad de la fracción orgánica y formación de pellets.

Tabla 3. Alternativas de la etapa de tratamiento

Etapa	Alternativas	Descripción
Tratamiento	Compostaje	Tratamiento biológico aerobio para la degradación de la materia orgánica.

	Vermicompostaje	Tratamiento biológico aerobio de degradación de la materia orgánica por la interacción de microorganismos y lombrices bajo condiciones controladas [3].
	Digestión Anaerobia Seca	Aceleración artificial del proceso biológico de degradación de los residuos en ausencia de oxígeno con una concentración de sólidos totales 20-40% [4].
	Digestión Anaerobia Húmeda	Aceleración artificial del proceso biológico de degradación de los residuos en ausencia de oxígeno con una concentración de sólidos totales <15% [4].
	Incineración	Tratamiento térmico en presencia de oxígeno para la descomposición de la biomasa con obtención de energía.
	Gasificación	Tratamiento térmico en bajas concentraciones de oxígeno para la conversión de la materia carbonácea en gas [3].
	Pirólisis	Tratamiento térmico para la descomposición de la biomasa por calor, en ausencia de oxígeno [3].
	Vertedero	Disposición de los residuos en relleno sanitario.

Tabla 4. Alternativas de la etapa de aplicación

Etapa	Alternativas	Descripción
Aplicación	Agricultura	Aplicación del producto obtenido en cultivos, para el mantenimiento de la fertilidad del suelo y su actividad biológica [5].
	Recuperación de suelos degradados	Utilización del producto obtenido para mejorar las propiedades físicas y químicas de la tierra vegetal [5].
	Recuperación paisajística	Aplicación del producto directamente o en mezcla con tierra vegetal, para la recuperación de espacios verdes.
	Céspedes deportivos	Aplicación del producto para el mantenimiento de céspedes deportivos.
	Generación de energía	Generación energética a través del tratamiento térmico o biológico anaerobio, o mediante la extracción de biogás de rellenos sanitarios.

2.2. Definición de la compatibilidad

Para representar la compatibilidad entre las diferentes alternativas se ha seguido una nomenclatura numérica sencilla, **Tabla**, que define el grado de compatibilidad entre las alternativas elegidas en las distintas etapas. La opción más favorable siempre será la que se corresponda con un grado de compatibilidad de 1.0, mientras que si la compatibilidad es 0 las alternativas consideradas no podrán formar parte de un mismo sistema de gestión. Las alternativas con un grado de compatibilidad de 0.5, podrán llevarse a cabo conjuntamente, pero no se tratará de la opción más adecuada.

Tabla 5. Grados de compatibilidad

Valor Numérico	Grado de Compatibilidad	Descripción
1.0	Totalmente Compatible	Las alternativas se complementan adecuadamente.
0.5	Moderadamente Compatible	La sucesión de alternativas no es la más adecuada, pero es posible incluirlas en la misma línea de gestión.
0	No Compatible	Imposibilidad de realizar las alternativas en el mismo proceso de gestión.

2.3. Utilización de la matriz

A continuación, en la **Tabla** , se muestra el conjunto de la matriz de compatibilidad. Para definir el sistema de gestión a través de la misma, se deberá seguir la siguiente metodología.

La entrada a la matriz se realiza con la utilidad final principal deseada para los biorresiduos una vez tratados, permitiendo de esta forma la búsqueda de sistemas de gestión que fomenten el aprovechamiento de los residuos y la obtención de beneficios tanto ambientales como económicos y sociales en el entorno. Dentro de esta categoría las alternativas que se proponen son: agricultura, recuperación de suelos degradados, jardinería, recuperación paisajística, céspedes deportivos y generación de energía [5].

A continuación, se define el tipo de servicio de recogida actual del municipio o aquel que se vaya a implantar en el nuevo sistema (según el tipo de aplicación elegido en la etapa anterior se puede determinar qué opciones de recogida son compatibles con dicha aplicación y cuáles no). Las alternativas de recogida se definen según las fracciones que se recojan junto a la fracción orgánica y éstas pueden ser: en masa, fracción orgánica + envases ligeros + fracción resto, fracción orgánica + fracción resto y sólo fracción orgánica [6].

Una vez definida la aplicación final y el tipo de recogida, se comienza con la elección del tipo de tratamiento. Al igual que en las etapas anteriores, una vez escogido el sistema de recogida se podrá ver el grado de compatibilidad del mismo con las alternativas de tratamiento. Dentro de estas alternativas se puede elegir entre: compostaje, vermicompostaje, digestión anaerobia seca, digestión anaerobia húmeda, incineración, gasificación, pirólisis y vertedero.

Por último, se determinarán los pretratamientos necesarios en las etapas I, II y III, los cuales quedan definidos directamente por la compatibilidad con el tratamiento escogido (sólo una alternativa dentro de cada etapa será compatible con el tratamiento elegido). Tan sólo en dos casos dentro de la etapa III (que se definen en la matriz con un asterisco) será necesario elegir entre las alternativas de pretratamiento.

Tabla 6. Matriz de compatibilidad

		TIPO DE RECOGIDA				TRATAMIENTO								P.I	P.II	P.III						
		En masa	FO+Envases Ligeros +FR	FO+FR	FO	Compostaje	Vermicompostaje	Digestión anaerobia seca	Digestión anaerobia húmeda	Incineración	Gasificación	Pirólisis	Vertedero	Triaje/separación M.O./eliminación metales	Trituración/Homogeneización/Acondicionamiento	Mezcla con fracción vegetal	Pulping (humedad 10-15% ST)/cribado	Térmico	Biológico (pre-compostaje)	Secado y pelletización		
APLICACIONES	Agricultura	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0									
	Recuperación suelos degradados	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0									
	Jardinería	0	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0									
	Restauración paisajística	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0									
	Céspedes deportivos	0	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0									
	Generación de energía	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									
TIPO DE	En masa					0.5	0	0.5	0	1.0	1.0	1.0	1.0									
	FO+Envases Ligeros+FR					0.5	0	0.5	0	1.0	1.0	1.0	1.0									
	FO+FR					0.5	0	0.5	0	1.0	1.0	1.0	1.0									
	FO					1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0.5									
TRATAMIENTO	Compostaje													1.0	0	1.0	0	0	0	0	0	0
	Vermicompostaje													1.0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	
	Digestión anaerobia seca													1.0	1.0	0	0	1.0*	1.0*	0		
	Digestión anaerobia húmeda													1.0	1.0	0	1.0	0	0	0		

Incineración		1.0	0	0	0	0	0	1.0
Gasificación		1.0	0	0	0	0	0	1.0
Pirólisis		1.0	0	0	0	0	0	1.0
Vertedero		1.0	1.0	0	0	0.5*	0.5*	0

3. Casos de ejemplo

A continuación se describen dos casos de ejemplo de utilización de la matriz para diferentes situaciones.

En el *primer ejemplo* se plantea la situación de un municipio con más de 500.000 habitantes y recogida separada de la fracción orgánica, interesado en la valorización energética de los biorresiduos, que cuenta con un alto nivel económico y personal técnico cualificado. Dado que el objetivo principal es la generación de energía, entrando a la matriz se puede comprobar que es perfectamente compatible con el tipo de recogida que se tiene actualmente. Habiendo fijado esas dos etapas, dentro de la fila de recogida de fracción orgánica, se observa que sólo hay dos alternativas de tratamiento que son adecuadas para dicha situación, ya que tanto el tratamiento por compostaje, como el de vermicompostaje no serían compatibles para la generación de energía. Se decide seleccionar el tratamiento de digestión anaerobia seca. Siguiendo la matriz, será necesario realizar un pretratamiento primario de triaje/separación/eliminación de metales y un pretratamiento secundario de trituración/homogeneización/acondicionamiento. En cuanto al pretratamiento terciario se observa que existen dos opciones compatibles, pretratamiento térmico y biológico. Suponiendo que se opta por el pretratamiento biológico, la línea de gestión obtenida sería la mostrada en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Línea de gestión del ejemplo 1

Aplicación	Recogida	Tratamiento	P.I	P.II	P.III
Generación de energía	Fracción orgánica separada	Digestión anaerobia seca	Triaje/separación M.O./eliminación metales	Trituración/ Homogeneización/ Acondicionamiento	Biológico

En el *segundo ejemplo* se plantea la situación de un municipio de menos de 1.000 habitantes, con recogida en masa de los residuos. En este caso, el municipio cuenta con un nivel económico medio y su principal actividad laboral es la agricultura. Teniendo como objetivo principal la aplicación del residuo tratado en cultivos agrícolas, se comprueba en la matriz que sería conveniente modificar el sistema de recogida actual para conseguir unos mejores resultados en la compatibilidad de la línea de gestión y, por consiguiente, en la aplicación final deseada. Entre las alternativas de tratamiento compatibles se selecciona compostaje, por lo que quedan directamente definidos los pretratamientos necesarios (en este caso no sería necesario un pretratamiento III). Con esta selección, la línea de gestión quedaría definida como se muestra en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Línea de gestión del ejemplo 2

Aplicación	Recogida	Tratamiento	P.I	P.II
Agricultura	En masa	Compostaje	Triaje/separación M.O./eliminación metales	Mezcla con fracción vegetal

4. Conclusiones y trabajo futuro

Se ha comprobado cómo esta primera parte de la herramienta es útil para definir líneas de gestión adecuadas según el destino final deseado para la fracción orgánica. El método puede resultar de interés tanto para fines educativos, como para apoyo a la toma de decisiones de técnicos y políticos no especializados. Como apoyo en este sentido se pretende incluir en la matriz el factor “número de habitantes”, ya que se trata de un condicionante importante para la implantación de algunos de los sistemas de tratamiento propuestos.

En una próxima fase, se evaluará para cada alternativa una serie de indicadores ambientales, técnicos, económicos y sociales, que servirán de ayuda en la toma de decisiones, de acuerdo a los criterios deseados y a las condiciones y limitaciones del entorno. El resultado final será un catálogo-guía que permita la selección más adecuada de alternativas para la gestión de biorresiduos. En este catálogo se presentarán fichas técnicas descriptivas de cada alternativa, en las que se incorporará su valoración de acuerdo a los indicadores mencionados anteriormente, con el fin de facilitar lo máximo posible la elección en cada caso.

Agradecimientos

El proyecto PROBIORES: Producción de biogás a partir de residuos: tecnologías y estrategias de gestión ha recibido financiación de SODERCAN, Sociedad para el Desarrollo de Cantabria (España) / Fondos operativos FEDER a través de su programa de Proyectos Puente 2017.

Los autores agradecen además el apoyo recibido por el Programa Iberoamericano de Ciencias y Tecnologías para el Desarrollo, CYTED por su apoyo RED 715RT0494- Red Iberoamericana en Gestión y Aprovechamiento de Residuos –REDIGAR.

Referencias Bibliográficas

- [1] Maurer M., Bufardi A., Tilley E., Zurbrügg C., and Truffer B., “A compatibility-based procedure designed to generate potential sanitation system alternatives,” *J. Environ. Manage.*, vol. 104, pp. 51–61, 2012.
- [2] Ariunbaatar J., Panico A., Esposito G., Pirozzi F., and Lens P. N. L., “Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste,” *Appl. Energy*, vol. 123, pp. 143–156, 2014.
- [3] Lohri C. R., Diener S., Zabaleta I., Mertenat A., and Zurbrügg C., “Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings,” *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, vol. 16, no. 1, pp. 81–130, 2017.
- [4] Angelonidi E. and Smith S. R., “A comparison of wet and dry anaerobic digestion processes for the treatment of municipal solid waste and food waste,” *Water Environ. J.*, vol. 29, no. 4, pp. 549–557, 2015.
- [5] MAGRAMA (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medioambiente), “Gestión de biorresiduos de competencia municipal - Guía para la implantación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica,” p. 343, 2010.
- [6] Gallardo A., Prades M., Bovea M. D., Colomer F. J., “Separate Collection Systems for Urban Waste (UW),” *Manag. Org. Waste*, pp. 978-953-307-925–7, 2012.

Producción de hidrógeno a partir de pulpa de café a través de la fermentación oscura

¹Raciel Miñón Fuentes, ²Oscar Aguilar Juárez

¹Estudiante Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Av. de los Normalistas #800, Col. Colinas de la Normal, C.P. 44270, Teléfono: 8116848305, e-mail: racielmf@gmail.com. ²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

Resumen

El hidrógeno es un combustible de interés económico y energético; su uso en la generación eléctrica es de importancia para la comunidad científica, por lo que existen diversas áreas de investigación en la producción de H_2 a través del uso de desechos agroindustriales, que permitan disminuir los costos asociados a las materias primas, así como los costos operativos. El objetivo de esta investigación es determinar el rendimiento en la producción de biohidrógeno a partir del desecho sólido de la pulpa de café (*Coffea arabica*) en una fermentación oscura. El alcance del proyecto engloba la caracterización fisicoquímica de la pulpa de café (P.C.) y su fermentación en un reactor intermitente. Con base en los resultados del estudio se determinó un índice de biodegradabilidad de 0.91 (DBO_5/DQO), un rendimiento de 49.2 [$mLH_2/g DQO_{inicial}$], una producción por kilogramo de pulpa fresca de 4.18 [$L H_2/kg P.C.$], ubicando a la densidad energética para el biohidrógeno a partir de P.C. en 0.045 [$MJ/kg P.C.$]. Los datos experimentales de volumen de H_2 contra el tiempo se usaron para ajustar un modelo de Gompertz modificado, arrojando 585.00 (mL) para H_{max} , 4.1 ($mLH_2/g DQO-h$) para R_{max} y una fase lag (λ) de 92.70 (h). El rendimiento de H_2 obtenido a partir de P.C. es comparable con lo reportado para sustratos complejos como las vinazas tequileras (26.6 a 92 $mLH_2/g DQO_{inicial}$), por lo que se propone incorporar a la fermentación oscura como proceso previo a la producción de biogás en el tratamiento de la P.C.

Palabras Clave: Biohidrógeno, Fermentación Oscura, Pulpa de Café, Residuo sólido.

1. Introducción

La generación de energía es el principal emisor de Gases de Efecto Invernadero (GEI) con un 35% del total de los GEI de origen antropogénico [1], por ello se busca desarrollar tecnologías sustentables que permitan disminuir dichas emisiones a través del uso de energías renovables. El hidrógeno tiene potencial como medio de almacenamiento para la producción de energía eléctrica [2] por su alta densidad energética (120 MJ/kg) [3], por ello se busca desarrollar procesos que no solo permitan la obtención del H_2 , si no que también aprovechen materias primas como los desechos agroindustriales (biomasa) que permitan posicionar al hidrógeno como una fuente de energía renovable.

La pulpa de café (P.C.) es un desecho agroindustrial generado en el procesamiento de la cereza de café (método húmedo), representa el 43.58% del peso del fruto fresco [4]. En México se estimó para el periodo del 2007 a 2016, una producción anual de 1,274,333 toneladas de café, con base en datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), generando cantidades significativas de P.C. en forma de residuo sólido. Éste es desechado o utilizado como abono tras un proceso de compostaje, no obstante se tiene reportado su uso en la producción de bioetanol y biogás [4], por lo que la fermentación oscura puede ser una opción para la obtención de H_2 , producto de gran valor económico y energético.

2. Metodología

La experimentación se dividió en dos fases, en la primera se realizó el pretratamiento y caracterización fisicoquímica de la muestra, la segunda consistió en la fermentación de la P.C. en un reactor por lotes. La

muestra de pulpa de café corresponde a la variedad arábica (*Coffea arabica*) de la zona cafetalera de Coatepec, Veracruz, México.

2.1 Pretratamiento y caracterización fisicoquímica

El pretratamiento mecánico consistió en una maceración y posterior filtración con una malla del número 5 (4 mm). La muestra tamizada se caracterizó con base en las normas y métodos reportados en la Tabla 1.

Tabla 1. Metodología caracterización fisicoquímica de la pulpa de café

Parámetro	Unidad	Norma/Método
Sólidos totales (ST)	[mg/L]	NOM-AA-034-SCFI-2015
Sólidos totales volátiles (STV)	[mg/L]	NOM-AA-034-SCFI-2015
Demanda química de oxígeno (DQO)	[mg O ₂ /L]	HACH 8000
Nitrógeno Total	[mg N/L]	HACH TNT 828
Azúcares totales	[mg Dextrosa/L]	DuBois et al., 1951
Carbono total	[mg C/L]	5310 B (Shimadzu Corporation)
Fenoles totales	[mg ácido gálico/L]	Folin Ciocalteu

2.1 Fermentación oscura

La P.C. se fermentó en un reactor marca Applikon Biotechnology de 3 L manteniendo una agitación constante (250 r/min), una temperatura de 35.5°C y un pH de 5.5, el nivel operativo del reactor fue de 2 litros, en los cuales se disolvieron 140 gramos de la muestra pretratada de P.C., lo que equivale a una concentración de 5.94 ± 0.4 [g DQO/L] en el reactor. Adicional se agregó una solución de nutrientes con un medio mineral y un reactivo buffer MES (ácido 2-n-morfolino etanosulfónico), la Tabla 2 muestra sus concentraciones.

Tabla 2. Medio mineral con nutrientes y MES

Reactivo	Concentración	Unidad
NH ₄ Cl	41.6	[g/L]
MES	19.52	[g/L]
MgCl ₂ •6H ₂ O	2.0	[g/L]
FeSO ₄ •7H ₂ O	1.6	[g/L]
MnCl ₂ •4H ₂ O	0.040	[g/L]
KI	0.040	[g/L]

La cinética de producción de hidrógeno se estimó de acuerdo con el modelo de Gompertz modificado expresado en función de los parámetros R_{max} , H_{max} , y λ (fase lag o de latencia), así como del tiempo de fermentación. La expresión matemática del modelo se encuentra representado por la ecuación (1) a continuación:

$$H = H_{max} \cdot \exp \left\{ -\exp \left[\frac{R_{max} \cdot e}{H_{max}} \cdot (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (1)$$

Donde:

$H_{\max}$: es la producción máxima de hidrógeno en términos de mL

$R_{\max}$: es la velocidad de producción de hidrógeno en mL/h

e: es el número de Euler (2.7183)

λ : es la fase de latencia en horas

t: es el tiempo de fermentación

El inóculo utilizado en la fermentación oscura fue obtenido de un lodo anaerobio de una planta de tratamiento de vinazas tequileras, al cual se realizó un tratamiento térmico con el fin de eliminar la presencia de bacterias metanogénicas, con base en la metodología expuesta por Moreno y colaboradores [5].

3. Resultados y discusión

3.1 Pretratamiento y caracterización fisicoquímica

Posterior al pretratamiento de la muestra, su densidad se estimó en 1.04 (kg/L), los resultados de la caracterización fisicoquímica se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Metodología caracterización fisicoquímica P.C.

Parámetro	Valor	Unidad
ST	66,533.33 $\pm$ 808.98	[mg/L]
STV	58,100.00 $\pm$ 938.68	[mg/L]
DQO	88,333.33 $\pm$ 4,401.45	[mg O ₂ /L]
Nitrógeno total	1,205.33 $\pm$ 133.05	[mg N/L]
Azúcares totales	19,688.33 $\pm$ 793.29	[mg Dextrosa/L]
Carbono total	40,800.00	[mg C/L]
Fenoles totales	0.305 $\pm$ 0.05	[mg ácido gálico/L]
pH	4.16 $\pm$ 0.05	-

De acuerdo a los resultados de la Tabla 3, la concentración de ST de la P.C. se encuentra por arriba del rango reportado en la producción de biohidrógeno por Ramos y colaboradores de 1.3 a 50 [g/L] [6], por lo que la interacción entre el inóculo y el sustrato se podría ver afectada de manera negativa reduciendo la producción de hidrógeno. El contenido de materia volátil representa el 88% de los ST, en lo que respecta a la DQO su concentración es menor a la contenida en el agua residual de la etapa de fermentación del proceso de producción húmedo de café reportado en 77,875.00 $\pm$ 5.31 [mg/L] [7], lo cual se puede atribuir a que gran parte de la DQO se puede presentar de manera soluble.

La relación carbono/nitrógeno, se estimó en 30.85:1, ésta relación es menor al límite reportado por Varnero y colaboradores de 35:1 [8], por arriba de dicha relación la degradación de la materia orgánica ocurre de una manera más lenta debido a la falta de nitrógeno en el metabolismo y crecimiento bacteriano (inóculo). Se tiene reportado una producción mínima de hidrógeno con concentraciones de 5 [g/L] de vainillina y siringaldehído [9], en el caso de este trabajo la concentración de fenoles totales es de 0.305 $\pm$ 0.05 [mg ácido gálico/L], ubicándose por debajo de las concentraciones inhibitoras de los fenoles en la producción de hidrógeno, por lo que no debería existir una reducción en la producción de hidrógeno debido al contenido

de compuestos como fenólicos en la P.C.. Por último, el contenido de azúcares totales para la P.C. corresponde a un porcentaje entre 2.05 a 2.23% base seca, aunque su porcentaje es bajo se espera que durante la hidrólisis de la materia orgánica se puedan aumentar la concentración de azúcares e incrementar la producción de hidrógeno.

3.1 Fermentación oscura

El volumen de hidrógeno acumulado en (mL) fue registrado y graficado en función del tiempo para la determinación de los parámetros del modelo de Gompertz modificado, la Figura 1 muestra dichos datos experimentales graficados.

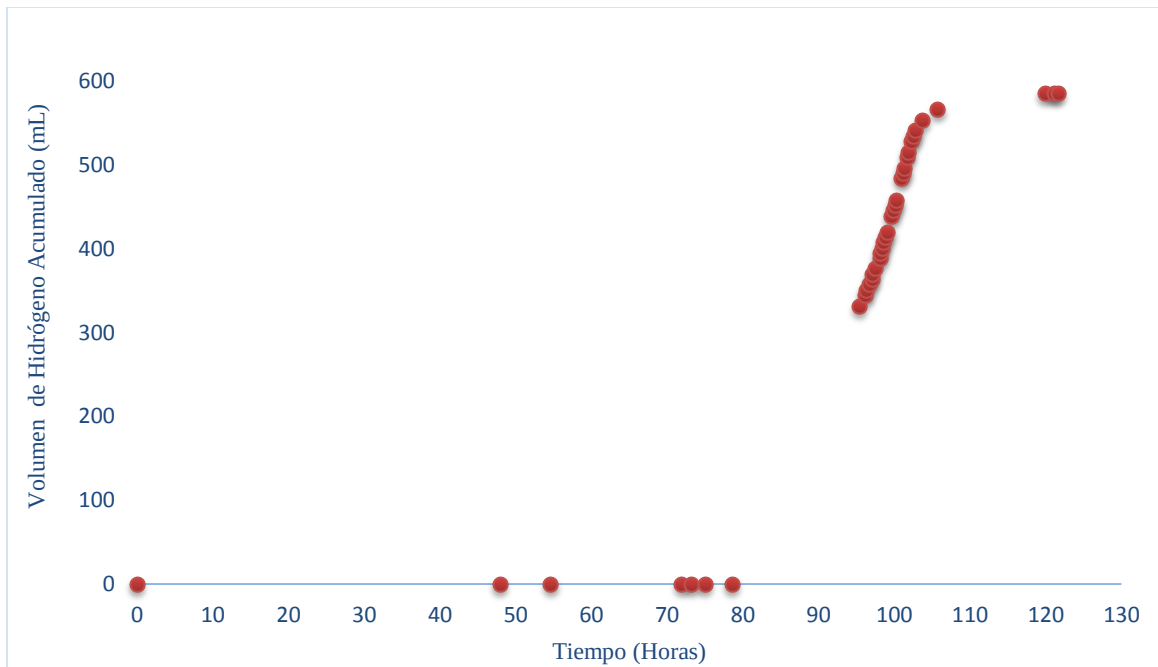


Figura 1. Producción de hidrógeno en función del tiempo

$H_{\max}$ y λ se determinaron a través de la Figura 1, en lo que respecta a $R_{\max}$ fue determinado mediante un método de mínimos cuadrados minimizando el error a través del uso de la aplicación de Solver de Excel. Los parámetros del modelo Gompertz modificado para este trabajo se reportan en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros modelo Gompertz modificado fermentación P.C.

Parámetro	Valor	Unidad
$H_{\max}$	585.00	mL
$R_{\max}$	48.92	mL/h
λ	92.70	h

La Figura 2, muestra el modelo Gompertz modificado graficado con los parámetros de la Tabla 4, así como los datos experimentales de la Figura 1, donde se determinó un coeficiente R^2 para el ajuste del modelo de 0.9955.

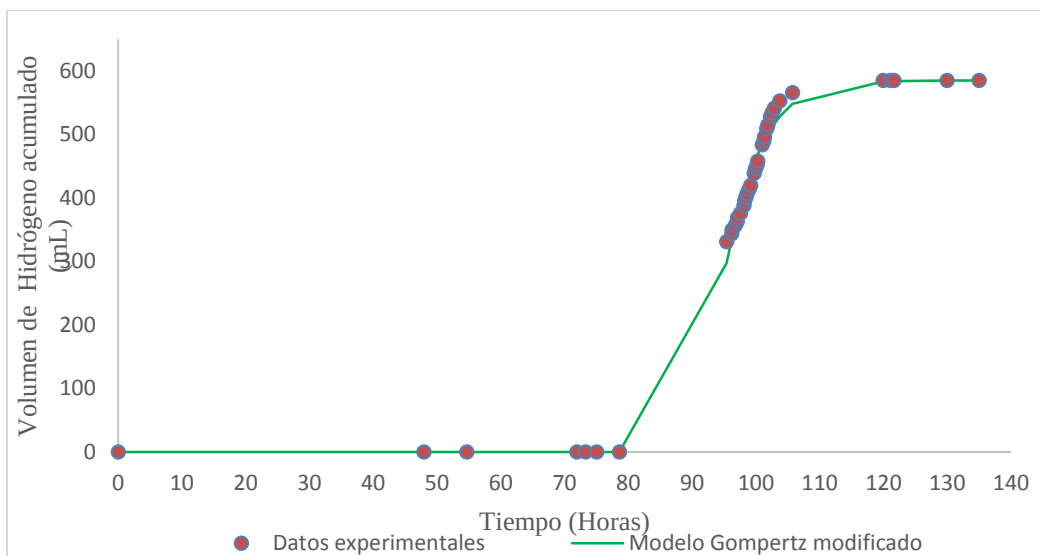


Figura 2. Modelo Gompertz modificado fermentación P.C.

La Tabla 5 muestra el rendimiento en la producción de hidrógeno, $R_{\max}$ y la fase lag, determinados en este trabajo, así como los reportados para vinazas tequileras con y sin tratamiento para eliminación de compuestos fenólicos, para su comparación con los resultados de éste estudio.

Tabla 5. Parámetros modelo Gompertz modificado y rendimientos producción de H_2

	Rendimiento	$R_{\max}$	Fase lag
Sustrato	[mLH ₂ /g DQO]	[mLH ₂ /g DQO-h]	[h]
VAC	26.6	4.6	28
VASC	41	6.4	28
P.C.	49.2	4.1	92.7
VAC/R	63.6	4.7	9
VASC/R	92	5.7	8

VAC: Vinazas de agave con cocción, VASC: Vinazas de agave sin cocción, P.C.: Pulpa de Café, R: Tratamiento con resina [10].

El rendimiento en la producción de hidrógeno para la P.C. es comparable a los rendimientos determinados para las vinazas tequileras [10], en lo que respecta a la velocidad de producción de hidrogeno ($R_{\max}$), el valor obtenido para la P.C. se encuentra dentro del rango de reportado para las vinazas (4.6 a 6.4 mLH₂/g DQO-h). La composición del gas generado durante la fermentación oscura se analizó de manera cualitativa en un cromatógrafo de gases PerkinElmer Clarus 580, en donde se identificó la presencia de hidrógeno y dióxido de carbono, con lo cual se descartó la presencia de bacterias metanogénicas en el inóculo tras el tratamiento térmico aplicado al lodo anaerobio utilizado en la fermentación de la P.C. En cuanto a la densidad energética, con base al rendimiento de producción de hidrógeno obtenido en este trabajo y el poder calorífico del mismo, se estimó la densidad energética del H₂ generado a partir de la P.C en 0.045 [MJ/kg de P.C.].

4. Conclusiones

La pulpa de café es un sustrato con un alto contenido de ST y DQO, no obstante, puede ser degradada a través de la fermentación oscura obteniendo un rendimiento en la producción de hidrógeno comparable con lo reportado para sustratos complejos como las vinazas tequileras. En el proceso fermentativo, se observó una fase lag alta misma que puede ser atribuida al pH ácido con el que se realizó la fermentación (pH 5.5), no

obstante, se observó una reducción en la DQO del 13.58%, por lo que la fermentación oscura podría incorporarse como un pretratamiento a la P.C. durante la producción de biogás (metano), generando así dos productos de valor económico y energético a partir de un desecho agroindustrial.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento al proyecto “Utilización de efluentes agroindustriales para la producción continua de acarreadores de energía sustentable: Un estudio de prospección y optimización”, clave PDCPN 2015_1214, del cual forma parte este trabajo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bruckner T., Bashmakov I. A., Mulugetta Y., Chum H., de la Vega Navarro A., Edmonds J., Faaij A., Fungtammasan B., Garg A., Hertwich E., Honnery D., Infield D., Kainuma M., S. Khennas, Kim S., Nimir H. B., Riahi K., Strachan N., Wiser R., y Zhang X., (2014) *Energy Systems. En: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [2] Sims R.E.H., Schock R.N., Adegbulugbe A., Fenhann J., Konstantinaviciute I., Moomaw W., Nimir H.B., Schlamadinger B., Torres-Martínez J., Turner C., Uchiyama Y., Vuori S.J.V., Wamukonya N., Zhang X., 2007: *Energy supply. En Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA..
- [3] Buitrón, G. y Carvajal, C. (2009), *Producción de hidrógeno a Partir de aguas residuales*, *Revista.Unam.Mx*, vol. 10, p. 9, ISSN:1067-6079
- [4] Rodríguez, N., Zambrano, D.,(2010), *Los subproductos del café: fuente de energía renovable*. CENICAFÉ. En línea < <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>>Av. *Técnicos Cenicafé*, Recuperado el 01/02/2018.
- [5] Moreno, I., Moreno, G., Kumar,G., y Buitrón, G., (2014), “Biohydrogen production from industrial wastewaters,” *Water Sci. Technol.*, vol. 71, no. 1, p. 105.
- [6] Ramos, C., Buitrón, G., Moreno-Andrade, I. y Chamy, R. (2012), “Effect of the initial total solids concentration and initial pH on the bio-hydrogen production from cafeteria food waste,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 18, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.06.051.
- [7] Tesis de grado: Lepe, D. (2017), *Evaluación de la actividad metanogénica en el tratamiento de aguas residuales del proceso húmedo del café*, (Maestría). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Guadalajara, Jalisco.
- [8] Varnero, M. (2011). *Manual de Biogas*. FAO. En línea <<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>> Recuperado el 10/02/2014.
- [9] Sharma, P y Melkania, U. (2017), *Impact of furan derivatives and phenolic compounds on hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste using co-culture of Enterobacter*

aerogenes and *E. coli*, *Bioresour. Technol.*, vol. 239, pp. 49–56.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.113>

- [10] Tesis de grado: Rodríguez, E. (2017), *Determinación de compuestos con potencial inhibidor y/o tóxico para la producción de biohidrógeno en vinazas tequileras*, (Maestría). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Guadalajara, Jalisco.

SECCION 5

RELLENOS

SANITARIOS (RESA)

Uso de áridos reciclados en un depósito controlado de residuos sólidos urbanos

¹Joan Esteban Altabella, ¹Francisco J. Colomer Mendoza, ¹Antonio Gallardo Izquierdo, ¹Natalia Edo-Alcón

¹ INGRES, Ingeniería de Residuos. Depto. Ingeniería Mecánica y Construcción. Universidad Jaume I, Avda.

Vicent Sos Baynat, s/n (12071), Castellón, España.

altabell@uji.es

Resumen

En España, como ocurre en el resto de los países de Europa, los residuos sólidos urbanos se someten a operaciones de tratamiento para recuperar las fracciones reciclables y destinar a eliminación o valorización energética exclusivamente los rechazos generados. A pesar de ello la cantidad de residuos vertidos finalmente sigue superando el 50% del total generado, por lo que el número de depósitos controlados o rellenos sanitarios existentes continúa siendo muy elevado. Uno de los inconvenientes asociados a este tipo de instalaciones es que su operación conlleva una elevada demanda de áridos o material granulado que proceden habitualmente de la excavación del vaso y/o de canteras cercanas, por lo que se contamina una materia prima que podría estar disponible para otros usos. En España, el descenso de la construcción durante esta última década a causa de la crisis económica ha ocasionado que el tratamiento aplicado a los residuos de construcción y demolición genere una cantidad de áridos reciclados que finalmente se acumulan en las plantas en busca de una nueva salida comercial. Con el fin de potenciar la salida de estas fracciones recicladas y reducir en la medida de lo posible la contaminación de una materia prima natural resulta interesante evaluar la posibilidad de utilizar árido reciclado en los depósitos controlados.

Palabras Clave: *depósito controlado, relleno sanitario, áridos reciclados, valorización, LABWASTE*

1. 1. Introducción

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) continúa siendo muy elevada en la mayoría de países del mundo. Este tipo de residuos debe gestionarse adecuadamente para reducir el impacto ambiental que puede generar su vertido de forma incontrolada. Por ello generalmente se crean marcos legislativos específicos que tratan de regular estas gestiones. En el caso de Europa, la legislación existente en esta materia trata de priorizar la inclusión de medidas destinadas a potenciar por una parte, la reducción de la generación de residuos mediante la recogida separada en origen y por otra, la reducción de la cantidad de residuos que finalmente se vierten en depósitos, aplicando operaciones de tratamiento previo. A pesar de ello, en España la generación de residuos se sitúa en torno a 21 millones de toneladas anuales [1], de las cuales aproximadamente el 50% se eliminan en vertedero, por lo que el número de depósitos controlados (rellenos sanitarios) existentes continúa siendo muy elevado [2]. Uno de los inconvenientes asociados a este tipo de instalaciones, ya sean de residuos peligrosos o no, es que durante toda la vida útil demandan una elevada cantidad de áridos o material granulado que proceden generalmente de la excavación o de canteras, por lo que se contamina una materia prima que podría estar disponible para otros usos.

En total se estima que la demanda de áridos en estas instalaciones representa aproximadamente el 20% de la capacidad volumétrica disponible [3], aunque esta demanda depende, entre otros aspectos, de las dimensiones del vaso, de la topografía de la zona, de las condiciones climatológicas y del tipo de materiales utilizados en las distintas capas. Para poder estimar estas demandas se puede utilizar LABWASTE [4], una herramienta de cálculo que estima la cantidad de áridos necesarios y que podrían ser sustituidos por

fracciones reciclables en un depósito controlado cualquiera. Esta herramienta calcula los áridos utilizados para las capas de drenaje de lixiviados, de gases y de pluviales, para el relleno de zanjas en los sistemas de evacuación de lixiviados, para las capas de cobertura diaria, para los sellados temporales y definitivos, para los diques y para la fabricación del hormigón en masa utilizado en la construcción de los canales de evacuación de pluviales y de las zapatas de los cerramientos perimetrales [5].

El objetivo de este estudio es estimar, para un depósito controlado existente, la demanda de áridos y el coste que supone su adquisición. Para ello se plantean varios escenarios que consideran el uso de los excedentes de la excavación o la adquisición de áridos procedentes de la planta de residuos de construcción y demolición (RCD) y/o de la cantera más cercana.

2. Metodología

En primer lugar, se ha seleccionado un depósito controlado de España. A continuación, se ha estimado la demanda de áridos en esta instalación mediante su simulación en la herramienta de cálculo LABWASTE [5]. Para ello se han seleccionado las variables que deben introducirse en los distintos apartados de la herramienta y a continuación se ha obtenido el volumen de áridos necesarios para las distintas aplicaciones (Figura 18).



Figura 18. Principales aplicaciones de áridos en un depósito controlado.

Finalmente, se han comparado los costes de adquisición del volumen de áridos planteando cuatro escenarios posibles.

2.1 Depósito controlado simulado

- **Ubicación:** el depósito controlado se sitúa sobre dos parcelas del área “Lo Pou de la Figuera” del término municipal de Cervera del Maestre [6]. Esta instalación linda con tierras de cultivo y se sitúa a 10 km de la costa y 12 km del parque natural más próximo. La presencia de laderas en esta zona es despreciable, aunque se ha considerado la construcción de un canal perimetral de evacuación de pluviales porque la

ligera pendiente de las parcelas lindantes puede generar la entrada de agua de lluvia por escorrentía (Figura 19).



Figura 19. Ubicación del depósito controlado.

- **Vaso de vertido:** el vaso de vertido se extiende sobre un área aproximada de 4.7 ha y la capacidad volumétrica neta se sitúa en torno a 747,625 m³. La explotación se ha organizado en nueve fases que han sido distribuidas en tres celdas (Figura 20). Las dos primeras celdas alcanzan una profundidad máxima de 25 m y han supuesto una excavación de 334,275 m³ y de 186,770 m³ respectivamente. Por su parte, la última celda alcanza una profundidad máxima de 20 m y ha supuesto una excavación de 117,769 m³.

El volumen de áridos extraídos en estas excavaciones y las realizadas para la construcción de los viales, la balsa y el resto de las instalaciones auxiliares, asciende a un total de 645,264 m³ [7]. De esta cantidad, 19,357 m³ han sido descartados como impropios y 26,842 m³ utilizados para las bases de regularización y terraplenes. En base a ello se estima que el volumen de áridos acopiados en la parcela alcanza los 599,065 m³.



Figura 20. Celdas del vaso de vertido.

Demanda de áridos

La demanda de áridos durante la vida útil del depósito controlado se centra en principalmente en 15 aplicaciones que pueden agruparse según pertenezcan a la fase de construcción, explotación o clausura.

Durante la fase de construcción esta demanda se centra en cinco aplicaciones:

- **Drenaje de lixiviados:** para evitar la acumulación del lixiviado generado en el fondo del vaso se ha colocado un sistema de drenaje que facilita la evacuación posterior. Este está compuesto por una capa de grava de 20-40 mm (tamaño de partícula) y 0.50 m de espesor que es sustituida por un geodren en las zonas de taludes. La superficie para esta capa se sitúa en torno 8,233 m², de los cuales 4,348 m² pertenecen a la primera celda, 2,511 m² en la segunda y los 1,374 m² a la tercera.
- **Evacuación de lixiviados:** para facilitar la extracción del lixiviado se ha colocado un sistema de evacuación que está compuesto por colectores primarios y secundarios situados bajo la capa de drenaje en forma de espina de pez. Estos discurren a través de zanjas trapezoidales de 70 cm de anchura y 90 cm de profundidad que han sido rellenadas con grava de 20-40 mm. La longitud total de zanjas se estima en 880 m, de los cuales 430 m pertenecen a la primera celda, 281 m a la segunda y los 169 restantes a la tercera.
- **Balsa de lixiviados:** para almacenar el lixiviado extraído se ha construido una balsa circular con una capacidad de 4,901 m³. La profundidad máxima es de 4 m, cuenta con una pendiente de taludes de 1V:2H y la superficie de coronación se estima en 1,831 m². Para regular la superficie y permitir poner una geomembrana se ha depositado una capa de zahorra (suelo granular) de 0-20 mm y 30 cm de espesor.
- **Evacuación de pluviales:** para evitar la entrada de agua de lluvia por escorrentía y minimizar su infiltración en la zona de vertido se han colocado dos sistemas de evacuación de pluviales. Por una parte, se ha construido un canal de 1,850 m que recorre todo el perímetro de la parcela evitando la

entrada de pluviales externas y por otra, una cuneta de 890 m que recorre todo el perímetro del vaso evitando la entrada de agua a la zona de vertido. Ambos sistemas están constituidos por una estructura de hormigón en masa que utiliza por metro cúbico aproximadamente 998 kg de arena de 0-12 mm y 730 kg de grava de 12-20 mm.

- **Cerramientos:** Para evitar la intromisión de personas y animales en la zona de vertido se han delimitado las instalaciones con cerramientos perimetrales. Estos, están compuestos por una malla metálica de simple torsión con tensores verticales cada 3 m y refuerzos cada 12 m que se han fijado por zapatas puntuales de hormigón en masa de 0,40x0,40x0,40 m. Para constituir estas zapatas se han utilizado por metro cúbico aproximadamente 998 kg de arena de 0-6 mm y 730 kg de grava de 12-20 mm. La longitud total de los cerramientos colocados se sitúa en torno a 2,882 m. Para el perímetro de la parcela se han colocado 1,850 m de vallado, para el vaso de vertido 890 m, para la balsa de lixiviados 130 m y para proteger la antorcha de biogás, los 12 m restantes.

Durante la fase de explotación esta demanda se centra en cinco aplicaciones:

- **Cobertura diaria:** para minimizar la infiltración de agua y la emisión de biogás a la atmósfera, se coloca una cobertura diaria sobre las celdas unitarias. Estas celdas tienen un espesor de 3 m y están formadas por dos balas de rechazos de 1.20 m, una cobertura de afino del bioestabilizado de 0.30 m y una última de zahorra de 0-20 mm y 0.30 m de espesor. Hasta colmatar la capacidad volumétrica disponible se estima que la superficie total de residuos a cubrir alcanzará los 249.208 m², de los cuales 146,288 m² pertenecen a la primera celda, 66,251 m² a la segunda y los 36,670 m² restantes a la tercera.
- **Sellado temporal:** para minimizar la infiltración de pluviales en las celdas que dejan de explotarse temporalmente se coloca una capa de arcilla roja de 0.30 m de espesor. La superficie de clausura sobre la cual se está colocando esta capa es de 36,485 m², de los cuales 21,217 m² pertenecen a la primera celda, 9,107 m² a la segunda y los 6,161 m² restantes a la tercera.
- **Diques de cierre:** para incrementar la estabilidad de los taludes formados a medida que continua la explotación en altura se construyen diques de cierre. Estos cuentan con 5 m de altura, 3 m de corona, 7.5 m de bermas y una pendiente interior y exterior de 1V:1,5H. Se utiliza zahorra de 0-40 mm y la longitud total se sitúa en torno a 1,292 m, de los cuales 687 m pertenecen a la primera celda, 352 m a la segunda y los 253 m restantes a la tercera.
- **Coberturas en celdas adicionales:** para poder aprovechar la capacidad volumétrica liberada tras los asentamientos se colocan celdas adicionales. Para saber cuántas podrán depositarse se ha estimado que la magnitud de los asientos que se producirán durante los 30 primeros años se situará en torno a un 15.85% [8]. La cota máxima permitida en este depósito es de 182 m, por lo tanto, si se cumple este pronóstico podrán incorporarse dos niveles de celdas adicionales que compensarán aproximadamente 5 m hasta alcanzar una cota final de 181 m. La cobertura aplicada en estas celdas será de zahorra de 0-20 mm y 0.30 m de espesor.
- **Captación de biogás:** para reducir la emisión de biogás, además de las capas de cobertura se coloca un sistema de captación de biogás. Esta instalación está compuesta por pozos de desgasificación que se distribuyen considerando un radio de acción de 30 m. Se han colocado un total de 18 pozos, 5 primarios con una longitud promedio de 37 metros y 13 secundarios de 19 m. Los primarios arrancan desde el fondo del vaso y los secundarios desde los taludes. Estos pozos están compuestos por una tubería ranurada de polietileno de alta densidad de Ø 110 mm y un conducto externo de Ø 600 mm que, a modo de capuchón, va elevándose a medida que aumenta el espesor de la columna de residuos. El espacio libre entre ambos conductos se rellena con grava de 20-40 mm.

Durante la fase de clausura esta demanda se centra en cinco aplicaciones:

- **Drenaje de gases:** para facilitar la captación del biogás generado a través de los pozos se va a depositar en la fase de clausura una capa de grava de 20-40 mm y 0.30 m de espesor que será sustituida por un geocompuesto drenante en los taludes. La superficie de clausura sobre la que se prevé poner este drenaje con material granular se sitúa en torno a los 3,607 m², de los cuales 1,507 m² pertenecen a la primera celda, 1,128 m² a la segunda y los 972 m² restantes a la tercera.
- **Sellado definitivo:** para minimizar la emisión de biogás a la atmósfera y la infiltración de pluviales se va a depositar en la fase de clausura una capa de arcilla de 0.50 m de espesor. Esta superficie se aproxima a 43,782 m², de los cuales 25,460 m² pertenecen a la primera celda, 10,928 m² a la segunda y los 7,393 m² restantes a la tercera.
- **Drenaje de pluviales:** para minimizar la infiltración de pluviales y facilitar su drenaje se va a depositar sobre la barrera impermeable de arcilla una capa de grava de 20-40 mm y 0.30 m de espesor. Esta también será sustituida por un geocompuesto drenante en los taludes, por lo que la superficie de clausura sobre la cual se prevé poner este drenaje con material granular será de 3,607 m², de los cuales 1,507 m² pertenecen a la primera celda, 1,128 m² a la segunda y los 972 m² restantes a la tercera.
- **Tierra seleccionada:** para actuar de soporte y evitar que las raíces más profundas de la vegetación incorporada durante la fase de clausura atraviesen el sellado definitivo se va a depositar una capa de tierra seleccionada de 0.80 cm de espesor. La superficie de clausura sobre la cual se prevé poner esta capa es de 43,782 m², de los cuales 25,460 m² pertenecen a la primera celda, 10,928 m² a la segunda y los 7,393 m² restantes a la tercera.
- **Tierra vegetal:** para incrementar durante los primeros años la tasa de supervivencia de la vegetación incorporada se va a depositar una capa de tierra vegetal de 0.20 cm de espesor. La superficie de clausura sobre la cual se prevé depositar esta capa es idéntica a la anterior.

2.2 Escenarios

Se plantean cuatro escenarios posibles para la adquisición de la demanda de áridos. Los dos primeros consideran que existen excedentes de la excavación y los dos restantes que no.

- **Escenario 1:** considera que los excedentes de la excavación pueden utilizarse como material de cobertura, sellados y tierras de soporte para la vegetación. Los costes de transporte en estos casos responden a la distancia existente entre la zona de acopios y la de explotación (Tabla 19). En cuanto a los costes de compra y transporte de arenas y gravas se consideran los de la planta de RCD por ser la opción más económica (Tabla 20).
- **Escenario 2:** considera que los excedentes pueden ser utilizados cuando no es posible sustituirlos por áridos reciclados, por lo que únicamente se emplean en los sellados y tierras de soporte para la vegetación. Los costes de transporte en estos casos consideran la distancia a cubrir entre la zona de acopios y la de explotación (Tabla 19). En cuanto a los costes de compra y transporte de arenas, zahorras y gravas se consideran los asociados a la planta de RCD (Tabla 20). Las zahorras que han sido sustituidas por áridos reciclados se venden como áridos naturales, del mismo modo que lo hacen las canteras.
- **Escenario 3:** considera que no existen excedentes y que siempre que sea posible se deben utilizar áridos reciclados, por lo que únicamente se emplean áridos naturales de la cantera en los sellados y tierras de soporte para la vegetación. Los costes de transporte consideran la distancia a cubrir entre la cantera y el depósito controlado (Tabla 19). En cuanto a los costes de compra y transporte de arenas, zahorras y gravas se consideran los asociados a la planta de RCD (Tabla 20).
- **Escenario 4:** considera que no existen excedentes y que únicamente se utilizan áridos naturales, por lo que los costes de transporte siempre responden a la distancia existente entre la cantera y el depósito

controlado (Tabla 19). En este caso los costes asociados a la adquisición de áridos son los procedentes de canteras (Tabla 20).

Tabla 19: coste transporte áridos

Proveedor árido	Acopio	Carga máxima	Coste transporte
	km	t	€/km
Acopio	1	10	0.96
Planta RCD (1)	10	8	2.35 (3)
Cantera (2)	62	15	1.42 (3)

⁽¹⁾ Planta de RCD de Benicarló, Catellón, España [9].

⁽²⁾ Cantera de áridos de Els Ibarsos, Castellón, España [10].

⁽³⁾ Coste estimado [11], [12], [13].

Tabla 20: coste adquisición áridos

Tipo de árido		Acopio		Planta RCD ⁽¹⁾		Cantera ⁽²⁾	
		t/m3	€/t	t/m3	€/t	t/m3	€/t
A ₁	Arena (0-6 mm)	-	-	1.60	1.74	1.70	5.75
A ₂	Arena (0-12 mm)	-	-	1.55	1.74	1.65	7.50
z ₁	Zahorra (0-20 mm)	1.60	0.00	1.45	2.12	1.60	3.80
z ₂	Zahorra (0-40 mm)	1.55	0.00	1.40	2.12	1.55	3.80
G ₁	Grava (12-20 mm)	-	-	1.35	1.54	1.45	6.60
G ₂	Grava (20-40 mm)	-	-	1.30	1.54	1.40	6.00
A	Arcilla	1.70	0.00	-	-	1.70	2.15
T ₁	Tierra seleccionada	1.60	0.00	-	-	1.60	3.17
T ₂	Tierra vegetal	0.95	0.00	-	-	0.95	3.74

⁽¹⁾ Coste estimado a partir de la tarifa de precios de la Planta de RCD [14].

⁽²⁾ Coste estimado a partir de las tarifas de precios de canteras [15], [16], [17].

3. Resultados

El volumen de áridos demandados durante toda la vida útil de la instalación se sitúa en torno a 229.421 m³ (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). De esta cifra se podrían reemplazar por áridos reciclados en torno a 152.802 m³, que corresponden a las demandas de arenas, zahorras y gravas, y que en conjunto representan un 66,60% de la demanda total. El 33,40% restante son arcillas y tierras utilizadas en la fase de clausura que pueden obtenerse del sobrante propio de la excavación del vaso o externamente cuando este no existe.

Tabla 21: Demanda de áridos por aplicaciones ⁽¹⁾

Aplicación		Celda I	Celda II	Celda III	Total	Tipo	Fase ⁽²⁾
		m ³	m ³	m ³	m ³		
1	Drenaje de lixiviados	2,174	1,256	687	4,117	G ₂	1
2	Evacuación de lixiviados	456	300	179	934	G ₂	1

3	Balsa de lixiviados ⁽³⁾	-	-	-	593	Z ₁	1
4	Evacuación de pluviales	185	111	74	370	A ₂ - G ₁	1
5	Cerramientos	24	10	7	41	G ₂	1
6	Cobertura diaria	43,886	19,875	11,001	74,762	Z ₁	2
7	Sellado temporal	6,365	2,732	1,848	10,946	A	2
8	Diques de cierre	36,068	18,480	13,283	67,830	Z ₂	2
9	Celdas adicionales	904	677	292	1,873	A ₁ - G ₁	2
10	Pozos de captación	59	32	27	118	G ₂	2
11	Drenaje de gases	452	338	292	1,082	G ₂	3
12	Sellado definitivo	12,730	5,464	3,697	21,891	A	3
13	Drenaje de pluviales	452	338	292	1,082	G ₂	3
14	Tierra seleccionada	20,368	8,743	5,915	35,026	T ₁	3
15	Tierra vegetal	5,092	2,186	1,479	8,756	T ₂	3

⁽¹⁾ demanda de áridos obtenida mediante la simulación en la herramienta LABWASTE.

⁽²⁾ Donde: 1, es fase de construcción; 2, fase de explotación; 3, fase de clausura.

⁽³⁾ existe una sola balsa de lixiviados para las tres celdas del vaso de vertido.

En cuanto al desglose de la demanda de áridos por fases cabe indicar que el 2.64% se utiliza en la fase de construcción, el 67.79% en la de explotación y el 29.57% restante en la de clausura. Esta distribución de porcentajes puede variar considerablemente según el tipo de materiales utilizados para cada aplicación. Si por ejemplo se utilizara para el sellado un geocompuesto bentonítico en sustitución de la arcilla la demanda de áridos total se reduciría en 32,837 m³ y la distribución de porcentajes por fases sería de un 3.08% en la de construcción, un 73.55% en la de explotación y un 23.37% en la de clausura. Si además de utilizar estos geocompuestos, se utilizara para las capas de cobertura diaria fracciones vegetales o caucho triturado en sustitución del árido la demanda final se reduciría en 109,472 m³ y la distribución de porcentajes por fases sería de un 5.05% en la de construcción, un 56.65% en la de explotación y un 38.30% en la de clausura.

Por su parte, en cuanto al coste de la adquisición de áridos según el escenario definido cabe indicar que si el excedente de la excavación del vaso es utilizado para cubrir las demandas de áridos en las coberturas diarias, los sellados y las tierras de soporte para la vegetación, adquiriendo externamente las demandas de arenas y gravas de la Planta de RCD, el coste final se sitúa en 157,622 € (Escenario 1). Si este excedente solamente pudiera utilizarse en el caso de que no fuera posible sustituirlo por árido reciclado el coste final ascendería a 1.292.354 € o en el caso de que el árido de cobertura acopiado fuera vendido del mismo modo que lo hacen las canteras en 423,289 € (Escenario 2). Por el contrario, si no existieran estos excedentes y fuera necesario adquirir externamente la totalidad de áridos el coste final se situaría en 2,125,926 € en el caso de utilizar áridos reciclados (Escenario 3) y en 3,374,539 € en el caso de que la adquisición fuera procedente de cantera (Escenario 4).

Tabla 22: coste de la demanda de áridos

Tipo de árido		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
		€	€	€	€
A ₁	Arena (0-6 mm)	147	147	147	450
A ₂	Arena (0-12 mm)	1,260	1,260	1,260	3,789

z₁	Zahorra (0-20 mm)	11,863	624,938	566,352	1,194,820
z₂	Zahorra (0-40 mm)	10,093	531,750	480,288	1,016,679
G₁	Grava (12-20 mm)	853	853	853	2,563
G₂	Grava (20-40 mm)	42,693	42,693	42,693	121,905
A	Arcilla	5,360	5,360	447,704	447,704
T₁	Tierra seleccionada	5,381	5,381	506,657	506,657
T₂	Tierra vegetal	79,972	79,972	79,972	79,972
Total:		157,622	1,292,354	2,125,926	3,374,539

Los costes asociados al transporte de áridos representan aproximadamente el 60% del total estimado para la demanda de áridos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por ello, es muy importante que exista una red de instalaciones fija que aglutine en una misma zona los depósitos controlados y las plantas suministradoras. Si existen excedentes de la excavación y se desea potenciar el uso de áridos reciclados considerando que la Planta de RCD se ubica a tan solo un kilómetro de distancia el coste total de 1,292,354 € se reduciría un 48.84%. Si además se considerara la venta del árido de cobertura acopiado que ha sido reemplazado por árido reciclado los ingresos obtenidos compensarían estos gastos y generarían finalmente un beneficio de 255,965 €. Por lo tanto, el uso de áridos reciclados siempre que la planta de RCD se ubique en la misma zona y se vendan los excedentes de la excavación, reporta beneficios y evita la contaminación de un árido natural que queda disponible para otros usos.

4. Conclusiones

Durante toda la vida útil del depósito controlado la demanda de áridos representa aproximadamente un 30% de la capacidad volumétrica neta del vaso y se sitúa en torno a 229,421 m³. De esta cifra el 66.60% son arenas, zahorras y gravas que podrían reemplazarse por áridos reciclados y el 33.40% restante arcillas y tierras de soporte para la vegetación.

Distribuida la demanda obtenida por fases, un 2.64% corresponde a la de construcción, un 67.79% a la de explotación y el 29.57% restante a la de clausura. Esta demanda puede reducirse un 47.72% si se sustituyen por capas de otra naturaleza las arcillas utilizadas para el sellado y el árido utilizado para las coberturas diarias.

Los costes que deben asumirse para cubrir esta demanda dependen principalmente de la distancia existente entre el punto de suministro y el depósito controlado. Si se priorizara el uso de áridos reciclados procedentes de una planta de RCD situada a 10 km de distancia y se vendiera el árido natural que ha sido sustituido, del mismo modo que lo hacen las canteras, el coste que debería asumirse ascendería a 423,289 €. Sin embargo, si esta planta de RCD se ubicara en la zona del depósito controlado, esta misma acción supondría un beneficio neto de 255,965 €. Por lo tanto, si se configura una red de instalaciones fija que aglutine en una misma zona las plantas de RCD y los depósitos controlados, el uso de áridos reciclados podría conllevar un beneficio económico y medio ambiental con respecto al uso de áridos naturales. En conclusión, esta acción permitiría disponer de áridos naturales para otros usos, potenciaría el uso de las fracciones recicladas y reduciría la necesidad de disponer depósitos controlados para el vertido de las fracciones inertes.

Agradecimientos

Por un lado, los autores desean expresar su agradecimiento a BIONORD por la información facilitada, y por otro lado, al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) y a la Red Iberoamericana en Gestión y Aprovechamiento de Residuos (REDIGAR).

Referencias Bibliográficas

- [1] Eurostat. (2017) *Principales resultados estadísticos*. Generación total de residuos.
- [2] PEMAR. (2015) *Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022*, MAGRAMA.
- [3] Turcumán, M. Fiore, J.M. y Vázquez, G. (2009) *Estudio de un vertedero controlado. Análisis de su estabilidad a través de la estimación de la compresibilidad*. pp. 1689–1699.
- [4] Esteban, J., Colomer, F.J., Gallardo, A. y Alberola, M.C. (2013) *LABWASTE.12: Calculation tool for the design of solid waste landfills with inert waste recovery*. Management and Industrial Engineering. pp. 276–285.
- [5] Colomer, F.J., Esteban-Altabella, J. y Gallardo, A. (2017) *Application of inert wastes in the construction, operation and closure of landfills: Calculation tool*. Waste Management, 59, pp.276–285.
- [6] BIONORD. (2017). *Depósito controlado de residuos sólidos urbanos*, BIONORD.
- [7] Grupotec. (2011) *Proyecto constructivo del depósito de rechazos de Cervera del Maestre (Castellón). Memoria*.
- [8] Grupotec. (2011) *Proyecto constructivo del depósito de rechazos de Cervera del Maestre (Castellón). Anejo nº 10 Cálculo de asentamientos de la masa de residuos*.
- [9] ATECMA. (2017) *planta de residuos de construcción y demolición*, Traimed21.
- [10] ARIVAL. (2013) *Catálogo de explotaciones de áridos para la construcción de la Comunitat Valenciana*, Asociación de empresas de áridos de la Comunitat Valenciana.
- [11] Tragsa. (2015) *Tarifa de precios transporte por Tragsa*, Empresa de transformación agraria.
- [12] Forgatrans. (2016) *Tarifa de precios transporte de áridos*, Formación Galega de transportes.
- [13] CYPE. (2017) *Generador de precios de la construcción*.
- [14] Traimed. (2015) *Tarifa de precios planta RCD Traimed 21*.
- [14] Aripisa. (2016) *Tarifa de precios cantera El Pinar*.
- [15] Richinol. (2016) *Tarifa de precios cantera de Richinol*, Canteras ARE.
- [16] Arenal. (2016) *Tarifa de precios cantera Arenal*, Canteras ARE.

Evaluación de los sitios de disposición final de los municipios de Tlalpujahua, Tuzantla y Zitácuaro, pertenecientes al Estado de Michoacán

¹José Wilfrido Velazquez Antonio, ²Otoniel Buenrostro Delgado, ³María del Consuelo Hernández Berriel y ⁴Heriberta Ramírez Hernández

^{1,4}Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. Edificio “R” Planta Baja, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México. 4432763859. wuil.biology@gmail.com

²Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³División de Estudios de Posgrado e Investigación. Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Toluca

Resumen

En el país la disposición final de los residuos sólidos urbanos no se realiza conforme lo establece la normatividad de protección al medio ambiente a nivel nacional, en el Estado de Michoacán el tema de disposición final se encuentra demasiado marginado, la gran mayoría de los sitios de disposición final no cumplen ni con la más mínima reglamentación de operación, de restricciones y confinamiento de los residuos sólidos urbanos. En el presente trabajo se evaluaron tres sitios de disposición final, entre ellos dos rellenos sanitarios, con apoyo de la *Lista de Verificación* de la NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, para cada sitio se evaluó: Proyecto Ejecutivo y Evaluación, Restricción para ubicación del sitio, Estudios y análisis previos para la selección del sitio, Estudios y análisis previos en el sitio, Estudios de generación y composición, Características constructivas y operativas del sitio y Clausura del sitio. Obteniendo como resultados en los tres sitios de disposición final, que la única normatividad con la que cumplen es con las restricciones de ubicación de sitio de disposición final. En ninguno de los tres sitios de disposición final se realizaron estudios previos de ubicación del sitio (estudio geológico, hidrogeológico, topográfico, geotécnico, evaluación geológica e hidrológica), ni cuentan con las condiciones constructivas adecuadas, no se cumplen con los requisitos mínimos de operación, ni mucho menos con los requisitos de clausura del sitio.

Palabra clave: *Sitios de Disposición Final, Lista de Verificación, Residuos Sólidos Urbanos*

1. Introducción

La contaminación es una problemática que se ha salido de control en la actualidad, afectando los diversos sistemas ecológicos, reservas naturales, los sistemas hidrológicos, la conformación de los suelos, además, provoca o causa afectaciones económicas y sociales en los asentamientos humanos. Las principales causas que ocasionan la contaminación del ambiente, provienen de las actividades productivas antropomórficas, como el consumo excesivo e innecesario de productos básicos de bien común, que conlleva a una mayor generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) por persona por día, es decir “generación per cápita” [1]. La apatía y la falta de información de la sociedad sobre una gestión sustentable de los RSU es el otro factor que impide amortiguar el impacto ambiental. Los países en vías de desarrollo son países donde la problemática es mayor por razones sociales, económicas y de educación. La separación de los residuos susceptibles de recuperación y una gestión sustentable son temas que se deben profundizar con la población y los encargados municipales del servicio de aseo público, desde la perspectiva de que los RSU son materia prima, que mediante una gestión adecuada se reintegran a los sistemas económicos y naturales, además de una importante fuente de ingresos.

En el Estado de Michoacán los sistemas de aseo público en su mayoría no cuentan con un programa de trabajo o actividades en ninguna etapa de la gestión de los RSU. En los *Sitios de Disposición Final* (SDF) se disponen más residuos de los que deberían ser confinados; los tratamientos previos y la recolección o rescate como materia prima de los residuos susceptibles de recuperación, aminorarían la cantidad de

residuos que se confinan diariamente. La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 [2] es una norma que establece las 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 *Residuos de Manejo Especial* (RME).

En el Estado de Michoacán la mayor parte de los 113 municipios que lo conforman, no han logrado cumplir con la legislación ambiental en materia de gestión integral de los RSU. Nueve de los municipios del Oriente Michoacano que colindan con el Estado de México, se encuentran por debajo de los indicadores de desarrollo humano; Índice de Salud, Índice de Educación e Índice de ingreso, en 2012 el Estado de Michoacán se encontraba con un valor de 0.700 (bajo 0.667-0.720), en Índice de Desarrollo Humano (IDH), [3]. Las carencias presupuestarias, económicas y falta de asesoría técnica han incidido en que el tema de la gestión integral de los RSU esté relegado.

La ubicación de SDF sin tomar en cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, presenta afectaciones directas e indirectas, a la salud humana a personas expuestas a SDF, con una probabilidad de 25% mayor de síntomas respiratorios en todos los grados leve, moderado y grave [4], afectaciones al medio ambiente particularmente aquellos residuos que por su solubilidad podrían lixivarse a través del suelo y alcanzar mantos acuíferos, como lo son los nitratos [5], y afectaciones atmosféricas que contribuyen al efecto invernadero, favoreciendo el cambio climático, como la generación de metano en los SDF, superando este con 21 veces al CO₂ [6].

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), es una ley reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que se refiere a la protección del ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en territorio nacional. Esta Ley especifica en uno de sus párrafos: “La Federación, las Entidades Federativas y los Municipios, ejercerán sus atribuciones en materia de prevención de la generación, aprovechamiento, gestión integral de los residuos, de prevención de la contaminación de sitios y su remediación, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta Ley y en otros ordenamientos legales” [7].

La disposición final de los RSU en el país no se lleva a cabo como debería a pesar de que se cuenta con una de las mejores normativas ambientales a nivel internacional, simplemente no se aplican. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [8], a nivel nacional los SDF reportados como destino de los RSU en 2010 fueron 1881, de los cuales solamente 238 eran rellenos sanitarios (RESA) y 1643 Tiraderos a Cielo Abierto (TCA), de un total de 2456 municipios y delegaciones que conformaban la totalidad del territorio mexicano para esa fecha. En el Estado de Michoacán no se cuenta con la infraestructura necesaria para un confinamiento adecuado de los RSU; de los 113 municipios que conforman al Estado, 110 reportaron en 2010 que cuentan con SDF de los cuales 7 se consideran RESA y un total de 103 municipios reportan tiraderos a cielo abierto [9].

En los sitios de disposición las medidas cautelares para el confinamiento adecuado de los RSU, pueden ir desde un tiradero a cielo abierto sin ningún tipo de control, hasta un RESA con un sistema de 100% de control de los vectores de contaminación. Los RESA pueden clasificarse en tres tipos de acuerdo a su diseño, de trinchera, de área o superficie y combinado [10]. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el estado de los sitios de disposición final de RSU en tres municipios del Oriente de Michoacán y forma parte de un proyecto global para ubicar sitios potenciales para la construcción de rellenos sanitarios intermunicipales en el Estado de México y municipios colindantes.

2. Metodología

2.1 Selección del área de estudio

En el proyecto se trabajó con los municipios del Estado de Michoacán que colindan con el Estado de México; municipio de Contepec, Tlalpujahua, Senguio, Angangueo, Ocampo, Zitácuaro, Susupuato, Tuzantla y Tiquicheo. De estos nueve municipios se consideraron únicamente los que contaban con sitio de disposición final, y de estos solo se tomaron tres sitios al azar; Tlalpujahua, Tuzantla y Zitácuaro.

2.2 Descripción del área de estudio

2.2.1 Municipio de Tlalpujahua

Se localiza al noroeste del Estado, en las coordenadas 19°48' de latitud norte y 100°10' de longitud oeste, a una altura de 2,580 msnm como se muestra en la figura 1. Limita al norte con Contepec, al este y sur con el Estado de México y, al oeste con Senguio y Maravatío. Tiene una superficie de 189.71 km², el relieve lo conforma el sistema volcánico transversal y la sierra de Tlalpujahua. su hidrografía ésta compuesta por el río San José, arroyos, manantiales de agua fría y termal y por las presas Brockman y Estanzuela. El clima es templado con lluvias en verano y templado con lluvias todo el año. Tiene una precipitación pluvial anual de 1,003.5 milímetros y temperaturas que oscilan entre 6.1 y 22.7°C. En el municipio predominante vegetación de bosques de coníferas con pino, oyamel y junípero, y el bosque mixto con pino, encino y cedro. Los suelos datan de los períodos paleozoico y mesozoico, corresponden principalmente a los del tipo podzólico de montaña. Su uso es primordialmente agrícola y forestal y en menor proporción ganadero [11].

2.2.2 Municipio de Tuzantla

Se localiza al este del Estado, en las coordenadas 19°12' de latitud norte y 100°34' de longitud oeste, a una altura de 580 msnm como se muestra en la figura 1. Limita al norte con Jungapeo e Hidalgo, al este con Juárez y Susupuato, al sur con el Estado de México y Tiquicheo, con una superficie de 1,017.28 Km². El relieve lo constituye el sistema volcánico transversal, con una hidrografía constituida por los ríos Tuzantla, Chiquito y Copándaro, los arroyos de Chirangangueo, del Manzano, del Chile, Grande y Cascalote, cuenta además con algunos manantiales de aguas termales, Su clima es tropical con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1.184.5 milímetros y temperaturas que oscila entre 19.9 a 36.7°C. los principales ecosistemas son el bosque tropical deciduo, con cuéramo, palo dulce, cacto y huizache, los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, terciario inferior y eoceno, corresponden principalmente a los del tipo pradera y chernozem, con un uso primordial ganadero y en menor proporción forestal y agrícola, además cuentan con yacimiento de cobre [11].

2.2.3 Municipio de Zitácuaro

Localizado al este del Estado, en las coordenadas 19°26' de latitud norte y 100°22' de longitud oeste, a una altura de 1,942 msnm como se muestra en la figura 1. Limita al norte con Tuxpan y Ocampo, al este con el Estado de México, al sur con Juárez y Susupuato, y al oeste con Jungapeo, Su superficie es de 510.90 km², con un relieve compuesto por el sistema volcánico transversal, la sierra de Zitacuaro. La hidrografía la conforman los ríos San Andrés y San Juan Viejo, los arroyos Crescencio Morales, Seco, El Oro, Macutzio y manantiales de agua fría, y la Presa del Bosque. El clima es templado, con lluvias en verano, presenta una precipitación pluvial anual de 813.2 milímetros y temperaturas que oscilan entre 9.3 y 23.0 °C. El municipio cuenta principalmente con ecosistemas de bosque mixto, con pino y encino. Los suelos datan de los períodos paleozoico y mesozoico, corresponden principalmente a los de tipo andosol, vertisol y gleysol, y tienen un uso primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadero [11].

2.3 Gestión ante los Municipios para lograr su participación en el proyecto

La gestión se realizó en particular con cada Municipio teniendo un primer contacto con la Secretaría de la presidencia y encargados de limpia del Municipio. Debido a que cada Municipio tiene un organigrama diferente, se indagó en quiénes son los responsables de las áreas encargadas del manejo de los RSU y RME. Se solicitó una cita con los responsables de manejo de residuos, a quiénes se les presentó el plan de trabajo para este proyecto. Habiendo realizado la fase de contacto con los Municipios, se formalizó la colaboración con los interesados y dispuestos a colaborar en el proyecto, a quiénes se les hizo entrega de una carta de presentación del proyecto.

2.4 Aplicación de la Lista de Verificación

De acuerdo con *La Lista de Verificación* de la NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 [2], se realizaron visitas a tres sitios de disposición final dentro del área de estudio en los municipios que cuenten con ellos, verificando las condiciones en las que operan estos sitios de disposición final.

Dicha evaluación se realizó en cada sitio mediante una Lista de Verificación y con apoyo de la información recabada de Municipios y los responsables de los sitios de disposición. La Lista de Verificación fue elaborada a partir de la Guía de cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 [12], que entre otros puntos considera los que se enlistan en la tabla 1

Tabla 23. Grupos de análisis de la lista de verificación

a)	Proyecto Ejecutivo y Evaluación
b)	Restricción para ubicación del sitio
c)	Estudios y análisis previos para la selección del sitio
d)	Estudios y análisis previos en el sitio
e)	Estudios de generación y composición
f)	Características constructivas y operativas del sitio
g)	Clausura del sitio

3. Resultados y Discusión

3.1 Gestión ante los Municipios para lograr su participación en el proyecto

La gestión se realizó con los Presidentes Municipales, Secretario Personal de Presidencia, el Director de Ecología y Oficialía Mayor. En esta etapa se presentó el plan de trabajo para el proyecto los nueve municipios que colindan con el Estado de México, para posteriormente seleccionar los tres sitios de disposición final a evaluar. En la tabla 2 se muestran los responsables de los sistemas de aseo público de los municipios, así como cuantos cuentan con sitio de disposición final.

Tabla 2. Responsables de los sistemas de aseo público

Municipio	SDF en Mpio	Responsable de RSU y RME	Área
Contepec	NO	Oficial Mayor	Servicios Públicos
Tlalpujahuá	SI	Director de Servicios Públicos	Servicios Públicos
Senguio	NO	Oficial Mayor	Servicios Públicos
Angangué	NO	Oficial Mayor	Servicios Públicos
Ocampo	NO	Oficial Mayor	Servicios Públicos
Zitácuaro	SI	No Especificado	Servicios Públicos

<i>Susupuato</i>	<i>SI</i>	<i>Responsable de Residuos</i>	<i>Medio Ambiente</i>
<i>Tuzantla</i>	<i>SI</i>	<i>Director de Servicios Municipales</i>	<i>Servicios Públicos</i>
<i>Tiquicheo</i>	<i>SI</i>	<i>Oficial Mayor</i>	<i>Servicios Públicos</i>

3.2 Aplicación de la Lista de Verificación

Los resultados de los datos obtenidos de la aplicación de la lista de verificación se muestran en las tablas 3, 4 y 5, donde se aprecia que únicamente cumplen con las restricciones para la ubicación de sitio. Ningún otro requerimiento es medianamente cumplido, los cuales son; Proyecto Ejecutivo y Evaluación, Restricción para ubicación del sitio, Estudios y análisis previos para la selección del sitio, Estudios y análisis previos en el sitio, Estudios de generación y composición, Características constructivas y operativas del sitio y Clausura del sitio. Debido a que ningún sitio de disposición final cuenta con los requerimientos totales de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 [2], ninguno de los sitios analizados se puede clasificar como relleno sanitario o sitio controlado, a pesar de que dos de estos sitios de disposición final están registrados como rellenos sanitarios.

Tabla 3. Resultados de la lista de verificación para el sitio de disposición final del municipio Tlalpujahua

Requisitos	cumplimiento	Características
<i>Tipo</i>	<i>C</i>	
Restricciones para la ubicación del sitio	100%	no encontradas
Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio	0%	no cumple con ningún requerimiento
Estudios y análisis, en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final	0%	no cumple con ningún requerimiento
Estudios de generación y composición	0%	no cumple con ningún requerimiento
Características constructivas y operativas del sitio de disposición fina	4%	se cuenta con un solo camino de acceso, un cronograma de trabajo y procedimiento de operación
Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME	16.60%	cuenta únicamente con cerca perimetral
Clausura del sitio	0%	cuenta únicamente con cerca perimetral de malla ciclónica

Tabla 4. Resultados de la lista de verificación para el sitio de disposición final del municipio Tuzantla

Requisitos	Cumplimiento	Características
Tipo	C	
Restricciones para la ubicación del sitio	100%	no encontradas
Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio	0.00%	no cumple con ningún requerimiento
Estudios y análisis, en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final	0.00%	no cumple con ningún requerimiento

Estudios de generación y composición	0.00%	no cumple con ningún requerimiento
Características constructivas y operativas del sitio de disposición fina	0.00%	se cuenta con un solo camino de acceso, un cronograma de trabajo y procedimiento de operación
Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME	0.00%	los residuos son colocados en un barranco sin realizar la cubierta de estos, se quema una parte de los residuos y el sitio solo cuenta con una delimitación de alambre de púas
Clausura del sitio	0.00%	cuenta únicamente con cerca perimetral de púas parcial

Tabla 5. Resultados de la lista de verificación para el sitio de disposición final del municipio Zitácuaro

Requisitos	Cumplimiento	Características
Tipo	A	
Restricciones para la ubicación del sitio	100%	no encontradas
Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio	0.00%	no cumple con ningún requerimiento
Estudios y análisis, en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final	0.00%	no cumple con ningún requerimiento
Estudios de generación y composición	0.00%	no cumple con ningún requerimiento
Características constructivas y operativas del sitio de disposición fina	10.86%	los requerimientos con los que cuenta solo se cumplen parcialmente
Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME	0.00%	cuenta con cerca perimetral de púas y la cobertura se realiza cada 15 o 30 días
Clausura del sitio	0.00%	cuenta únicamente con cerca perimetral de púas parcial

4. Conclusiones

Los encargados del manejo de los residuos sólidos urbanos no se encuentran en el área apropiada ya que no tienen de función prioritaria el manejo de estos, de manera que no se encuentran capacitados para esta función y no cuentan con la experiencia o el perfil de puesto necesario para desempeñar esta función.

Los sitios de disposición final en los municipios que cuentan con uno, estos no operan con condiciones establecidas por la Ley, esto por el alto costo económico que implica dotar de la infraestructura a estos sitios, de acuerdo con la normatividad para un relleno sanitario o un sitio controlado.

La aplicación de la lista de verificación a los tres sitios de disposición final permitió confirmar lo planteado en la investigación, el mal estado en que operan los sitios de disposición final de RSU del área de estudio.

La operación deficiente no sólo se debe a la situación económica de cada municipio, los factores que más influyen son la apatía por parte de los encargados del servicio de aseo público, la falta de interés a la situación en la que operan los sitios, la desinformación y falta de experiencia que tienen sobre el tema y que ningún municipio tiene el apoyo de expertos en el tema que les brinden asesoría.

Los tres sitios evaluados no cumplen con los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 [2].

5. Referencias Bibliográficas

[1] Orccosupa J. (2002). Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. Tesis Magisterial. Departamento de Postgrado y Postítulo, Universidad de Chile. Provincia de Santiago, Chile. 72 pp.

[2] SEMARNAT (2004). 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. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 20 de octubre de 2004.

[3] PNUD (2015). Índice de Desarrollo Humano para las entidades federativas, México 2015. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México. Oficina de Investigación en Desarrollo Humano, México.

[4] Filigrana P. A., Gómez O. L. y Méndez F. (2011). Impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos en la salud respiratoria de los adultos mayores. Biomédica. 31. 322-334.

[5] Puckett L. J. (1995). Identifying the major sources of nutrient water pollution. Environ. Sei. Technol. 29 (9), 408-414.

[6] Abarmar (2010). Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) Modalidad Particular del proyecto de “Extracción de BIOGÁS de Relleno Sanitario Norte y su Celda Emergente del Municipio de Islas Mujeres, Quintana Roo” Grupo Empresarial Abarmar, S.A. de C.V.

[7] LGPGIR (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación 8 de octubre de 2003. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación. ult. ref. 22 de mayo de 2015.

[8] INEGI (2011). Sitios de disposición final reportados como destino de los residuos sólidos urbanos por entidad federativa, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Residuos Sólidos Urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011. Tabulados básicos. En línea <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb1071&s=est&c=33994>> Recuperado el 28/02/2014.

[9] INEGI (2011). Promedio diario de residuos sólidos urbanos recolectados según método de obtención del dato por entidad federativa, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Residuos Sólidos Urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011. Tabulados básicos. En línea. <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb1064&s=est&c=33985>> Recuperado el 28/02/2014.

[10] Jiménez B. E. (2001). La contaminación ambiental en México, causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. D.F., México, 926 pp.

[11] INAFED (2002). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México 2017. Estado de Michoacán de Ocampo. Región IV Oriente. Secretaria de Gobernación (SEGOB).

[12] SEMARNAT & GTZ (2004). Guía de Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Agencia de Cooperación Técnica Alemana. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Diciembre de 2004.

Evaluación técnica y ambiental del sitio de disposición final del Municipio de Tlalpujahua, Michoacán

Nadia Mercado-Espiridión, María del Consuelo Hernández-Berriel, Otoniel Buenrostro-Delgado, Alejandro Martínez-Olvera, Gloria Irene Carmona-Chit

Resumen

En México la falta de seguimiento y recursos monetarios ha ocasionado que algunos rellenos sanitarios (RESA) y sitios controlados (SC), se conviertan en tiraderos a cielo abierto (TCA), provocando además de la pérdida de inversión, la generación de vectores dañinos para la salud y el incremento de la contaminación; casos conocidos son los sitios de disposición final (SDF) de Chetumal, Tepic y Morelia. La disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en el municipio de Tlalpujahua, Michoacán se realiza en un SC, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluarlo técnica y ambientalmente, para determinar oportunidades de optimización en su operación y prever se convierta en un TCA. Para ello, se caracterizaron los RSU en el SC, se realizó la estimación de la generación de biogás empleando el Modelo Mexicano del Biogás, se analizó cartografía y se valoró su operación e impacto ambiental, utilizando una Lista de Verificación (LV) desarrollada con base en la NOM-083-SEMARNAT-2003 y la Matriz de Leopold adaptada para este fin. Entre las áreas de mejora detectadas se tiene la colocación de quemadores para reducir las 5,477 t de metano (136,929 tCO₂eq), implementar la recuperación de RSU valorizables, entre otras. Se determinó que la LV y la Matriz de Leopold son herramientas que se complementan y corresponden. El SC cumple con 26% de los requerimientos de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y causa un impacto ambiental de “Moderado” a “Severo”, por lo que deben atenderse a corto plazo las áreas de mejora detectadas.

Palabras clave: Áreas de mejora, Lista de Verificación, Matriz de Leopold.

1. Introducción

Los impactos ambientales son repercusiones significativas que tienen las actividades humanas sobre el ambiente, los cuales se evalúan en los ámbitos científico-técnico y jurídico-administrativo. El primero ha dado lugar al desarrollo de metodologías para su identificación y valoración; incluidas en el proceso que se conoce como Evaluación de Impacto Ambiental (EIA); el segundo ha producido normas que determinan si un proceso debe ser modificado por sus consecuencias ambientales [1].

De acuerdo con la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), la última etapa del manejo integral de RSU (MIRSU) es la disposición final, la cual consiste en depositar permanentemente los residuos en sitios que eviten su liberación al ambiente y las afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas [2]. Sin embargo, no todos los sitios de disposición final (SDF) cumplen con esta condición, por lo tanto la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, los clasifica en tiradero a cielo abierto (TCA) o sitio no controlado (SNC), sitio controlado (SC) y relleno sanitario (RESA). Los SC y SNC son definidos como instalaciones inadecuadas, porque tienen un control parcial o no tienen control de la contaminación; mientras que el RESA cuenta con métodos y obras de ingeniería para controlar los impactos ambientales; por lo que es necesario que cuenten con un plan de monitoreo[3].

Algunos de los impactos ambientales asociados a la disposición final de RSU son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y lixiviados, que sin un manejo adecuado pueden causar contaminación al aire y a cuerpos de agua, respectivamente; la generación de malos olores y fauna nociva, la dispersión de RSU por efecto del aire cuando la compactación y la cobertura no son adecuadas; entre otros [4]. En México se han reportado casos de SDF con problemas de contaminación no controlada, tales como el de Chetumal y Tepic, que no cumplen con los requisitos mínimos para el control de la contaminación; en la ciudad de Sahuayo en

Michoacán se ha registrado la contaminación por cadmio (Cd) en un TCA abandonado; en San Luis Potosí el TCA de Peñasco ha pasado a ser un SC, pero continua teniendo problemas de control de biogás y lixiviados; en el SDF de la ciudad de Morelia, estudios geológicos e hidrológicos indican que los lixiviados se han filtrado al subsuelo y alcanzado el acuífero, llevando consigo residuos peligrosos, en particular metales pesados como Cd, plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni) y arsénico (As) [5].

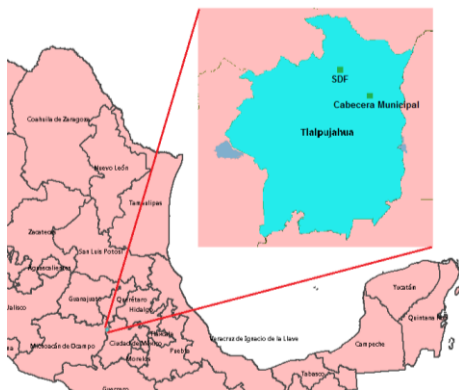
Por otra parte, en México del año 2003 al 2013 la cantidad de RESA aumentó de 89 a 260 RESA [6], que representa un incremento del 192% en el número de RESA en 10 años; en ese mismo periodo, la disposición de RSU en RESA presentó un porcentaje de crecimiento del 63%, mientras que el uso de TCA se redujo en un 6% y de SC un 20% [6]. Realizar la disposición final en RESA es una práctica correcta que genera beneficios sociales y ambientales.

Conscientes del riesgo que implica que un SC se convierta en un TCA, el objetivo de este trabajo fue evaluar técnica y ambientalmente el SDF de Tlalpujahuá, para determinar su cumplimiento con la normatividad e identificar sus impactos ambientales, con el fin de contar con elementos para su mejora.

2. Metodología

El municipio de Tlalpujahuá se ubica al este del estado de Michoacán, entre los paralelos 19°41' y 19°53' de latitud norte, los meridianos 100°08' y 100°18' de longitud oeste y tiene una altitud entre 2,200 y 3,100 msnm; colinda al Norte con el municipio de Contepec y al Oeste con Senguio municipios de Michoacán, al Sur con San José del Rincón y al Este con el Oro, pertenecientes al Estado de México [7] (Figura 1).

En el año 2010 el municipio contaba con 27,587 habitantes y tres vehículos, que realizaban la recolección de 10.4 t/día [6]. Para el año 2017 se proyectó una población de 29,228 hab [8] y de acuerdo con estudios realizados, el Área de Limpia del municipio se encarga del barrido, recolección y disposición final de los RSU; para realizar la recolección cuenta con cinco vehículos y se recolectan entre 15 y 20 t/día; la disposición final se realiza en un SC ubicado en las coordenadas 100° 11' 24" longitud oeste y 19° 49' 31" latitud norte, en la comunidad de "La Lagunilla" (Figura1), es propiedad del municipio e inició sus operaciones en 2010 como tipo D, sin embargo, actualmente por la cantidad de RSU recolectados está clasificado como tipo C, tiene una superficie de 1.0 ha y se espera tenga una vida útil de 20 años (Figura 2).



Fuente: Adaptado de [9]

Figura 1. Mapa del municipio y del Sitio Controlado de Tlalpujahuá



2.1. Caracterización de residuos sólidos urbanos

Para la caracterización de RSU del SC de Tlalpujahuá primero se obtuvo una muestra compuesta, utilizando la NMX-AA-132-SCFI-2016 [10]; "Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales

y metaloides, y manejo de la muestra”, para ello se recolectaron sobre 500 kg en cinco puntos equidistantes, elegidos aleatoriamente de la capa superficial de la celda en operación. A la muestra compuesta se le aplicó el método de cuarteo, reportado en la NMX-AA-015-1985 [11] y mediante la NMX-AA-022-1985 [12], se realizó la selección de subproductos y la composición de los RSU.

2.2. Estimación de generación de biogás

Para la estimación de la cantidad de biogás que se genera a través de la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica (FO) de los RSU del SC de Tlalpujahua, se utilizó el Modelo Mexicano del Biogás v.2, desarrollado por SCS Engineers, bajo acuerdo con el programa LMOP (Landfill Methane Outreach), de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) [13]; considerando un tiempo de vida útil de 20 años, sus características actuales (Tabla 1), una composición promedio de 50% de metano (CH₄) y 50% de dióxido de carbono (CO₂) en el biogás, así como la composición de RSU obtenida en la etapa de caracterización.

Tabla 1. Características del SC de Tlalpujahua utilizadas en el Modelo Mexicano del Biogás v.2

Prácticas de diseño y manejo	Incendio	Control en la cubierta de los RSU	Recubrimiento inferior	Compactación regular	Disposición de RSU en área específica	Captura de biogás	Existencia de lixiviado
Sitio con manejo	No	20%	No	Si	Si	No	No

Una vez obtenidos los resultados se calcularon las toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq), que se generarían por un periodo de 50 años, con la ecuación 1 [14].

$$tCO_2eq = (tCH_4 \cdot 25) + (tCO_2) \quad (1)$$

Donde:

tCO₂eq = Toneladas de CO₂eq

tCH₄ = Toneladas de CH₄ producidas en un año

tCO₂ = Toneladas de CO₂ producidas en un año

25 = Potencial de calentamiento global del CH₄

2.3. Lista de Verificación

La Lista de Verificación (LV) fue elaborada por Línea de Investigación “Tratamiento de Contaminantes y Gestión Ambiental”, del Instituto Tecnológico de Toluca, con base en la NOM-083-SEMARNAT-2003 [3] y consta de preguntas divididas en siete apartados: Proyecto ejecutivo y evaluación, Restricción para ubicación del sitio, Estudio y análisis previos para la selección del sitio, Estudio y análisis previos en el sitio, Características constructivas y operativas del sitio, además de Clausura del sitio [15].

Esta herramienta se utilizó para evaluar la forma en que opera y el estado actual de las instalaciones del SC. Su aplicación se realizó en conjunto con el personal de servicios públicos de Tlalpujahua, además se emplearon mapas y bases de datos oficiales de distintas fuentes, como Mapa Digital de México [9], Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas [16], así como de Áreas naturales protegidas [17].

2.4 Matriz de Leopold

Para realizar la evaluación ambiental del SC se empleó la Matriz de Leopold, la cual consiste en un cuadro de doble entrada, en el que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados, y como columnas las acciones que vayan a tener lugar y que serán causa de posibles impactos ambientales.

Para la aplicación de esta herramienta también se hizo uso de información recabada, mencionada en la LV [9], [16], [17].

En la Matriz de Leopold cada cuadrícula de interacción se divide en dos columnas, haciendo constar en la parte izquierda la magnitud (M) precedida del signo + o -, según el impacto sea positivo o negativo, en una escala del 1 al 10. En la columna derecha se sitúa la importancia (I), también en escala de 1 al 10 [18] y únicamente se emplean valores positivos. La tabla 2 indica los criterios considerados para asignar los valores M e I a cada interacción, los cuales fueron recopilados de los trabajos de [19] - [21].

Tabla 2. Criterios de evaluación de impacto ambiental

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	EVALUACIÓN	DEFINICIÓN
MAGNITUD	INTENSIDAD	Baja (1-3)	Intensidad baja de la actividad
		Media (4-6)	Intensidad media de la actividad
		Alta (7-9)	Intensidad alta de la actividad
		Muy alta (10)	Intensidad muy alta de la actividad
	AFECTACIÓN	Baja (1, 4, 7)	La intensidad define si la magnitud es baja en los diferentes niveles
		Media (2, 5, 8)	La intensidad define si la magnitud es media en los diferentes niveles
		Alta (3, 6, 9)	La intensidad define si la magnitud es alta en los diferentes niveles
IMPORTANCIA	INFLUENCIA	Puntual (1-3)	La afectación del sitio o sus alrededores
		Local (4-6)	La afectación llega a una distancia mayor a 500 del límite del SDF
		Regional (7-9)	La afectación llega más allá del municipio donde se localiza el SDF
		Nacional (10)	La afectación cubre todo el territorio nacional
	DURACIÓN	Temporal (1, 4, 7)	Está determinado por el tiempo de afectación y siempre que la misma sea esporádica y pueda revertirse
		Media (2, 5, 8)	La afectación es de mayor frecuencia en el tiempo y es más duradera
		Permanente (3, 6, 9)	La afectación es continua en el tiempo y no se puede revertir

La calificación ambiental (Ca) es una expresión numérica que se estima para cada impacto [22] mediante la ecuación 2. La tabla 3 muestra los valores de rangos utilizados para determinar la magnitud de la afectación y evaluar el nivel de significancia.

$$Ca = \sqrt{\frac{m \times i}{n}} \quad (2)$$

Donde:

m = magnitud

i = intensidad

n = número de interacciones

Tabla 3. Rangos de valor del nivel de significancia

RANGOS DE <i>Ca</i>	SIGNIFICADO
0 a 2.5	Bajo
2.6 a 5.5	Moderado
5.6 a 7.5	Severo
7.6 a 10	Crítico

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de residuos sólidos urbanos

La caracterización de RSU del SC de Tlalpujahua, se realizó de acuerdo a los 27 subproductos que indica la Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 [12], de los cuales 11 no se encontraron en el SDF, por el contrario se hallaron subproductos diferentes que se incluyeron, los cuales fueron PET, residuos peligrosos (RP) y pilas eléctricas. Además, la NMX-AA-022-1985 considera a los pañales desechables como un subproducto, el cual se agrupó con el papel higiénico y las toallas sanitarias en un subproducto nombrado “Residuos higiénicos” (Figura 3).

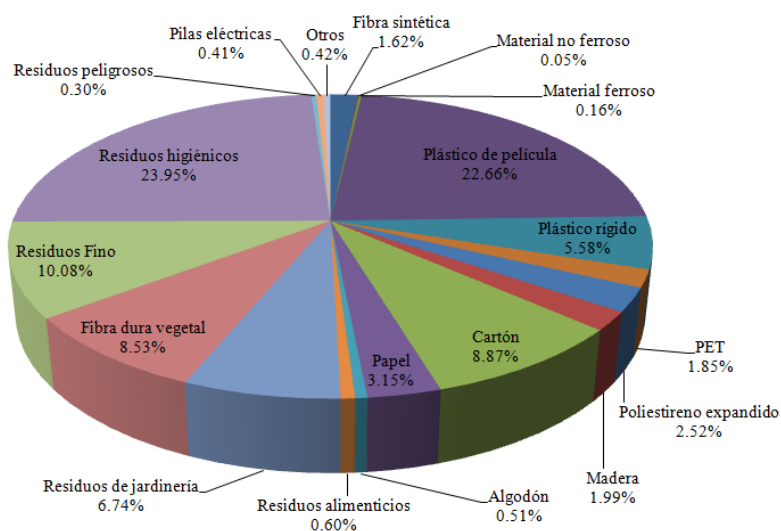


Figura 3. Composición de residuos sólidos urbanos de Tlalpujahua

Mediante la caracterización fue posible determinar que el subproducto que se dispone en mayor cantidad fueron los Residuos higiénicos (23.9%), mientras que los materiales ferrosos y no ferrosos se encontraron en menor cantidad, con 0.16% y 0.05%, respectivamente; el porcentaje de RP obtenido fue 0.30% y de pilas eléctricas 0.41%.

La cantidad de Residuos alimenticios y de jardinería que se disponen es baja (0.6 y 6.74%, respectivamente), debido a que una gran parte de la población de Tlalpujahua utiliza estos residuos en sus cultivos o para alimentar animales, sin embargo los que llegan al SC (7.34%), podrían aprovecharse para la elaboración de composta [23] - [25].

Desde otra perspectiva, los subproductos como el material ferroso y no ferroso, plástico rígido, PET, cartón y papel que suman el 19.66%, podrían ser comercializados evitando su disposición final [26], [27].

3.2. Estimación de generación de biogás

Con el Modelo Mexicano del Biogás se estimó una fracción degradable de 42.9% en los RSU del SC de Tlalpujahua, compuesta por Residuos alimenticios, de jardinería, madera, papel, cartón, papel higiénico, 20% de los pañales y otros orgánicos; y se obtuvo que se genera actualmente un flujo de 37.15 m³/h de biogás, con 50% de CH₄, este flujo se incrementará hasta un año posterior a la clausura del SDF, es decir en el año 2031, alcanzando un flujo máximo de 73.52 m³/h; posteriormente su producción comenzará a disminuir (Figura 4). Estos flujos son menores a 100 m³/h como los reportados por [28] para cinco SDF tipo C del Estado de México, con composiciones de RSU distintas y una operación inadecuada, puesto que la cantidad de RSU depositada es menor a 50 toneladas por día y la operación inadecuada propicia que la producción de metano sea baja. Para el SC de Tlalpujahua el flujo de biogás, aún para su año máximo de generación, no supera los 100 m³/h, lo cual puede atribuirse a que la disposición de RSU es entre 15 y 20 t/d.

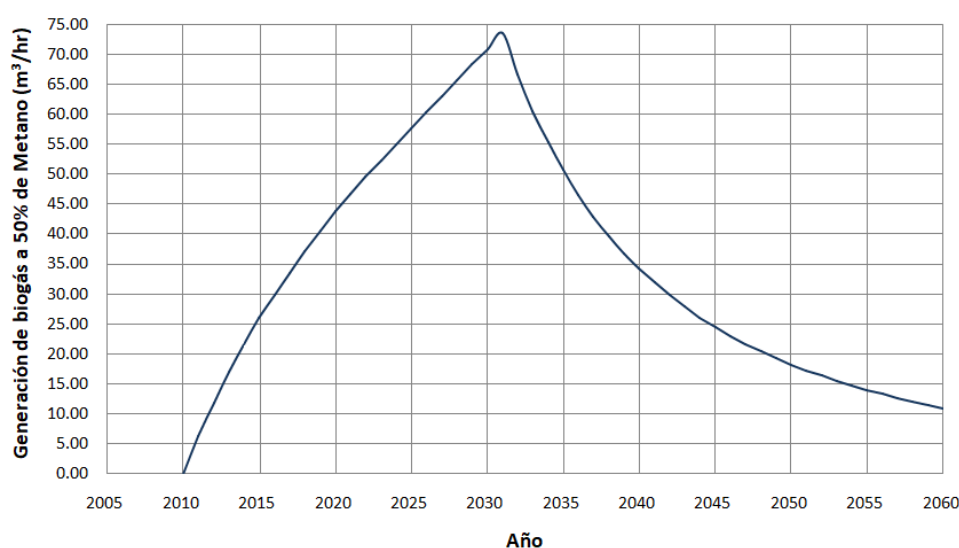


Figura 4. Proyección de generación de biogás del Sitio Controlado de Tlalpujahua

Por otra parte, como se observa en la figura 4, la generación de biogás continuará después de la clausura del SC, pero la tasa de generación de biogás disminuirá, debido a que continuará la degradación de la materia orgánica, en la que se agotarán inicialmente los nutrientes disponibles y posteriormente los sustratos lentamente degradables [29]. Por lo tanto, al no contar con la infraestructura necesaria para manejarlo adecuadamente, en total se emitirán a la atmósfera durante el tiempo de operación del SC y 30 años posteriores a su clausura 15,106 t de CO₂ y 5,477 t de CH₄, donde estas últimas que equivalen a 136,929 tCO₂eq, lo que suma un total de 152,035 tCO₂eq.

3.3. Aplicación de la Lista de Verificación

En el SC se disponen de 15 a 20 t/d, por lo que se clasifica como tipo C y de acuerdo con la LV, cumple con 26% de las disposiciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003, aplicables a los SDF de este tipo. En la tabla 4 se muestra la evaluación de cumplimiento para cada una de las secciones de la LV y sus áreas de oportunidad, entre las que destacan el llevar a cabo la compactación y cobertura de los RSU diariamente, aumentar la recuperación y aprovechamiento de valorizables, implementar drenaje pluvial, pozos de monitoreo de agua, e infraestructura para el control de biogás y lixiviados, así como también complementar el manual de operación y los registros actuales, además de aplicarlos.

Tabla 4. Resultado de la aplicación de la Lista de Verificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003 de Tlalpujahua.

en el SC

CATEGORÍA	CUMPLIMIENTO		ÁREA DE OPORTUNIDAD
1. Proyecto ejecutivo y evaluación	1/1	100%	
2. Restricción para ubicación del sitio	6/6	100%	
3. Estudios y análisis previos para la selección del sitio	0/0	0%	No aplica para sitios de disposición tipo C
4. Estudios en el sitio previos a la construcción y operación	1/8	13%	Realizar los estudio topográfico (con estudios de laboratorio, evaluación geológica e hidrogeológica)
5. Estudios de generación y composición	1/1	100%	
6. Características constructivas y operativas del sitio	8/45	18%	Colocar suelo con espesor de 1m de cobertura final Garantizar un coeficiente de conductividad hidráulica de al menos 1×10^{-7} cm/s sobre la zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final Implementar compactación y cobertura diaria de los residuos, drenaje pluvial, pozos de monitoreo de agua, recuperación de valorizables e infraestructura para el control de biogás y lixiviados Destinar un área de emergencia para recepción de RSU y RME Complementar el manual de operación y los registros actuales Desarrollar un programa de monitoreo de impactos ambientales y de acuíferos
7. Clausura del sitio	1/7	14%	Elaborar un programa de mantenimiento postclausura y de uso final del SDF
Cumplimiento	18/68	26%	

3.4. Aplicación de la matriz de Leopold

En la matriz de Leopold (Figura 5) se obtuvieron 136 interacciones entre las actividades del SC y los componentes afectados, de las cuales 121 (89%) fueron afectaciones negativas y 15 (11%) fueron positivas. Los resultados obtenidos indican que las actividades realizadas actualmente en el SC ocasionan impactos con un nivel de significancia “Severo” en los componentes ambientales; causan impactos negativos en el suelo disminuyendo su calidad e implican cambios en el uso, los cuales van más allá del lugar donde se ubica el SC y tienen una duración media; pueden causar afectaciones en aguas subterráneas y superficiales, este impacto puede llegar más allá del municipio y tener una duración media; de igual forma son las afectaciones a la atmósfera causadas por las emisiones de gases y olores; así mismo existe la remoción de cobertura vegetal afectando a la flora; y debido al alejamiento de especies nativas y a la proliferación de nuevas especies, se tienen afectaciones a la fauna, estas afectaciones en flora y fauna van más allá de la zona del SC y pueden tener una duración permanente.

En la mayoría de los componentes económicos se identificó que el nivel de significancia del impacto como “Moderado”, puesto que existen impactos positivos al evitar que los RSU se dispongan en sitios no

autorizados y con ello se cuidan las vistas escénicas; se generan beneficios en la salud de la población y la calidad de vida; además, quienes comercializar RSU valorizables recuperados del SC obtienen un ingreso económico adicional.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se clasificaron las actividades que se llevan a cabo en el SC, de acuerdo al nivel de significancia del impacto, de tal forma que la contratación de maquinaria, personal y servicios tiene un impacto moderado; el transporte y descarga de residuos causa un impacto “Moderado” y la disposición de RSU, RME y RP, la compactación y cobertura, así como el manejo de biogás y lixiviados generan un impacto “Severo”.

MATRIZ DE LEOPOLD SCT				ACTIVIDADES DE LA DISPOSICIÓN DE RSU EN STC													AFECTACIONES				NIV. DE SIG.			
Leyenda:	Magnitud	Importancia		1. Transporte y descarga	2. Disposición de RSU y RME	3. Disposición de RP	4. Compactación y cobertura	5. Manejo de biogas generado	6. Manejo de lixiviados	7. Contratación de maquinaria, personal y servicio	AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	NUMERO DE INTERACCIONES	AGREGACIÓN DE IMPACTOS	BAJO	MODERADO	SEVERO	CRÍTICO						
Magnitud: Intensidad del impacto que se puede ocasionar, siendo máxima 10 y mínimo 1. Impacto positivo (+) / Impacto negativo (-)																								
Importancia: Escala del impacto (local, regional, etc.), siendo máximo 10 y mínimo 1.																								
Agregación de impactos y nivel de significancia determinado respecto a la ecuación 2 y tabla 3																								
COMPONENTES BIOFÍSICOS	CATEGORÍA	ATRIBUTO																						
	SUELO	Calidad del suelo		-10	5	-10	6	-10	6	-8	5	-8	5	-10	6	-2	1	0	7	7	-312			6.7
		Cambio de uso de suelo		-10	5	-10	6	-10	5	-8	6	-10	5	-10	6	-2	1	0	7	7	-320			6.8
	AGUA	Estabilidad de suelo		-5	5	-8	3	-6	5	-9	5	-8	5	-9	5	1	1	1	6	7	-208		5.5	
		Subterránea		-4	8	-8	5	-10	5	-5	5			-10	8			0	5	5	-227			6.7
	ATMÓSFERA	Calidad del agua		-5	8	-5	8	-5	5	-5	5			-10	5			0	5	5	-180			6.0
		Material particulado		-4	4	-6	5	-2	1	-6	5					-2	1	0	5	5	-80		4.0	
		Ruidos		-4	4	-4	4			-1	1					-2	1	0	4	4	-35		3.0	
		Gases		-4	7	-10	8	-8	4	-10	8	-10	8	-10	8	-2	1	0	7	7	-382			7.4
		Olores		-2	4	-8	4	-8	4	-8	4	-10	5	-10	8			0	6	6	-234			6.2
FLORA	Productos agrícolas (maíz)																							
	Remoción de cobertura vegetal		-10	5	-10	5	-10	6	-5	2	-10	5	-10	5	-2	1	0	7	7	-272			6.2	
FAUNA	Alejamientos de especies nativas		-8	5	-9	2	-10	6	-9	2	-10	5	-10	5	-2	1	0	7	7	-238			5.8	
	Proliferación de nuevas especies		-8	4	-9	2	-9	3	-9	2	-8	4	-8	4			0	6	6	-159		5.1		
COMPONENTES ECONÓMICOS	ESTÉTICA	Vistas escénicas y panorámicas		4	4	-10	5	-10	5	-10	5	-2	5					1	4	5	-144		5.4	
		Calidad del espacio abierto		-4	4	-10	5	-10	5	-10	5	-8	5	-6	6			0	6	6	-242			6.4
		Parques y reservas forestales		-2	4	-4	4	-5	4	-4	4	-4	4	-5	4			0	6	6	-96		4.0	
	SOCIAL	Salud poblacional y laboral		5	4	-8	4	-9	6	-8	4	-10	5	-8	4	2	4	2	5	7	-172			5.0
		Seguridad laboral		-6	2	-8	5	-10	3	-8	5	-10	5	-8	4	-2	1	0	7	7	-206		5.4	
	ECONÓMICO	Calidad de vida		6	4	-7	4	-7	4	-7	4	-6	4	-7	5	2	3	2	5	7	-113			4.0
		Ingresos económicos adicionales		2	2	2	2	-4	3	-4	4	-4	3			2	4	3	3	6	-24	2.0		
		Sitios de interés arqueológico / cultural		5	4	4	4	-4	3	-5	3	-4	3	-4	3			2	4	6	-15	1.6		
		Uso potencial del suelo		-4	4	-7	4	-10	5	-7	4	-7	4	-10	5	2	4	1	6	7	-192			5.2
		Emprendimientos productivos		2	2	2	2	-8	7	-5	5	-4	3			1	3	3	3	6	-82			3.7
AFECTACIONES	AFECTACIONES POSITIVAS				6	3	0	0	0	0	0	6	15											
	AFECTACIONES NEGATIVAS				16	19	21	22	18	17	8		121											
	NUMERO DE INTERACCIONES				22	22	21	22	18	17	14							136						
	AGREGACIÓN DE IMPACTOS				-351	-688	-790	-672	-646	-804	18								-3933					
NIV. DE SIG.	BAJO										1.1													
	MODERADO				4.0																			
	SEVERO					5.6	6.1	5.5	6.0	6.9													5.4	
	CRÍTICO																							

Figura 5. Matriz de Leopold del Sitio Controlado de Tlalpujahua

4. Conclusiones

Si los habitantes de Tlalpujahua entregaran separados sus residuos orgánicos e inorgánicos y la recolección fuera diferenciada, se evitaría que llegara a su SC el 27% de los RSU que se disponen actualmente en él.

Debido a que el SC de Tlalpujahua carece de la infraestructura necesaria para el manejo del biogás, se estima que se emitirán a la atmósfera durante su tiempo de operación y 30 años posteriores a su clausura sobre 5,477 t de CH₄ que equivalen a 136,929 tCO₂eq.

La LV y la matriz de Leopold se complementan, debido a que la LV evidenció que el SC cumple solo con el 26% de las especificaciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003 para un SDF tipo C, mientras que la

matriz de Leopold permitió identificar que su infraestructura y condiciones de operación actuales, ocasionan que el nivel de significancia del impacto en algunos componentes biofísicos sea “Severo”, además que para la mayoría de los componentes económicos sea “Moderado”; por lo tanto, el uso de ambas herramientas es útil para detectar las áreas de mejora que deben atenderse a corto plazo, para evitar que el SC de Tlalpujahua se convierta en un TCA.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT- CONACYT 2015 mediante el proyecto 263315. Los autores agradecen a las autoridades del Municipio de Tlalpujahua, Mich. todo su apoyo y al Instituto Tecnológico de Toluca por las facilidades brindadas.

Referencias bibliográficas

- [1] Arellano, J., Guzmán, J. (2011). Ingeniería Ambiental. Ciudad de México, México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- [2] DOF. (2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 22 de mayo de 2015.
- [3] DOF. (2004). 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. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 20 de octubre de 2004.
- [4] Colomer, F., Altabella, J., García, F., Herrera, L., Robles, F. (2013). Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental. Caso de España. *Ingeniería*, 17(2), 141 -151. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46730913005>.
- [5] Bernache, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región centro occidente de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 97-105. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37025166015>.
- [6] INEGI. (2016). Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825087340>.
- [7] INEGI. (2011). Compendio de información geográfica municipal 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>
- [8] SEDESOL. (2017). Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2017. Secretaría de Desarrollo Social. México. Recuperado de http://diariooficial.gob.mx/SEDESOL/2017/Michoacan_093.pdf
- [9] INEGI. (2017). INEGI (2017). Mapa digital de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>
- [10] DOF. (2017). Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2016, Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra (cancela a la NMX-AA-132-SCFI-2006). Diario Oficial de la Federación (DOF). Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5475373&fecha=06/03/2017

- [11] DOF, 1992a. NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - Método de cuarteo. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 6 de noviembre de 1992.
- [12] DOF, 1992b. NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 6 de noviembre de 1992.
- [13] Vera, I., Martínez, J., Estrada, M., Ortiz, A. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 16(3), 471 – 478.
- [14] OECC. (2016). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm7-379901.pdf
- [15] Díaz-Archundúa, L. V. (2016). Diagnóstico de la generación de biogás en tres sitios de disposición de residuos sólidos urbanos en el estado de México (Tesis de doctorado). Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Estado de México.
- [16] CONAGUA. (2017). Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <http://sigagis.conagua.gob.mx/aprovechamientos/>
- [17] CONANP. (2017). Reserva Biosfera Mariposa Monarca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de <http://mariposamonarca.conanp.gob.mx/>
- [18] Conesa, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Madrid, España: Artes Gráficas Cuesta, S. A.
- [19] Conesa, V. (1993). Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa.
- [20] Madrid, V. E. (2011). Plan de manejo integral de residuos sólidos de mercado central del cantón esmeraldas. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- [21] Mendoza-Delgado, G. I. (2017), Evaluación del impacto ambiental de tiraderos a cielo abierto de municipios vecinos del Estado de México, Morelos y Guerrero (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Estado de México.
- [22] Espinoza, G. (2002). Gestión y fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo. Chile. Recuperado de <http://www.ced.cl/ced/wp-content/uploads/2009/03/gestion-y-fundamentos-de-eia.pdf>.
- [23] Seng, B., Hirayama, K., Katayama-Hirayama, K., Ochiai, S., Kaneko, H. (2012). Scenario analysis of the benefit of municipal organic-waste composting over landfill, Cambodia. *Journal of Environmental Management*, 114 (2013), 216-224.
- [24] Neugebauer, M., Solowiej, P. (2017). The use of green waste to overcome the difficulty in small scale composting of organic household waste. *Journal of Cleaner Production*, 156 (2017), 865-875.
- [25] Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., Sánchez, A. (2017). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology*, 248 (2018), 57–67.

- [26] Dahlbo, H., Poliakova, V., Mylläri, V., Sahimaa, O., Anderson, R. (2017). Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. *Waste Management*, 71 (2018), 52–61
- [27] Kieckhäfer, K., Breit, A., Spengler, S. (2016). Material flow-based economic assessment of landfill mining processes. *Waste Management*, 60 (2017), 748–764
- [28] Cárdenas, P., González, R., Núñez, J. F., Colomer, F. J., Robles, F. (2013). Cálculo del biogás generado en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. *V Symposium Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, Mendoza, Argentina.
- [29] Hernández-Contreras, G. I. (2015b), Caracterización microbiana durante el proceso de degradación acelerada de residuos sólidos urbanos (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Estado de México.

Límites de control aplicados en el monitoreo de la degradación de residuos sólidos urbanos

¹Xochitl Quecholac Piña, ¹María del Consuelo Mañón Salas, ²Alethia Vázquez Morillas, ¹María de Consuelo Hernández Berriel

¹ Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n Ex-Rancho La Virgen, Metepec, Edo. de México-México, tel. 5530488794, xquecholacp@toluca.tecnm.mx,

²Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

Resumen

La composición heterogénea de los residuos sólidos urbanos representa un sistema complejo, por lo que es necesario recurrir a sistemas a nivel laboratorio para estimar el comportamiento del proceso de degradación. En este trabajo se utilizó un lisímetro construido con acrílico de forma cilíndrica (1.9 m de alto y 0.5 m de diámetro), se llenó con una mezcla sintética de residuos que representa la composición típica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Se realizó una recirculación del 30% V/V lixiviados cada siete días. Se analizó la composición del biogás (CH₄ y CO₂) y se caracterizaron los lixiviados a través de pH, conductividad y demanda química de oxígeno durante 637 días. Los resultados se dividieron en: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis. En cada etapa se determinó la media, desviación estándar e intervalos de confianza, estadísticos para todos los parámetros, que permitieron definir los límites de control superior e inferior. La mayoría de los parámetros analizados se encontraron dentro de los límites de control establecidos, se puede decir que el sistema se encuentra bajo control estadístico. Sin embargo, se observan tendencias que indican que existe una (“reducida”/“marcada”) variabilidad en los parámetros de estudio. Al compararlos con los resultados de referencia estos se encuentran dentro de los valores máximos y mínimos reportados. El lisímetro representa bien una celda de un relleno sanitario debido a que se observó la disminución de la concentración de todos los parámetros fisicoquímicos en un periodo de tiempo, como sucede en el funcionamiento de estas instalaciones.

Palabras Clave: *lisímetro, degradación anaerobia, control de procesos*

1. Introducción

La generación estimada de residuos sólidos urbanos (RSU) en México para el 2017 fue 44,646.66 millones de toneladas, con una composición: 14.20 % papel y cartón, 1.44% textiles, 11.04% plásticos, 6.09% vidrio, 1.79% aluminio, 1.17% metales ferrosos, 0.69% metales no ferrosos y 51.61% residuos orgánicos [1]. Los materiales reciclables que se encuentran en los RSU pueden ser recuperados a través de la segregación, de tal forma lo que no se recicla puede ser dispuestos en rellenos sanitarios, rellenos de tierra controlados y tiraderos a cielo abierto.

Una de las prácticas realizadas para incrementar el contenido de humedad y aumentar la degradación de los RSU en los rellenos sanitarios es la recirculación de lixiviados [2]. Para evaluar la eficiencia de la recirculación se realiza el monitoreo de algunos de los parámetros del procesos de degradación de los RSU. Como pueden ser el pH, conductividad, DQO y composición de biogás.

1.1 Control de procesos

Un proceso biológico está sometido a un conjunto de factores de carácter aleatorio, que hacen imposible que dos procesos operen exactamente igual. Tal y como sucede en una masa de RSU en un relleno sanitario, su operación no es uniforme y presenta cierta variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de ciertos límites. El control estadístico de procesos es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo. Dado su uso al inicio y durante el proceso, se considera una herramienta que contribuye a mejorar la calidad del mismo, además de facilitar un mayor conocimiento sobre éste, conduciendo a su mejora. Los gráficos de control permiten distinguir entre causas especiales y causas comunes de variación. Sus elementos básicos son la línea central,

que representa el nivel medio de los valores de dicha característica y los límites de control (LC), superior (LCS) e inferior (LCI) [3].

El gráfico de control es, por tanto, la representación de sucesivas realizaciones de la variable aleatoria τ . Sea μ_τ el valor medio de dicho estadístico (es decir $E(\tau) = \mu_\tau$) y sea σ_τ su desviación típica (es decir, $\text{Var}(\tau) = \sigma^2_\tau$). La estructura de un gráfico de control es la siguiente:

$$\text{Límite de control superior (LCS)} = \mu_\tau + L_s \sigma_\tau$$

$$\text{Línea central (LC)} = \mu_\tau$$

$$\text{Límite de control inferior (LCI)} = \mu_\tau - L_i \sigma_\tau$$

Donde LCS y LCI son las distancias de los límites de control a la línea central, en términos de la desviación típica del estadístico utilizado. Se emplea la misma distancia para el LCS y LCI, es decir, $\text{LCS} = \text{LCI} = \text{LC}$. La idea es elegir L de tal manera que si el proceso está bajo control sea muy probable que la evolución de τ se desarrolle dentro de los límites, pero que si el proceso sale de control, sea muy probable que τ se coloque fuera de dichos límites y se pueda dar una señal de alarma. Usualmente, se elige $\text{LC} = 3$, en el caso en que el estadístico τ utilizado siga una distribución normal, o razonablemente aproximada, el intervalo de $\mu_\tau \pm 3\sigma_\tau$ corresponderá con el 99.7% de la población. Existe, no obstante, una probabilidad de 0.003 (0.3 %) de que se esté fuera de los límites sin estar fuera de control. Las observaciones se miden en una escala numérica: tiempo, pH, DQO, CH_4 y CO_2 . El control estadístico de este tipo de variables se le denomina control por variables y se sustenta en los puntos que se describen a continuación:

Distribución Normal, depende de dos parámetros: media (μ) y desviación típica (σ) respectivamente. *El Teorema del Límite Central (TLC) establece*, que si una variable aleatoria se obtiene como una suma de muchas causas independientes, siendo cada una de ellas de poca importancia respecto al conjunto, entonces su distribución es asintóticamente normal (Ec. 1) [3].

Es decir: Si $X = x_1 + x_2 + \dots + x_i + x_n$ donde las x_i son variables de μ_i , y σ_i^2

Entonces:

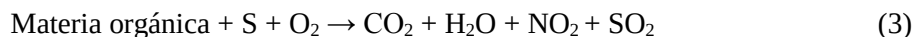
$$X \rightarrow N \left(\sum_{i=1}^n \mu_i, \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \right) \quad (1)$$

Con objeto de comparar la capacidad del proceso, es decir, que los resultados se encuentren dentro de las especificaciones superior e inferior y la amplitud (la diferencia entre la tolerancia superior e inferior) de las tolerancias a satisfacer, se define el índice de capacidad de proceso (Ec. 2) [3]:

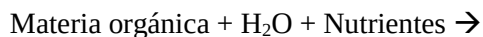
$$C_p = T_s - T_{ic} / 6\sigma \quad (2)$$

Proceso de biodegradación

La biodegradación es un proceso natural por el cual los productos químicos orgánicos presentes en el ambiente se convierten en compuestos más simples, son mineralizados y redistribuidos a través de ciclos elementales, tales como los ciclos del carbono, nitrógeno y azufre [4]. Los factores que inciden en la biodegradación de un material, específicamente de un polímero, son su composición, su estructura y las condiciones ambientales del medio, bajo condiciones abióticas y bióticas [5]. Si el proceso requiere oxígeno para llevarse a cabo, se clasifica como biodegradación aerobia, la cual consiste en una degradación acelerada de la materia orgánica heterogénea por una población microbiana mixta en un ambiente húmedo, cálido y bajo condiciones controladas [6]. El proceso se describe en la ecuación 3.



Por otro lado, en la degradación anaerobia, la desintegración de material orgánico se realiza en ausencia de oxígeno para producir biogás (metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, hidrógeno), agua y biomasa. Se produce como consecuencia de una serie de interacciones metabólicas entre los diversos grupos de microorganismos [7]. Los productos principales son el CH₄, CO₂ y una proporción menor al 1% de otros gases como el N₂, NH₃, H₂ y H₂S [8]. El proceso se describe en la ecuación 4.



El proceso de digestión anaerobia se lleva a cabo en cuatro fases: Hidrólisis: hay producción de CO₂ por la descomposición de la materia orgánica; Acidogénesis: disminución del pH debido a la producción de ácidos grasos volátiles; Acetogénesis: disminución de CO₂, incremento del pH; Metanogénesis: incremento de la concentración de CH₄ y pH. Cualquier sustrato que se encuentre en un proceso de degradación anaerobia es afectado por la presencia de ácidos grasos volátiles (AGV), de sulfuros, amoníaco, metales pesados o cambios en las condiciones ambientales como el pH, temperatura y potencial redox e hidrógeno. Estos factores rompen el equilibrio simbiótico entre las fases [9].

Conforme a lo anterior el objetivo de este trabajo fue calcular los límites de control superior e inferior de los parámetros: pH, conductividad, DQO y composición de biogás (CH₄ y CO₂) que se monitorearon en un lisímetro. Con ello se busca facilitar la comparación con resultados de referencia y determinar si el lisímetro representa en forma adecuada una celda de un relleno sanitario.

2. Metodología

Se utilizó un lisímetro de forma cilíndrica de material de acrílico con dimensiones de 1.9 m de alto y 0.5 m de diámetro. Se llenó con una mezcla sintética de RSU, que representa la composición típica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, compuesta con el 44% de materia orgánica, 20% papel y cartón, 4% vidrio, 4% metal, 2% textil, 13% plástico, 1% madera, 7% pañal desechable, y 5% otros. Los componentes de la mezcla se cortaron con dimensiones menores a 5 cm. El lisímetro se llenó con una capa de tezontle de 10 cm, posteriormente con los RSU previamente homogenizados y humedecidos, compactando con un peso de 72 kg. Al finalizar se agregó una capa de tezontle de 10 cm y 10 cm de composta como material de cobertura. Se colocó perfocel para la distribución de los lixiviados durante la recirculación. La duración de la experimentación fue de 637 días.

2.2 Muestreo

Cada siete días se realizó la caracterización del biogás. Se tomó la muestra directamente del lisímetro y se midió la concentración de sus componentes en un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies, modelo 7890B con dos detectores TCD (temperatura de operación de los TCD 180°C, temperatura del horno: 50 °C, gas de arrastre: argón, volumen de inyección: 20 mL, con cinco columnas: MolSieve 13x y 5A, Hayasep Q y T). Posteriormente se extrajeron los lixiviados, a los cuales se analizaron semanalmente el pH (Técnica: NMX-AA-025-1984), conductividad (Técnica: Electroquímico, método 2510B) y cada cinco semanas DQO (Técnica: Método 8000, HACH). Una vez extraídos los lixiviados se realizó una recirculación del 30% V/V [10].

2.3 Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico se dividieron los datos en tres fases, hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis, dado que es complejo separar la acetogénesis de la metanogénesis [11], de acuerdo a los cambios que se notaron cualitativamente en el parámetro de pH en la gráfica general. Se analizaron los parámetros de pH, conductividad, DQO, CH₄ y CO₂. En cada fase se determinó el máximo, mínimo, rango, media (μ), desviación estándar (σ) y la varianza (σ^2).

En la tabla 1 se muestran los parámetros de referencia tomados de la literatura en las tres fases. La composición de los RSU, así como el porcentaje de recirculación, es similar a lo utilizado en este trabajo.

Tabla 1. *Parámetros de literatura de referencia en las tres fases*

Fase/Parámetro	Días	pH	Conductividad	DQO	%CO ₂	%CH ₄	Referencia
40% V/V de recirculación una vez a la semana/lixiviados jóvenes de fosa de RESA a 21°C ±2°C							
Hidrólisis	7	7.5	13.9	40000	60%	-	[12]
Acidogénesis	8-39	7.3-7.6	12-13	40000-16000	60-85%	5-35%	
Metanogénesis	40-223	8.1-7.9	15.5-12	15000-2000	10-40%	10-80%	
30% V/V de recirculación una vez a la semana/lixiviados de fosa de RESA a 22-25°C							
Hidrólisis	1-100	7-8.5 ^a	20-4	20000 6000	---	<2%	[13]
Acidogénesis	101-183	7.2 8.3 ^b	1-4	20000 40000	---	4.5-61%	
Metanogénesis	184-260	7.3-7.5 ^b	1-5	45000 70000	---	65-80%	
30% V/V de recirculación dos veces por semana/lixiviados generados por los RSU a 23°C ±2°C							
Hidrólisis	1-12	4.9- 5.6	10-21	90000-22000	---	-	[10]
Acidogénesis	17-66	5-5.5	10-4	20000-1000	---	5-30%	
Metanogénesis	69-201	7.4-8	3-5	<500	---	-45-62%	

^a Lixiviados maduros, ^bLixiviados jóvenes

2.4 Análisis del proceso

El análisis del proceso de la degradación de los RSU es complejo, sin embargo, el monitoreo de los parámetros: pH, conductividad, DQO y composición de biogás (CH₄ y CO₂) permite conocer el desarrollo del proceso.

2.5 Diseño de las gráficas de control

Se determinó la media y los límites de control superior e inferior con tres σ con los datos experimentales en cada fase, dando como resultado una gráfica por fase y por parámetro. En la misma gráfica se colocaron los datos de referencia con los valores máximos y mínimos de la tabla 1, para su fácil interpretación y comparación con los resultados de la literatura.

3. Resultados

La recirculación de lixiviados y la adición de elementos traza es una forma de control de la digestión anaerobia [14] la cual se lleva a cabo en la degradación de los RSU así como a incrementar el proceso de biodegradación [15]. Los límites de control del proceso de este trabajo se analizaron con base a los límites máximos y mínimos de los valores de referencia (Tabla 1) y se representan en forma gráfica de la figura 1 hasta la figura 6.

En la tabla 2 se muestra el máximo, mínimo, rango, media (μ), desviación estándar (σ) y la varianza (σ^2) de las variables del control: pH, conductividad, DQO, CH₄ y CO₂ durante 231 días correspondiente a la fase de hidrólisis, en la tabla 3 las de la fase de acidogénesis, entre los 238 y 450 días y en la tabla 4 las de la fase de metanogénesis, que duró del día 462 al 637.

Tabla 2. Variables de control (hidrólisis)

Nombre de variable	Min - Max	Rango	μ	σ	σ^2
pH	5.06 - 5.83	0.78	5.37	0.125	0.016
DQO	17950 - 39525	21475	28986	6757	45656774
Conductividad	8.12 - 16.99	8.87	13.63	1.99	3.97
CH ₄	0 - 48.26	48.26	17.79	17.2	295.84
CO ₂	1.69 - 44.66	42.97	31.49	11.065	122.429

Tabla 3. Variables de control (acidogénesis)

Nombre de variable	Min - Max	Rango	μ	σ	σ^2
pH	5.51 - 7.40	1.89	6.21	0.708	0.502
DQO	905 - 23300	22395	11817.5	9182.4	84316531.2
Conductividad	9.37 - 15.37	6	11.62	1.7	2.89
CH ₄	49.27 - 63.51	14.04	57.19	3.713	13.789
CO ₂	34.81 - 44.18	9.37	38.83	2.23	4.973

Tabla 4. Variables de control (metanogénesis)

Nombre de variable	Min - Max	Rango	μ	σ	σ^2
pH	6.84 - 7.85	1	7.21	0.211	0.045
DQO	122.5 - 431	308.5	325.17	143.35	20550.38
Conductividad	7.2 - 9.1	1.8	8.49	0.494	0.244
CH ₄	50.89 - 61.25	10.36	57.09	2.507	6.284
CO ₂	26.33 - 40.67	14.35	36.05	3.431	11.774

De acuerdo con las gráficas de control todos los parámetros se encuentran dentro de los límites de control, lo que indica que el proceso se encuentra en control estadístico. Todas las observaciones se encuentran dentro de los límites máximos y mínimos de referencia excepto en los casos que se describen a continuación.

En la figura 1a, se muestran las gráficas de control para el pH en la fase de hidrólisis, Olay [13] y Hernández [12] reportan valores máximos de 7.5 y 8.5 respectivamente, debido a que los lixiviados utilizados en la recircularon procedían de lagunas de lixiviados y probablemente se habían estabilizado, aumentado los valores de pH, mientras que los valores reportados por Hernández [10] coinciden con los límites máximos y mínimos de este trabajo, al igual que los reportados por Huang y colaboradores [15], debido a que los lixiviados que se utilizaron en la recirculación proceden de los mismos RSU. Lo anterior puede indicar que la procedencia de los lixiviados afectará sus características fisicoquímicas.

En la observación 24 que corresponde a 190 días se observa que el pH se encuentra en el límite superior, que coincide con un ligero incremento en los otros parámetros como son en la conductividad y en la DQO. Un comportamiento similar fue reportados por Huang y colaboradores [15], que observaron un aumento marcado en el pH en 196 días.

En la fase de acidogénesis (Figura 1b) se muestran las observaciones 1 a 16 que corresponden al intervalo de 238 a 378 días. Presentan una tendencia lineal por debajo de la media que posteriormente se incrementa pasando la media. En la observación 17 (385 días) se observa el punto de inflexión que indica el incremento de pH ácido a un pH neutro, lo que sugiere que se ha iniciado la actividad metanogénica [16]. Posteriormente, en las observaciones 18 a 26 (392 a 450 días) se mantiene con una tendencia constante. En este trabajo el pH aumento a neutro después de 385 días, en contraste con lo reportado por Huang y colaboradores [15], que describen un aumento en el pH después de 91 días.

En la figura 1c se muestra la fase de metanogénesis. Se observan valores de pH entre 6.84 y 7.85. Huang y colaboradores [15] reportaron valores cercanos a 7.5 durante un periodo de 196 y 280 días, posteriormente observaron una disminución del pH hasta valores cercanos a 7, dicho comportamiento se observa en este trabajo ya que en el intervalo de 462 a 505 días se observan valores de pH superiores a 7.5 y después de 511 días (observación 8) hay una disminución del pH.

En la figura 2a se muestra el comportamiento de la conductividad durante la fase de hidrólisis, que se encuentra entre los valores de 8.12 y 16.99 mS/cm³. En la gráfica se observa variaciones entre las observaciones, lo anterior se puede deber a que el pH fue menor y se disolvieron algunas sales. En la de acidogénesis (Figura 2b) después de 336 días (Observación 11) se presenta una disminución de la conductividad.

En la fase de metanogénesis (Figura 2c) las observaciones 13, 14 y 15 muestran una disminución de la conductividad, dicha disminución puede deberse a la tendencia de formar hidróxidos, disminuyendo la solubilidad de los compuestos [16]. Sin embargo, durante la fase de metanogénesis el comportamiento de la conductividad se mantiene casi constante entre los valores cercanos a 9 mS/cm³.

En la figura 3a se muestran las gráficas de control para el parámetro de DQO en la hidrólisis. En las observaciones 4 y 6 se observa un incremento, debido a la rápida liberación de compuestos orgánicos complejos en esta fase, los valores de DQO se encontraron entre 18000 y 40000 mg/L.

En la fase de metanogénesis (Figura 3c) los valores de este trabajo son menores a los reportados por Hernández [10] y Hernández [12], debido a que hay una rápida degradación y descomposición anaerobia de los compuestos simples [16]. La concentración de DQO después de 630 días fue de 431 mg/L.

La disminución de la concentración de DQO durante las tres fases concuerda a lo reportado por Huang y colaboradores y Bilgili y colaboradores [17], que la atribuyen a la biodegradación de la materia orgánica en el proceso de degradación anaerobia [15].

En la figura 4 se muestran las gráficas de control para el CO₂. En la figura 4a (Fase de hidrólisis), las observaciones 1 a la 4 (1 a 21 días) se observa variabilidad, lo anterior se pudo deber al periodo de adaptación de los microorganismos. El porcentaje de CO₂ en esta fase osciló entre 1.7 y 44.6 %.

En la fase de acidogénesis (figura 4b) el porcentaje de CO₂ en el biogás se encuentra en un intervalo entre 34.8 y 44.2 %, porcentajes menores a lo reportado por Hernández [12] del 60%.

Mientras que en la fase de metanogénesis (Figura 4c) la concentración de CO₂ fue de 26.3 a 40.6 %. La disminución de la concentración de CO₂ confirma que el proceso se encuentra en la fase de metanogénesis [18].

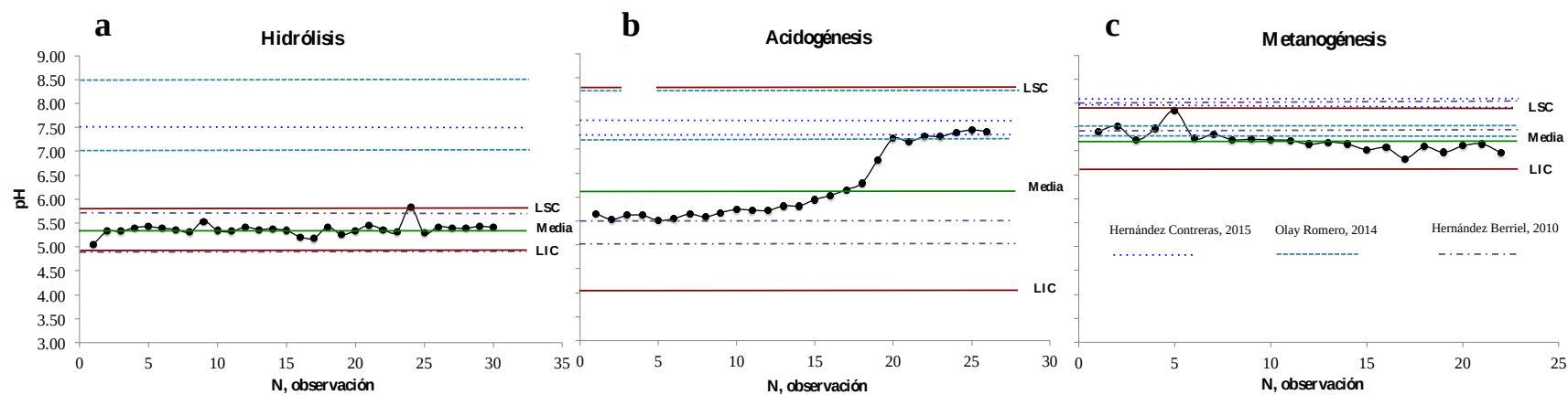


Figura 21. pH en la fases de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis

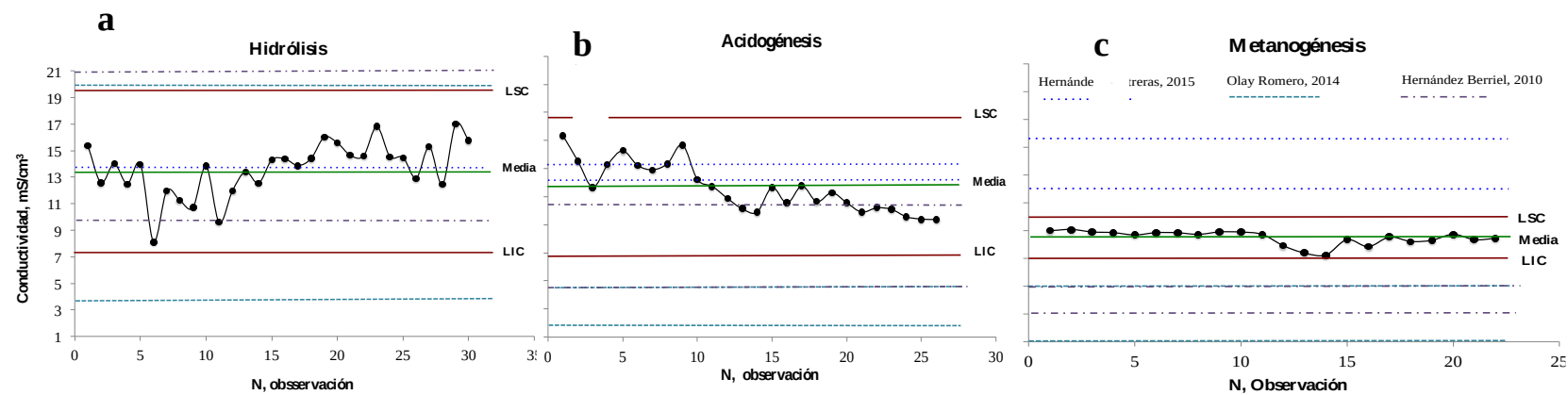


Figura 22. Conductividad en las fases de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis

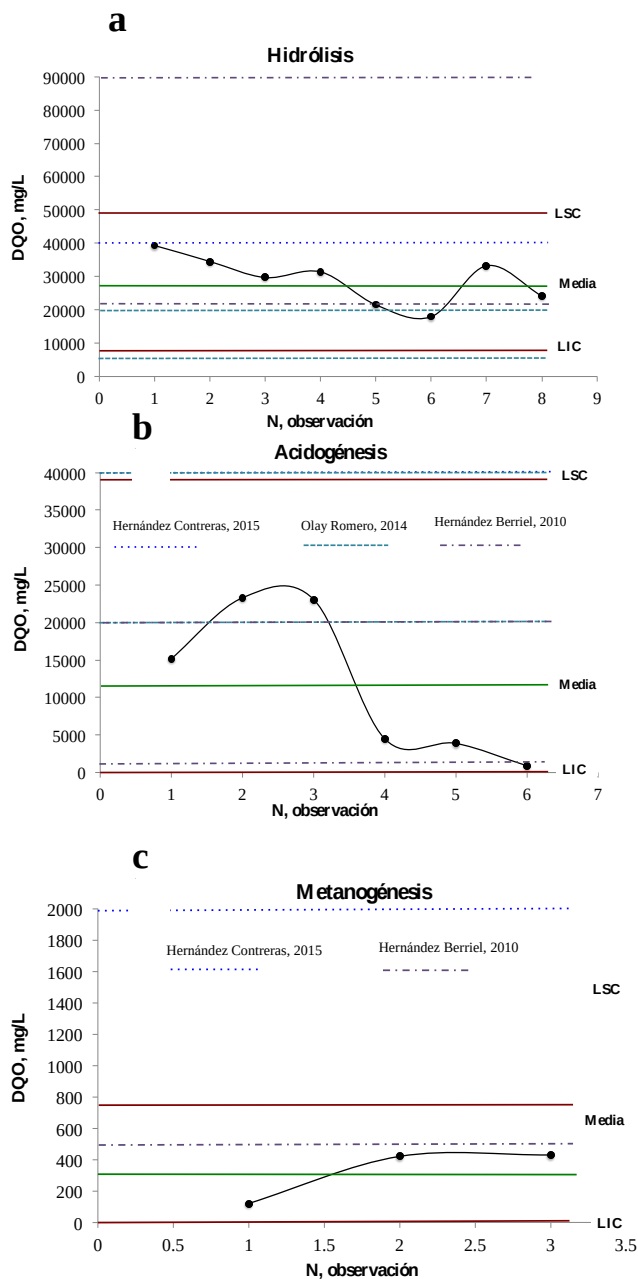


Figura 23. DQO en las fases de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis

En la figura 5 se muestra la gráfica de control para el CH_4 . Los valores de referencia no reportan concentraciones de CH_4 en la fase de hidrólisis. Sin embargo, Huang y colaboradores [15] reportan producción de CH_4 desde el día 21 del proceso. En este trabajo el CH_4 comenzó a producirse después de 77 días (observación 12). Durante la fase de acidogénesis (Figura 5 b) el porcentaje de CO_2 se encuentra entre el 49.5 y 63.5 %

En la fase de metanogénesis (Figura 5c) en la observación 11, correspondiente a 532 días, y en la observación 21 (630 días) se presentan los valores de porcentaje mínimos de CH_4 , en estos dos puntos concuerdan con la disminución de pH, con lo que se confirma lo que reporta. La recirculación de lixiviados aumenta la producción de CH_4 [2],

En la tabla 5 se resumen los parámetros de control que se analizaron durante las tres fases de degradación anaerobia de los RSU en este trabajo. Se observa que aunque en este trabajo el periodo de tiempo fue mayor a lo reportado por los autores que se utilizaron de referencia, el comportamiento de las variables es similar, debido a que la mayoría de los parámetros están dentro de los intervalos de control y de los límites máximos y mínimos de los valores de referencia.

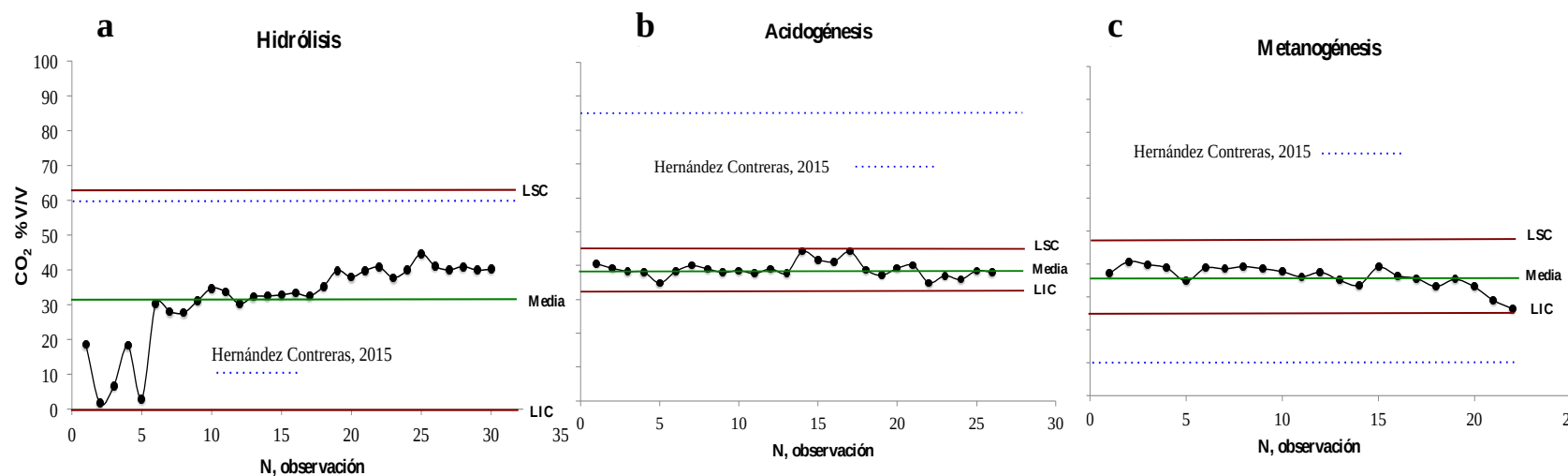


Figura 24. CO₂ en la fases de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis

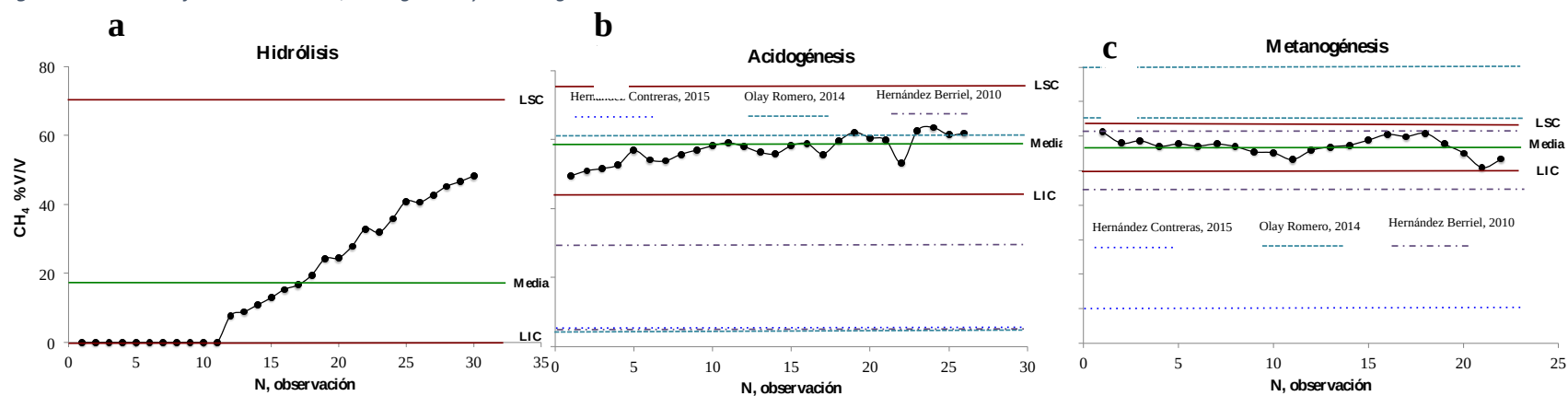


Figura 25. CH₄ en la fases de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis

Tabla 5. Parámetros en las tres fases de este trabajo

Fase/Parámetro	Días	pH	Conductividad	DQO	%CO ₂	%CH ₄
30% V/V de recirculación dos veces por semana/lixiviados generados por los RSU a temperatura ambiente						
Hidrólisis	1 - 231	5.06 – 5.83	8.12 – 16.99	17950 - 39425	1.69 – 44.66	0 – 48.26
Acidogénesis	238 - 450	5.51 – 7.4	9.37 – 15.37	905 - 23300	34.81 – 44.18	49.27 – 63.51
Metanogénesis	462- 637	6.84 – 7.85	7.24 – 9.08	122.5 - 431	26.33 – 40.67	50.89 – 61.25

4. Conclusiones

Las gráficas de control sirven para determinar si el proceso se encuentra en control estadístico a través de los límites, los cuales son una estimación de la amplitud de la variación natural de una variable y permiten identificar los puntos que no se encuentran dentro de dichos límites. Esto ayuda a encontrar las posibles causas de las variaciones en el proceso. Si hay una tendencia con puntos consecutivos hacia alguno de los límites, indica que en el sistema hay un evento fuera de lo normal.

En este caso se puede indicar que hay un cambio de etapa durante el proceso de degradación anaerobia, en donde los puntos consecutivos cambian de estar por debajo de la media a estar en la parte superior de la media. Esta variación hace más fácil identificar los intervalos de las fases de degradación anaerobia. El uso de gráficas de límites de control permitió confirmar que el proceso se encuentra en la fase metanogénica. Además se determinó que a través del uso de un lisímetro se puede representar la celda de un relleno sanitario bajo condiciones controladas.

La degradación de los residuos sólidos urbanos aún no se puede determinar debido a que el lisímetro sigue operando, sin embargo se puede decir que la mayoría de la materia orgánica fácilmente degradable ya se degradó.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al CONACyT por la beca otorgada a través del Programa Nacional de Posgrados de Calidad.

Referencias Bibliográficas

- [1] I. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2017,” 2017.
- [2] M. Di Addario and B. Ruggeri, “Landfill bioreactor technology for waste management,” in *Recycling of Solid Waste for Biofuels and Bio-chemicals*, O. P. Karthikeyan, K. Heimann, and S. S. Muthu, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2016, pp. 211–235.
- [3] P. R. Carro and G. D. González, *Control estadístico de procesos*. Argentina: Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2012.
- [4] R. Chandra and R. Rustgi, “Biodegradable polymers,” *Prog. Polym. Sci.*, vol. 23, pp. 1273–1335, 1998.

- [5] S. Matsumura, "Mechanism of biodegradation," in *Biodegradable Polymers for Industrial Applications*, Woodhead Publishing Limited, 2005, pp. 358–410.
- [6] R. Narayan, "Measuring percent carbon of different biodegradable polymeric material through CO₂ evolution in composting environment," *Sci. Eng. Compost.*, pp. 339–361, 1989.
- [7] R. Mohee, G. D. Unmar, A. Mudhoo, and P. Khadoo, "Biodegradability of biodegradable/degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions," *Waste Manag.*, vol. 28, pp. 1624–1629, 2008.
- [8] J. Bermúdez, *La digestión anaerobia*. Universidad, Secretariado de publicaciones, 1988.
- [9] N. Abdul-Sattar, "Anaerobic digestion: processes, products and applications," in *Anaerobic digestion*, D. J. Caruana and A. E. Olsen, Eds. Ireland: Nova Science Publishers, Inc., 2012, p. 133-
- [10] M. del C. Hernández Berriel, "Estabilización acelerada de residuos sólidos urbanos mediante humidificación y recirculación de lixiviados," Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, 2010.
- [11] J. Liebetrau, H. Sträuber, J. Kretzschmar, V. Denysenko, and M. Nelles, "Anaerobic Digestion," Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–19.
- [12] G. I. Hernández Contreras, "Caracterización microbiana durante el proceso de degradación acelerada de residuos sólidos urbanos," Instituto Tecnológico de Toluca, 2015.
- [13] E. Olay Romero, "Biodegradación de residuos sólidos urbanos con recirculación de lixiviados a dos tasas y a dos frecuencias," Instituto Tecnológico de Toluca, 2014.
- [14] D. Li, L. Chen, X. Liu, Z. Mei, H. Ren, Q. Cao, and Z. Yan, "Instability mechanisms and early warning indicators for mesophilic anaerobic digestion of vegetable waste," *Bioresour. Technol.*, vol. 245, pp. 90–97, 2017.
- [15] F.-S. Huang, J.-M. Hung, and C.-J. Lu, "Enhanced leachate recirculation and stabilization in a pilot landfill bioreactor in Taiwan," *Waste Manag. Res.*, vol. 30, no. 8, pp. 849–858, 2012.
- [16] M. Rastogi, R. K. Lohchab, and M. Nandal, "Efficacy of leachate recirculation on municipal solid waste stabilization in a bioreactor," *Ann. Agri Bio Res.*, vol. 21, no. 2, pp. 124–129, 2016.
- [17] M. S. Bilgili, A. Demir, and B. Özkaya, "Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes," *J. Hazard. Mater.*, vol. 143, no. 1, pp. 177–183, 2007.
- [18] G. Tchobanoglous, H. Theisen, and S. A. Vigil, *Gestión integral de residuos sólidos*, Mc. Graw H. Madrid, España, 1994.

Greenhouse Gas Emission Factors of Solid Waste for Different Management Options in the Metropolitan Area of Guadalajara

Andrea Signorini^{1,2*}, Arturo Balderas Torres^{2,3}

¹ Environmental Engineering, Università degli studi di Padova, Italy

² Ingeniería Ambiental, Departamento de Proceso Tecnológicos e Industriales, Tlaquepaque, México

³ Centro de Investigación y Proyectos en Ambiente y Desarrollo (CIPAD), Zapopan, Jalisco, México

Contacto: andrea.signorini@studenti.unipd.it; teléfono: +39 3925521927

Abstract

This investigation focuses on the study of greenhouse gas emissions from municipal solid waste, considering different treatments and disposal sites. The goal of this study is to provide a comprehensive and transparent robust catalogue of emission factors to support waste managers at a local authority level, as well as regional and municipal policy-makers to better understand the impacts of their operations. Specifically, this investigation focuses on 5 different treatments and disposal sites in the Metropolitan Area of Guadalajara, Mexico; in order to determine the emission factors for each of these. The disposal sites and treatments considered were: the sanitary landfill of Hasar's, the sanitary landfill of Picachos, the composting plant of Tlajomulco, a fictitious uncontrolled dump and the open burning of solid waste. Regarding the first three, the information was obtained through visits and interviews with the managers of these sites; whereas for the uncontrolled dump and open burning, activity data was retrieved from official statistics. Emissions factors are determined using the IPCC 2006 methodologies. Main results indicate that the highest emissions levels occur when landfills are producing methane without burning it, as is the case of Picachos. The lowest emissions are expected when all biogas generated is effectively burnt, and when organic wastes are composted. The importance of having available emission factors is to increase public awareness about waste management and greenhouse gas emissions, support local decision-making and analyze legal and policy context, in order to reduce greenhouse gas emissions considering waste disposal, treatment, recycling and segregation.

Key Words: *greenhouse gas emissions, sanitary landfills, urban solid waste, waste treatment*

1. Introduction

In recent decades the concern of mankind for the accelerated deterioration of nature and the environment has manifested itself in various ways.

Human activities are responsible for almost all of the increase of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere over the last 150 years. According to Environmental Protection Agency [1], in 2010, the largest source of greenhouse gas emissions from human is due to burning of fossil fuels for electricity, which represents 25% of the total emissions, industrial, 21%; and transportation, 14%. Other GHG emission sources are produced through agricultural practices, intensive livestock farming, deforestation and waste disposal, which contributes about 5% to global GHG emissions [2].

Even if the waste sector makes a relatively minor contribution to GHG emissions, it is in a unique position to move from being a minor source of global emissions to becoming a major saver of emissions [3]. Because, although, through the treatment and disposal of waste, minor levels of emissions are released, the prevention and recycling of waste, could avoid emissions in all other sectors of the economy such as energy, forestry, agriculture, mining, transport and manufacturing sectors [4].

So, in order to formulate, implement and enforce policies to reduce GHG emissions, credible information is required to show from where the emissions come from and who or what is responsible for them. In

particular, the development of a GHG inventory by waste will provide useful information for the evaluation of activities around the waste management, which will be valuable for the decision-making by the authorities with attributions to define possible actions of solution.

This investigation focuses on the greenhouse gas emissions from municipal solid waste, considering 5 different treatments and disposal sites in the Metropolitan Area of Guadalajara, Mexico: the sanitary landfill of Hasar's, the sanitary landfill of Picachos both in Zapopan, the composting plant of Tlajomulco, a fictitious uncontrolled dump and the open burning of solid waste.

The two sanitary landfills are defined as such because they follow the NOM-083-SEMARNAT-2003, at least partly. In fact, the sanitary landfill of Hasar's recovers the generated biogas and then burn it without producing electricity; while Picachos does not recover the biogas, so the emissions are directly released into the atmosphere.

An uncontrolled dump is a site where different types of waste are disposed and mixed without any control. They are illegal and, generally, can be deserted terrains, ravines, rivers, creeks or other bodies of water [5]. While the open burning is the incineration of solid waste with no pollution control devices.

Regarding the uncontrolled dump and the open burning of solid waste, no specific sites were considered, because it was not possible to obtain accurate data. However, the emission factors for these practices have been calculated considering a ton of waste characteristic of the Jalisco area.

The most significant GHG produced from disposal and treatment of waste is methane (CH_4), around 28 times more potent than carbon dioxide (CO_2), and it is released mainly during the breakdown of organic matter in landfills. Other forms of waste treatment or disposal also produce GHG's such as carbon dioxide, a less powerful gas, and nitrous oxide (N_2O), 265 time more potent than carbon dioxide [6].

In this investigation the emission factors related to these three GHG's are estimated for each treatment and disposal site.

2. Methodology

To estimate GHG emissions from municipal solid waste, it was used the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines.

The 2006 IPCC Guidelines are composed of five volumes. Volume 1 describes the steps for the development of an inventory and provides guidelines for the removal of greenhouse gases based on the opinions of the authors of the experiences accumulated in countries from the late 80s, when national greenhouse gas inventories have begun to manifest themselves in significant numbers. While volumes 2 to 5 provide guidelines for estimates in different sectors of economy [7]. The volume 5 is about Waste.

The Waste Volume provides methodological guidance for estimating emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from the following categories:

- Solid Waste Disposal (Chapter 3)
- Biological Treatment of Solid Waste (Chapter 4)
- Incineration and Open Burning of Waste (Chapter 5)
- Wastewater Treatment and Discharge (Chapter 6)

The starting point for the estimation of greenhouse gas emissions from solid waste disposal, biological treatment and open burning of solid waste is the compilation of activity data on waste generation, composition and management. Activity data, according to IPCC Guidelines [8], are defined as data on the magnitude of human activity resulting in emissions or removals taking place during a given period of time.

Once the activity data related to waste management has been obtained, this is multiplied by an emission factor provided by IPCC, corresponding to each type of GHG and treatment or disposal. In this way it is possible to calculate the emissions due to waste treatment and disposal sites.

An emission factor is defined as “the average emission rate of a given GHG for a given source, relative to units of activity” [9]. In general, “it is a coefficient that relates the activity data with the amount of the chemical compound that later becomes the source of emissions” [10]. It is expressed as weight of pollutant released to the atmosphere, per weight of material associated with the release of that pollutant [10].

$$Emission = Activity\ Data \times Emission\ Factor \quad (1)$$

In some circumstances, this equation, can be modified to include other parameters; when time is involved, for example in a landfill in which waste takes time to decompose, other methods are provided.

The 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories provide recommendations on estimation methods at three levels or tiers of detail, from tier 1, the default method, to tier 3, the most detailed. A tier represents a level of methodological complexity [7], depending on the information about activity data and emission factors.

The use of the tier 1 requires default values about activity data, which are available national or international statistics; and emission factors, provided by the IPCC and therefore should be feasible for all countries.

Tier 2 uses the same methodological approach as tier 1 but requires a higher level of complexity because applies emission factors and locally specific data.

Tier 3 is the most complex methodology and requires the most specific data based on measurements. It can provide estimates of greater certainty than lower tiers.

These calculations were possible to do at a tier 2.

2.1 Calculating Emissions from Solid Waste Disposal Sites

The methane emissions from solid waste disposal sites for a single year it was estimated using equation (2); in which CH₄ is generated as a result of degradation of organic material under anaerobic conditions [11].

$$CH_4\ emission = (CH_4\ generated_t - R_t) \cdot (1 - OX) \quad (2) \text{ (IPCC, equation 3.1 [11])}$$

Where:

- CH₄ emissions = CH₄ emitted in year considered [Gg]
- CH₄ generated(t) = CH₄ generated in year considered [Gg]
- R_T = recovered CH₄ in year considered, [Gg]
- OX = oxidation factor in year considered, [fraction]

The value for oxidation factor can vary between 0 and 0,1; depending on whether the site was covered with aerated material. In this case the disposal sites considered was not covered with aerated material, so it was used a value of 0 [11].

The equation (3) estimates the degradable organic carbon (DOC) using default values given in table 1.

$$DOC = \sum_i (DOC_i \cdot W_i) \quad (3) \text{ (IPCC, equation 3.7 [11])}$$

Where:

- DOC = fraction of degradable organic carbon in bulk waste [Gg C / Gg waste]
- DOC_i = fraction of degradable organic carbon in waste type *i*
- W_i = fraction of waste type *i* by waste category

The Decomposable Degradable Organic Carbon (DDOC_m) is defined as “the part of the organic carbon that will degrade under the anaerobic conditions in a solid waste disposal sites” [11].

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \quad (4) \text{ (IPCC, equation 3.2 [11])}$$

Where:

- DDOC_m = mass of decomposable DOC deposited [Gg]
- W = mass of waste deposited [Gg]
- DOC_f = fraction of DOC that can decompose [fraction]
- MCF = CH₄ correction factor for aerobic decomposition in the year of deposition [fraction]

The value for DOC_f depends on many factors such as temperature, pH, moisture and composition of waste; the recommended default value is 0,5 [11].

While default values for methane correction factor depend on the characteristics of the disposal sites; for sanitary landfills is 1 and for uncontrolled dumps is 0,4 [11].

The methane generation potential of the waste is calculated through equation (5).

$$L_0 = DDOC_m \cdot F \cdot 16/12 \quad (5) \text{ (IPCC, equation 3.3 [11])}$$

Where:

- L₀ = CH₄ generation potential [Gg CH₄]
- F = fraction of CH₄ in generated landfill gas [fraction]
- 16/12 = molecular weight ratio CH₄/C [ratio]

The fraction of methane in generated landfill gas can vary between 0,4 and 0,6 [11]. In this investigation, according to the sanitary landfill of Hasar's, it was considered a gas consisting of 50% methane.

Equations (6) and (7) represent the DDOC_m accumulated and the DDOC_m decomposed respectively.

$$DDOCma_t = DDOCmd_t + (DDOCma_{t-1} \cdot e^{-k}) \quad (6) \text{ (IPCC, equation 3.4 [11])}$$

$$DDOCm_{decomp}_t = DDOCma_{t-1} \cdot (1 - e^{-k}) \quad (7) \text{ (IPCC, equation 3.5 [11])}$$

Where:

- t = inventory year
- DDOCma_t = DDOCm accumulated in the SWDS at the end of year t [Gg]
- DDOCma_{t-1} = DDOCm accumulated in the SWDS at the end of year (t-1) [Gg]
- DDOCmd_t = DDOCm deposited into the SWDS in year t [Gg]
- DDOCm_{decomp}_t = DDOCm decomposed in the SWDS in year t [Gg]
- k = reaction constant = ln(2)/t_{1/2} [y⁻¹]
- t_{1/2} = half-life time [y]

The vales for t_{1/2} are given in the table 1, where, according to table 3.4 of the IPCC guidelines [11], being the average temperature in Jalisco between 19 and 21 C°, with an annual precipitation of 900 mm and a potential evapotranspiration that varies between 1300 and 2000 mm [12]; an average was made between the values belonging to categories “boreal and temperate climate” and “tropical climate” considering a dry climate.

The amount of methane generated from decomposable material is found in equation (8).

$$CH_4_{generated}_t = DDOCm_{decomp}_t \cdot F \cdot 16/12 \quad (8) \text{ (IPCC, equation 3.6 [11])}$$

Once the methane generated from decomposable material has been calculated, it is possible to estimate the methane emissions through equation (2).

Finally, to complete the calculation it is necessary to add the emissions due to the burning of methane considering a 100% efficiency. To do this has been multiplied the conversion factor from C to CO₂, which is equal to 44/12, for the total methane recovered over the years.

2.2 Calculating Emissions from Biological Treatment of Solid Waste

The methane and nitrous oxide emissions of composting can be estimated using the equation (9) and (10) showed below.

$$CH_4 \text{ emissions} = (M \cdot EF \cdot 10^{-3}) \quad (9) \text{ (IPCC, equation 4.1 [11])}$$

$$N_2O \text{ emissions} = (M \cdot EF) \cdot 10^{-3} \quad (10) \text{ (IPCC, equation 4.2 [11])}$$

Where:

- CH₄ and N₂O Emissions = total emissions in inventory year [Gg]
- M = mass of organic waste treated by biological treatment [Gg]
- EF = emission factor [g CH₄ or N₂O / kg waste treated]

The default values on emission factors depending on type of GHG are given in the table 1.

Table 1. CH₄ and N₂O Emission Factors

	CH ₄ emission factors (g CH ₄ /kg waste treated)	N ₂ O emission factors (g N ₂ O /kg waste treated)
On a dry weight basis	10	0,6
On a wet weight basis	4	0,24

2.3 Calculating Emissions from Open Burning of Solid Waste

The methods for estimating CO₂, CH₄ and N₂O emissions from open burning of solid waste vary because of the different factors that influence emission levels.

The calculation of the CO₂ emissions is based on an estimate of the amount of waste open burned, considering the wet weight, taking into account the dry matter content, the total carbon content, the fraction of fossil carbon and the oxidation factor [11].

$$CO_2 \text{ emissions} = SW \cdot DM \cdot CF \cdot FCF \cdot OF \cdot 44/12 \quad (11) \text{ (IPCC, equation 5.1 [11])}$$

Where:

- CO₂ emissions = CO₂ emissions in inventory year [Gg / yr]
- SW = total amount of solid waste open-burned [Gg / yr]
- DM = dry matter content in the waste (wet weight) open-burned [fraction]
- CF = fraction of carbon in the dry matter (total carbon content) [fraction]
- FCF = fraction of fossil carbon in the total carbon [fraction]
- OF = oxidation factor [fraction]
- 44/12 = conversion factor from C to CO₂

“When waste is open burned, refuse weight is reduced by approximately 49 to 67 percent. So, a default value of 58 percent is recommended for oxidation factor” [11].

The procedure to calculate the dry matter content, total carbon content and fossil carbon fraction of the waste are showed in the equation (12), (13) and (14).

$$DM = \sum_i (FRACTION_i \cdot DM_i) \quad (12) \text{ (IPCC, equation 5.8 [11])}$$

$$CF = \sum_i (FRACTION_i \cdot CF_i) \quad (13) \text{ (IPCC, equation 5.9 [11])}$$

$$FCF = \sum_i (FRACTION_i \cdot FCF_i) \quad (14) \text{ (IPCC, equation 5.10 [11])}$$

Where:

- $FRACTION_i$ = fraction of component i in the waste
- DM_i = dry matter content in the component i
- CF_i = carbon content in the waste type i
- FCF_i = fraction of fossil carbon in the waste type i

Table 2 provides default values on dry matter, total carbon content and fossil carbon fraction content for different waste types.

Table 2. Parameters to calculate the emissions

MSW component	DOC [fraction]	$t_{1/2}$ [y]	DM [fraction]	CF [fraction]	FCF [fraction]
Paper/cardboard	40	16	90	46	1
Textiles	24	16	80	50	20
Food waste	15	10	40	38	-
Wood	43	31,5	85	50	-
Garden and Park waste	20	12,5	40	49	0
Nappies	24	-	40	70	10
Rubber and Leather	39	-	84	67	20
Plastics	-	-	100	75	100
Metal	-	-	100	-	-
Glass	-	-	100	-	-
Other inert waste	-	12,5	90	3	100

The calculation of methane and nitrous oxide emissions is based on the amount of waste open burned and on the related emission factor [11]. The calculation is showed in equation (15) and (16).

$$CH_4 \text{ emissions} = SW \cdot EF \cdot 10^{-6} \quad (15) \text{ (IPCC, equation 5.4 [11])}$$

$$N_2O \text{ emissions} = SW \cdot DM \cdot EF \cdot 10^{-6} \quad (16) \text{ (IPCC, equation 5.5 [11])}$$

Where:

- CH_4 and N_2O emissions = emissions in inventory year [Gg / yr]
- EF = emission factor [kg CH_4 or N_2O / Gg of waste open burned]
- 10^{-6} = conversion factor from kilogram to gigagram

According to IPCC Guidelines, for open burning of waste, a methane emission factor of 6500 g CH₄ / ton of waste wet weight has been reported. While, for N₂O, an emission factor of 150 g N₂O / ton of dry waste [11]. However, it is advisable to be aware that default emission factors for N₂O emissions from open burning of waste have a relatively high level of uncertainty.

2.4 Activity Data

The activity data used in this investigation to estimate the GHG emissions from solid waste disposal sites and treatments were obtained directly through visits and interviews with the operative managers of the sanitary landfill of Hasar's and the composting plant of Tlajomulco. In the case of open burning of solid waste and uncontrolled dump, activity data provided by INEGI and SEMADET were used [13], in which, in order to use the IPCC methodology to calculate GHG emissions, sanitary waste was considered mostly as paper and organic matter such as food and gardening waste, see table 3.

Activity data, in this context, means the quantity and composition of waste treated or disposed and, for the sanitary landfills of Hasar's, also the quantity of recovered biogas that is 1'200 m³ per hour, which was converted into 3'889,44 tons of CH₄ per year.

The activity data about composition of waste used to calculate emission factors for Hasar's and Picachos sanitary landfills, which were provided by the manager of the first, are given in table 3. While table 4 shows the composition of waste, considered in terms of dry and wet weight, characteristics of the composting plant of Tlajomulco.

Table 3. Waste Composition

Type of waste	Composition	
	INEGI and SEMADET	Hasar's and Picachos
Food	29,18 %	46 %
Garden and park waste	25 %	6 %
Wood	0,4 %	1 %
Paper	18,13 %	5 %
Plastic	10,57 %	20 %
Textile	1,24 %	-
Metal	1,36 %	-
Glass	4,02 %	7 %
Inorganic sludge	-	3 %
Inert waste	10 %	12 %

Table 4. Wet and Dry Composition of the Composting Plant of Tlajomulco

Basis	Composition	Type of waste
Wet weight basis	91 %	Branches, prunings, fruits, vegetables
Dry weight basis	9 %	Popochas

The main objective of this study is to estimate the GHG emissions per ton of waste of typical composition in each of the management systems.

3. Results and Discussions

3.1 Emission Factors

To better understand the impacts due to waste management system, stakeholders need to be able to quantify the GHG emissions deriving from activities associated with waste management in order to identify the major sources of emissions. To do this, it is necessary to develop emission factors that could be used to support decision makers. To calculate the emission factors for each of the treatments and disposal sites a spreadsheet has been created. As a result, it was only necessary to insert the activity data, considering as a quantity of waste one ton, to obtain the results of the individual practices.

The only exception was found for the sanitary landfill of Hasar's, because, not knowing how much biogas would have been recovered considering only a ton of waste, it was not possible to make the calculation. So, the emission factors for this site were estimated from the total emissions through mathematical equations.

To more accurately compare the solid waste disposal sites, the emission factors were calculated considering 60 years of activity for each individual site, since the methane continues to be formed over the years thanks to the action of microorganisms.

In the case of the Hasar's sanitary landfill, total emissions have been estimated assuming a waste disposal for 21 years, from 1998, year of opening, to the current year, 2018; after which the emissions were estimated for another 39 years. For the calculation, during the first 5 years of activity the recovered biogas was considered to be equal to that generated because the one produced was less than that recovered. Later, the same amount of biogas was recovered up to the year 29, and, from then on, since the amount of methane released was less than that recovered, all the methane generated up to year 60 has been added to the recovered one. The emission factors for this disposal site has been calculated by dividing the methane and carbon dioxide emissions respectively, expressed in tons, for the quantity of waste disposed in a year. However, these emission factors, unlike the others, which consider only one ton of waste, consider the same quantity, but for each year of life of the sanitary landfill; this means that for 21 years of activity, 21 tons of waste were considered. For this reason, it was thought, to further divide them by 21, the total number of tons disposed.

It was also calculated the emission factor considering a theoretical case of Hasar's sanitary landfill. The term theoretical case refers to the hypothetical case in which all the biogas generated in Hasar's is recovered and then burned. In this way the only emissions released into the atmosphere are those due to the incineration of methane which turns into carbon dioxide. The estimated emission factor values for each treatment and disposal site are given in table 5.

Table 5. GHG Emission Factors

Treatments and disposal sites	Emission factors			
	CO ₂ [tons CO ₂ /ton waste]	CH ₄ [tons CH ₄ /ton waste]	N ₂ O [tons N ₂ O/ton waste]	CO ₂ eq [tons CO ₂ eq/ton waste]
Hasar's theoretical case	0,12847	-	-	0,12847
Hasar's sanitary landfill	0,063554	0,011088	-	0,374025
Picachos sanitary landfill	-	0,035037	-	0,981041
Uncontrolled dump	-	0,013959	-	0,637921
Composting plant	-	0,0045	0,000272	0,199306
Open burning	0,118213	0,0065	0,0000964065	0,32576

On the basis of the results obtained, methane is the most representative GHG considering the solid waste treatments and disposal sites examined, since the CO₂ formed in the landfills is due to the burning of methane. This is mainly due to solid waste disposal sites, which emit large quantities of this gas, especially when it is not recovered and burned.

Among the sites and treatments studied, the one producing the most GHG emissions is a sanitary landfill where biogas is not burnt, as the case of Picachos, which is characterized by an emission factor equal to 0,98 tons of CO₂ equivalent per ton of waste.

The results show that an uncontrolled dump produces less methane emissions than a sanitary landfill. This is due to the fact that a larger fraction of waste decomposes aerobically in the top layer; indeed IPCC methodology uses a parameter, the Methane Correction Factor, which gives a value to each type of solid waste disposal site and, in the case of uncontrolled dumps, this term is lower and, consequently, also the emissions are. This does not mean that an uncontrolled dump generates less environmental impacts even though it produces less methane; on the contrary, there are other important impacts due to the leachate that is formed. This liquid is one of the main sources of pollution of soil, surface waters and groundwater, because if it is not collected and treated it infiltrates into the ground reaching water aquifers and causing problems to the environment and human health [14]. A sanitary landfill, instead, uses dense clay deposited at the bottom of waste pits and liners to prevent infiltration of leachate into the surrounding soil [15].

Moreover, considering that these two sites are characterized by a disposal of waste with a different composition and therefore with different values of degradable organic carbon, which represents the quantity of matter that is decomposed by microorganisms; the difference between the emission factors would be even higher. In fact, the DOC calculated with respect to the composition obtained from official statistics, which is the one used for the uncontrolled dump, it was estimated to be equal to 0,17 tons of carbon per ton of waste, a value greater than that calculated with the composition of the sanitary landfill of Picachos, whose value is 0,1 tons of carbon per ton of waste. For this reason, if it were considered that in all disposal sites the waste had the same composition, that obtained from official statistics, the emission factor values for the sanitary landfills of Picachos, Hasar's, and its theoretical case would increase. See table 6. Nevertheless it was not possible to obtain the composition of wastes in these sites.

Table 6. Emission Factors considering different compositions

Disposal sites	Emission factors CO ₂ eq [tons CO ₂ eq/ton waste]	
	Hasar's and Picachos composition	Official statistics composition
Theoretical case of Hasar's	0,12847	0,208843
Hasar's	0, 374025	0, 781835
Picachos	0,981041	1,594802

Regarding the open burning of solid waste, it was estimated an emission factor of 0,32 tons of CO₂ equivalent per ton of waste burned. This, if compared with the other emission factors, it is lower in terms of GHGs. However, uncontrolled open-air incineration, even if it might emit relatively smaller amounts of GHG's, this practice has quite larger negative impacts. This type of treatment, in fact, is uncontrolled, and takes place without any kind of measures to reduce the health and environmental impacts of the burning. These conditions result in incomplete combustion and release harmful air pollutants, such as fine particulates, PAHs, heavy metals, and dioxins [16]. Additionally, these can easily extend and produce forest fires. For these reasons, this treatment, regardless of the amount of GHG emissions released, has been considered to be the most dangerous for both the environment and human health. By comparing the emission factors from sanitary landfill of Hasar's and its theoretical case, in which all the biogas that could potentially be generated is actually recovered, it is noticeable difference; the CO₂ equivalent emissions in the first case were estimated to be more than three times higher than the second. This is a large difference that it is

necessary to investigate in further detail. On one side it may indicate that the general conditions and assumptions for the models adopted in the IPCC methodology may need to be adjusted. However the difference is substantial and might imply that the sanitary landfill of Hasar's, does not recover all the methane generated and part of it might be released in the atmosphere. This may be due to the discontinuous biogas collection and recovery system since considering the economic aspect, destroying the methane has a cost and therefore, the extraction systems is not working 24 hours 7 days a week. In fact, considering that most landfills do not carry out this practice, it is reasonable to think that those that do it, which are affected by higher costs, try to contain expenditure even at the expense of emissions. To eliminate this problem it would be necessary to readjust the standard NOM-083-SEMARNAT-2003 so that all solid waste disposal sites behave in the same way. Additionally there should be incentives to promote not only the burning of methane but open the possibility to the landfills, particularly those in large metropolitan areas to burn the methane, produce and sell the electricity that could be generated.

As expected, without considering the theoretical case of Hasar's, which is a hypothetical site, composting has been the treatment that releases less GHG emissions into the atmosphere, 0.199 tons of CO₂ equivalent per ton of waste composted since it occurs in aerobic conditions. Moreover, this practice, in addition to not causing dangerous environmental impacts, brings several benefits; for example, it reduces methane emissions by removing organic matter from landfills, contributes to reforestation and reduces chemical fertilizers.

On the other hand, the theoretical case of Hasar's, which emits 0.12 tons of CO_{2e} per ton of waste, would be an even better choice than composting to dispose waste considering the low emission factor. However, in reality, recovering all the methane generated is almost impossible and for this reason can not be considered as a real case; even if, considering a landfill characterized by a high efficiency in the recovery of biogas and with the ability to transform methane into electricity, this would be a more than valid option for waste disposal. Since waste would be used as a resource for energy production and, consequently, managers will be keen in reducing GHG emissions as much as they could. For instance, in the case of sanitary landfill of Hasar's, the manager said that it is not economically convenient, because the price of energy production is \$1,3 pesos per kW-hr, but the companies buy it only at \$0,9 pesos, when instead they should buy it for \$1,8 pesos; in this way, \$0,4 pesos would be lost for each kWhr. The problem is therefore of a political and economic nature, an adequate standard and incentive for the management of biogas would be needed to help the sanitary landfills in this process.

Considering that most of the waste generated in this area are disposed in sanitary landfills, which, even if they limit the environmental impacts and health risks, are the main source of GHG emissions, it would be useful to increase the levels of recycling among the population. By doing this could be reduced the volume of residues that goes to these sites, because the part of the waste that does not contain the degradable organic carbon, such as plastics, metals, glass and other non-degradable waste could not decompose, taking up a lot of space. For this reason, it would be appropriate to recycle these materials rather than dispose them in landfills, since, by producing new materials, a lot of energy and water is consumed to extract and refine raw materials from the earth; and, recycling them, can help to recover some of this energy.

However, in Jalisco, the waste management system is characterized by a poor separation for recycling, which is also at the base of composting; this concept of waste separation still needs to be fully accepted by citizens, which would need environmental education programs to promote recycling. Furthermore, also the little presence of "puntos limpios" in the city makes it difficult to realize this practice. According to INEGI and SEMADET [13], the percentage of waste recovery in the collection centers in the central zone of Jalisco, with respect to the total generation, represents 1,04%. Although in recent years, in the Metropolitan Area of Guadalajara, waste management is improving; the number of "puntos limpios" is slowly increasing, more attention is being paid to waste, and many uncontrolled dumps are closing in favor of sanitary landfills; time is still needed before an adequate management can be achieved by exploiting the potential of waste to use it as a resource.

4. Conclusions

In this investigation the emission factors corresponding to each waste treatment and disposal have been calculated. Only these practices have been considered as they are those adopted within the state of Jalisco. For example, waste incineration with energy recovery is a treatment that is not yet used within this territory; to the advantage instead of the sanitary landfills which are the main disposal sites.

Instead, regarding the uncontrolled dumps and open burning, these are illegal practices and are used because of the poor practices in the collection and management of waste that occurs especially in rural areas.

From the results obtained through this study, composting is the treatment characterized by a lower emission factor and environmental impact, and, considering that more than 50% of the total waste generated in Jalisco corresponds to organic matter, 50% of the problem due to the large amount of waste could be resolved composting this part, mainly constituted by food and gardening. However, this treatment, due to political, social and economic problems, is rarely practiced in Jalisco, an exception is the plant located in Tlajomulco, in the Metropolitan Area of Guadalajara.

As expected when methane is recovered in landfills emissions are reduced considerably. Nevertheless, one very important point is that if there is an operating landfill but without methane burning, as in the case of Picachos, this model becomes the one with the highest level of GHG emissions.

A sanitary landfill in order to be considered a good alternative to low environmental impact in waste management should comply with the standard NOM-083-SEMARNAT-2003 at least in its main points, but, in Jalisco, few sites comply fully with it. Specifically, point 7.2 of the standard says that “the extraction, collection, conduction and control of the biogas generated in the final disposal site must be guaranteed” [17]; in order to reduce the contribution to GHG the biogas should be burnt. And for example, Picachos sanitary landfill, like many other sites, does not recover the landfill gas generated producing a greater quantity of GHG emissions.

Furthermore, one way to economically exploit waste and release less GHG emissions is to produce electricity from the recovered biogas; but even this solution is not practiced. Our main conclusion is that it is necessary to promote a public policy and incentives that facilitate the production and commercialization of electricity from biogas burning in landfills. Other recommendations would be to increase the organic residues for composting and inorganic materials for recycling.

The short-term solutions that could be implemented to improve waste management, considering existing practices, and therefore a large number of sanitary landfills, which are the disposal sites of most of the waste are the following: in the first place there is the separation, which is necessary in order to reuse the materials through recycling and composting and therefore reduce the volume of garbage that goes to the sanitary landfills. Secondly, all sanitary landfills should at least recover the biogas produced and, consequently, with this, produce electricity. Moreover, one way to obtain economic resources to be able to apply these solutions could be the implementation of a tax scheme for the collection service.

In addition to the insufficiency of suitable waste treatment, such as composting, which should increase to the detriment of landfills; to improve the waste management system it is necessary to make citizens aware of this with more information. This study, in fact, is intended to give a general overview about the problem of waste within the state of Jalisco exposing the best environmental opportunities starting from data that are converted into information that can sustain strategic decisions.

Bibliographic references

- [1] United States Environmental Protection Agency. (2017) Global Greenhouse Gas Emissions Data: Global Emissions by Economic Sector. EPA.

- [2] Bogner, J., Abdelrafie Ahmed, M., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R. and Zhang, T. (2007) IPCC Fourth Assessment Report on Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge.
- [3] Pianosi, M. (2012) Sustainable Waste: Waste and Climate Change. DMU Campaign, PHD Project: The Living Lab. Italy.
- [4] United Nations Environment Programme. (2010) Waste and Climate Change: Global trends and strategy framework. UNEP, Japan.
- [5] Ojeda Benitez, S., Beraud Lozano, J. (2002) The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal. Elsevier Science.
- [6] Baker, E., Bournay, E., Harayama, A. and Rekacewicz, P. (2002) Climate Change and Waste: Gas emissions from Waste Disposal. UNEP, The Basel Convention, GRID-Arendal and DEWA.
- [7] Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Irving, W., Krug, T. (2007) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Overview.
- [8] Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (2007) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Glossary. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- [9] United Nations Framework Convention on Climate Change. (2014) GHG data: Definitions. UNFCCC.
- [10] United States Environmental Protection Agency. (2017) Air Emissions Factors and Quantification: Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification. EPA.
- [11] Pipatti, R., Svandal, P., Silva Alves, J., Gao, Q., López Cabrera, C., Mareckova, K., Oonk, H., Scheehle, E., Sharma, C., Smith, A. and Yamad, M. (2007) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5: Waste, IPCC.
- [12] Corral, R., López, F., Ruvalcaba, R., Ojeda, R. (2012) Estadísticas Climáticas Normales del Estado de Jalisco, INIFAP.
- [13] Márquez, E. G., Pérez Peláez, F. G., Gómez Hernández, H. E., Naranjo Castellanos, J., E., Fernandez Salcedo, N. E. and Correa Vela, M. Propuesta de Modelo de Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Estado de Jalisco. PEPGIR.
- [14] El-Salama M., Abu-Zuid, G. (2014) Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. Journal of Advanced Research
- [15] Pervez, A., Kafeel, A. (2013) Impact of Solid Waste on Health and the Environment. Sustainable Development and Green Economics.
- [16] Koo Park, Y., Kim, W. and Min Jo, Y. (2013) Release of Harmful Air Pollutants from Open Burning of Domestic Municipal Solid Wastes in a Metropolitan Area of Korea. ISSN, Aerosol and Air Quality Research, Kyung Hee University, Korea.
- [17] Norma Oficial Mexicana. (2004) NOM-083-SEMARNAT-2003. SEGOB, Mexico.

SECCION 6

IMPACTO

AMBIENTAL

Adsorción de combustóleo en microplásticos

¹Nayely Mendoza-Muñoz, ¹Margarita Beltrán-Villavicencio, ¹Alethia Vázquez-Morillas

¹Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. Departamento de Energía. Área de Tecnologías Sustentables. Av. San Pablo 180, México, DF. 02200 México.23 correo: nayelymm@azc.uam.mx

Resumen

El consumo de productos plásticos y su utilización en artículos de vida útil corta han ocasionado su acumulación como residuos, pues constituyen el 25% del volumen total de los RSU generados en México. Debido a que no hay una adecuada gestión, gran parte de estos terminan en el océano provocando una problemática mayor. La presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos es un hecho constatado a nivel mundial, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. En este proyecto se evaluó la adsorción de combustóleo en microplásticos (MP) en condiciones simuladas de ambiente marino. Se seleccionó combustóleo ya que es un contaminante frecuentemente encontrado en aguas marinas de México debido a las actividades petroleras que se realizan en el país. Se trabajó con 6 tipos de plásticos (polipropileno, poliestireno, policloruro de vinilo, tereftalato de polietileno, polietileno de alta densidad y polietileno de baja densidad). Los MP fueron analizados después de 7 días de haber estado en contacto con el combustóleo. La mayor adsorción se presentó para el polietileno de baja densidad, con 2870 mg de combustóleo por kg de MP. Con este trabajo se puede concluir que los MP representan un grave problema en el ambiente, ya que pueden transportar contaminantes y acumularlos para después incorporarse a la cadena trófica al ser ingeridos por biota marina.

Palabras Clave: *Ambiente marino, HTP, Residuos plásticos.*

1. Introducción

Los plásticos son materiales de suma importancia y han alcanzado un rol primordial en diferentes aplicaciones, tales como industriales, comerciales, medicinales automotrices y tecnológicas. La producción anual de plásticos a nivel mundial aumentó dramáticamente de 1.5 millones de toneladas en la década de 1950 a aproximadamente 311 millones de toneladas en 2014 [1].

La contaminación marina altera los ecosistemas, ocasionando la muerte de muchos organismos marinos y provocando la pérdida de biodiversidad. Los contaminantes que entran a las aguas marinas pueden permanecer suspendidos en la columna de agua, ser incorporados a la biota acuática o depositados sobre el fondo e incorporarse en los sedimentos marinos [2].

La pérdida accidental de residuos plásticos ha originado su acumulación en el ambiente, y uno de sus destinos son las costas; los desechos plásticos hoy en día provocan efectos perjudiciales significativos en la biota marina [3]. Dentro de la problemática generada por los residuos plásticos en entornos marinos y costeros, es de especial interés la relacionada con los (MP), que son fragmentos en el rango de 1 a 5 mm [4].

Los polímeros encontrados con más frecuencia en cuerpos de agua son: polipropileno (PP), polietileno de baja y de alta densidad (PE) y policloruro de vinilo (PVC). Los MP se introducen en los océanos por dos formas diferentes, una es la fabricación de plásticos en tamaño micro (primarios) y otra es la degradación de los plásticos (secundarios). Alrededor del 18% de los desechos plásticos marinos encontrados en el ambiente oceánico se atribuye a la industria pesquera [5], sin embargo, provienen también de actividades recreativas realizadas en las playas, descargas de aguas residuales y mala gestión de residuos sólidos urbanos.

Por otro lado, se encuentran otros contaminantes en el océano, tales como los hidrocarburos totales del petróleo. Estos se incorporan a las aguas marinas por liberaciones industriales, o como subproductos de uso comercial o privado; pueden ser liberados directamente al agua o por derrames [6]. Los hidrocarburos pueden adherirse a la superficie de los MP y con ello aumentan la peligrosidad por su presencia en el mar ya que pueden ser ingeridos por la biota marina.

El objetivo de este proyecto fue la evaluación de la adsorción de combustóleo en MP, con la finalidad de generar información sobre el riesgo asociado a los microplásticos en México. Al mismo tiempo, se evaluó la utilidad de las técnicas analíticas utilizadas para la cuantificación de hidrocarburos pesados adsorbidos en microplásticos.

2. Metodología

Este proyecto consistió en las siguientes etapas: 1. Preparación de MP 2. Evaluación de la adsorción de combustóleo en MP.

2.1 Preparación de microplásticos

Las muestras objeto de estudio fueron: polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), y polietileno de baja densidad (PEBD) estos plásticos se obtuvieron de: bolsa verde de grupo Wal-Mart, esferas de unicel, hule cristal, botellas de agua, envases de yogurt y bolsas transparentes, respectivamente. Los plásticos fueron cortados y se hicieron pasar por un tamiz del número 4 (menor a 5 mm), con lo que se garantiza que todas las muestras son MP. En la Figura 1 se observa cada tipo de plástico con los que se realizó este trabajo.

2.2. Evaluación de la adsorción de hidrocarburos en microplásticos

Los MP se pusieron en contacto, por separado, con agua de mar sintética, preparada siguiendo el método propuesto por Cifuentes, Torres y Farías, (2007) [7].

En agua de mar sintética se agregó combustóleo, con concentración de 150 ppm. Los plásticos se expusieron en la solución marina 24 h después de incorporar el contaminante. La solución y los MP se analizaron 7 días después de haber estado en contacto. Los experimentos se realizaron por triplicado

Las pruebas se realizaron en reactores de 500 mL que contenían 150 mL de agua de mar con el contaminante y un 2% en masa de muestra de MP. Se llevó a cabo aireación (8 h diarias de lunes a viernes) para simular las condiciones presentes en el mar (Figura 2), los experimentos se realizaron por triplicado, tres blancos sin plástico y tres controles sin aireación, estos se montaron con la finalidad de cuantificar la volatilización que presenta el combustóleo. Después de siete días se separaron los plásticos y se evaluó la adsorción de combustóleo en cada uno de los diferentes MP, mediante la determinación de la concentración remanente de contaminante en el agua. A su vez se analizaron los MP para corroborar la adsorción de los contaminantes en los mismos.

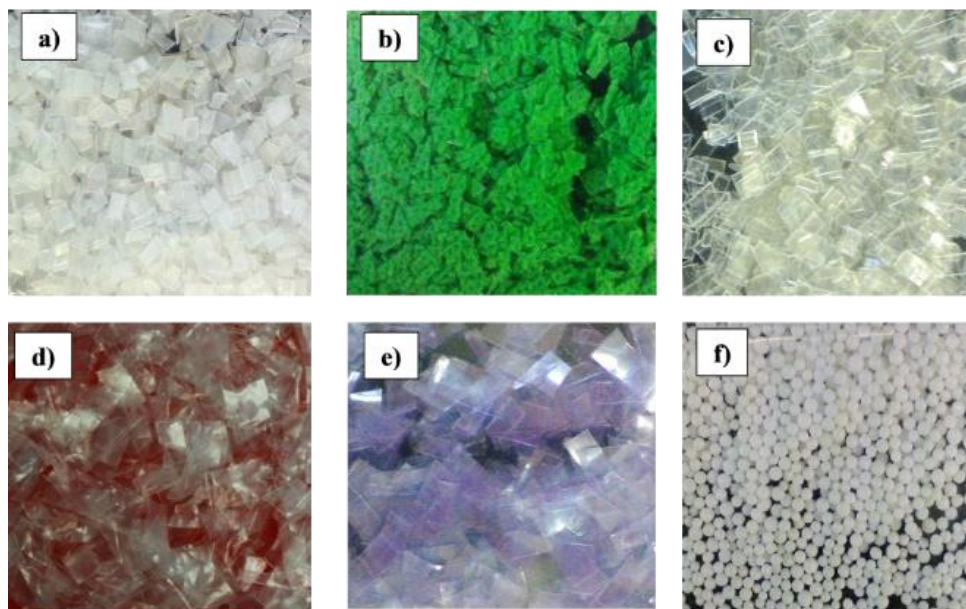


Figura 1. Tipos de MP utilizados. a) PEAD, b) PP, c) PET, d) PEBD, e) PVC, f) PS

2.3 Método de determinación de combustóleo en agua y microplásticos

La concentración de hidrocarburo en agua se evaluó directamente tomando 25 mL de solución, a través de un analizador de carbono orgánico total (COT) marca Tekmar Dohrmann-Apollo 9000 modelo DRB-200 que pertenece al Área de Tecnologías Sustentables, UAM-A.

La concentración de hidrocarburo en los MP se evaluó a través de extracción soxhlet, se utilizó diclorometano como solvente de extracción siguiendo el método utilizado por Ríos, Moore y Jones, (2010) [8]. Para obtener la concentración de combustóleo se utilizó la siguiente ecuación.

$$q_e = \frac{V (C_o - C_e)}{M} \quad (1)$$

Donde:

q_e = masa de contaminante adsorbida / masa de MP (mg/kg)

V = volumen de solución (L)

C_o = concentración inicial del contaminante (mg/L)

C_e = concentración en el equilibrio (mg/L)

M = masa de MP (kg)

Se realizó un balance de masa para conocer la concentración inicial de combustóleo en solución (ecuación 2) y con ello calcular el porcentaje de recuperación del combustóleo los resultados se muestran en la Tabla 1.

$$masa_{final} = masa_{remanente} + masa_{adsorbida} \quad (2)$$

$$\% Recuperación = \frac{masa_{final}}{masa_{inicial}} \quad (3)$$

3. Resultados y discusión

A continuación, se comparan los resultados de la determinación de la concentración de combustóleo en agua y en los MP. Después de los 7 días que estuvieron en contacto los MP con la solución se pudo observar una coloración café en los MP por la presencia del contaminante, como se muestra en la Figura 2.

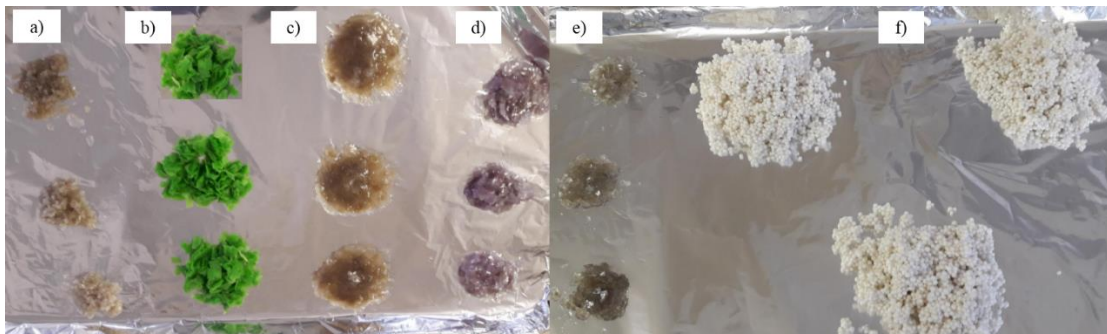


Figura 2. Muestra de MP contaminados con combustóleo. a) PEAD, b) PP, c) PEBD, d) PVC, e) PET, f) PS

3.1 Determinación de la concentración de combustóleo

Los resultados de adsorción se pueden observar en la Figura 3 y 4, que muestran la concentración de combustóleo remanente en el agua y la concentración adsorbida en los MP.

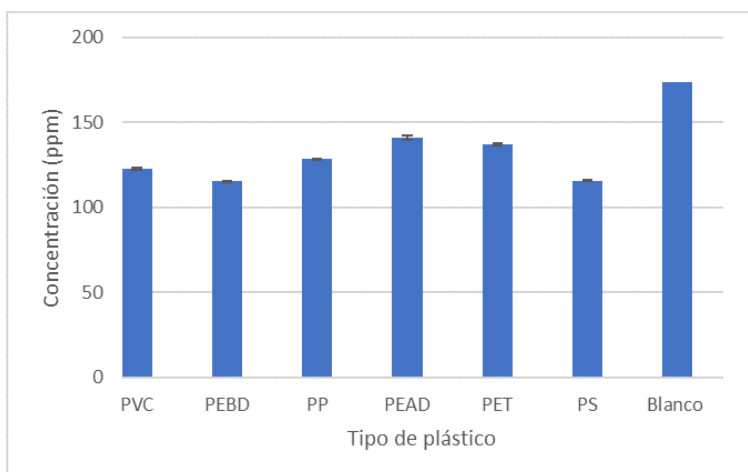


Figura 3. Concentración remanente de combustóleo en solución

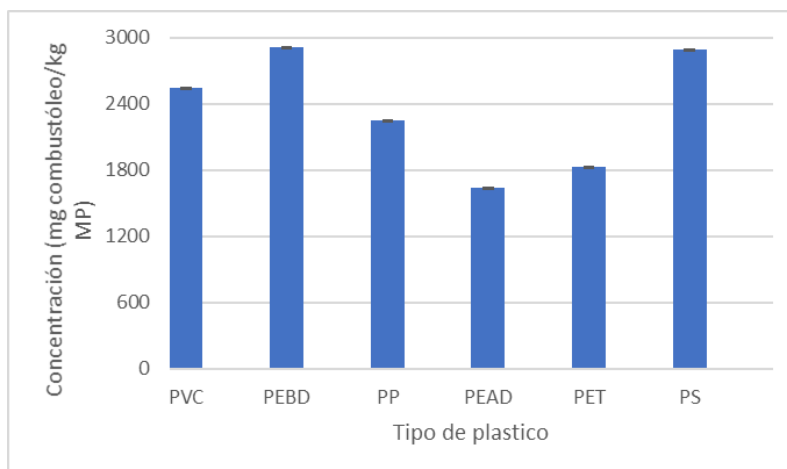


Figura 4. Concentración de combustóleo en los MP

Como se puede observar en la Figura 3 el plástico que presenta una mayor adsorción es el PEBD seguido por el PS esto se puede corroborar con la Figura 4 ya que en ella se muestra que hay una mayor concentración de combustóleo en estos plásticos. Se trabajó con blancos sin aireación y controles aireados, ambos sin plástico, con la finalidad de cuantificar la volatilización del combustóleo; en estos experimentos se tiene una volatilización del 47.3%. Sin embargo, en los reactores con plástico la concentración del contaminante remanente en el agua es mayor que en los controles, lo que sugiere que el plástico actuaría como una barrera a la volatilización de los combustibles. Como se puede observar en la Tabla 1 se tienen valores cercanos al 100% de recuperación, lo cual indica que en reactores con plásticos la volatilización es casi despreciable.

Tabla 1. Resultados de la experimentación (masa de combustóleo)

Tipo de plástico	Masa adsorbida (mg combustóleo/kg MP)	Masa remanente (mg)	Masa final (mg)	% Recuperación
PVC	2463.3	18.42	25.81	99.08
PEBD	2870	17.31	25.92	99.49
PP	2210	19.28	25.91	99.47
PEAD	1653	21.02	25.96	99.65
PET	1797.66	20.56	25.95	99.61
PS	2851	17.37	25.92	99.49

Como se puede observar en la Tabla 1 el plástico que presenta una mayor recuperación es el PEBD y el PS, mientras que los que presentan la menor recuperación son PEAD y el PET, esto puede ser por la superficie que presentan los diferentes tipos de plásticos., ya que los plásticos que son más flexibles y porosos presentan una mayor adsorción que los plásticos rígidos. Respecto a las técnicas que se utilizaron en este proyecto se puede decir que ambas son buenas para la cuantificación de este tipo de compuestos, esto se puede corroborar con los resultados que se obtuvieron de porcentaje de recuperación, que en todos los casos es muy cercano al 100%.

4. Conclusiones

Con respecto a los plásticos utilizados para la determinación de la concentración de combustóleo, se tienen cantidades como 2851 mg de combustóleo por kg de MP para el caso del PS, y concentraciones más bajas

como el caso del PEAD, se tuvo una concentración de 1797.66 mg de combustóleo por kg de MP. Esta diferencia puede atribuirse al tipo de superficie que tienen los plásticos. Se observó que los MP generan un efecto de barrera física, al disminuir la volatilización del contaminante.

Por otro lado se obtuvieron recuperaciones de hasta 99.65% con lo cual se puede concluir que las técnicas son adecuadas para cuantificar el combustóleo. Con base en este resultado, se considera que la técnica de soxhlet aplicada puede ser útil para la cuantificación de este tipo de contaminantes en microplásticos encontrados en ambientes naturales.

Se puede concluir que esto representa un grave problema ya que el combustóleo se encuentra en demasía en los océanos y con el estilo de vida y la producción masiva de plásticos que se tiene hoy en día la concentración de estos en las aguas marinas también ha aumentado. Como se puede observar en el presente trabajo la facilidad con la que el combustóleo se adhiere a la superficie plástica es muy alta, y por el tamaño que tienen este tipo de plásticos con facilidad son confundidos por la biota marina como alimentos y de esta forma pueden incorporarse a la cadena trófica.

Referencias bibliográficas

- [1] Plastics Europe. (2015). Plastics - the facts 2015. *Plastics 2015*, 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.015>
- [2] Beg, M. U., Al-Muzaini, S., Saeed, T., Jacob, P. G., Beg, K. R., Al-Bahloul, M., ... Kurian, A. (2001). Chemical contamination and toxicity of sediment from a coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 41(3), 289–297. <https://doi.org/10.1007/s002440010251>
- [3] Moore, C. J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2), 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>.
- [4] Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. . (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*, 178, 492
- [5] Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- [6] US EPA, R. 1: N. E. (2016). What are Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)? | Urban Environmental Program in New England
- [7] Cifuentes, L. J. L., Torres, G. M. D. P., & Frías, M. M. (1997). *El océano y sus recursos ii. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química* (2nd ed.). México. Retrieved from <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/oceano2.html>
- [8] Rios, L. M., Moore, C., & Jones, P. R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin*, 54(8), 1230–1237. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.03.022>

Evaluación de la toxicidad de dos nanomateriales en especies vegetales comestibles y ornamentales

¹Mariana Mendoza Sánchez, ¹Juan Carlos Alvarez Zeferino, ¹Sandra Loera Serna

¹Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, Ciudad de México, 02200, México. Tel:044 55 3662 8271. Email: al2173803642@alumnos.azc.uam.mx

Resumen

La continua innovación de la tecnología implica el surgimiento de nuevos nanomateriales, de los cuales cada día se encuentran mayores y versátiles aplicaciones en la vida diaria, dentro de éstos se encuentran las redes metalorgánicas. Sin embargo, ante tal auge no se han previstos las posibles afectaciones toxicológicas que pudieran ocasionar en los seres vivos, cuando éstas se convierten en residuos. En este proyecto se evaluaron los efectos tóxicos de dos redes metalorgánicas de cobre comúnmente utilizadas, sobre tres especies vegetales: lechuga, jitomate y cempaxóchitl, las cuales tienen una importancia alimentaria y ornamental en México. Para evaluar la toxicidad se emplearon dos pruebas, la primera consistió en establecer un contacto directo de las redes metalorgánicas con las semillas y la segunda prueba tuvo la finalidad de visualizar los efectos en la raíz y parte aérea de las plántulas. Los resultados demostraron que la prueba de germinación presentó mayores afectaciones en las especies ensayadas, siendo las concentraciones que van desde los 500 y 1000 ppm las que presentaron mayor afectación. Por otra parte, en la prueba sobre plántulas, se tiene que todas las especies ensayadas presentaron afectaciones. La importancia de este estudio radica en aportar resultados sobre las afectaciones que generan este tipo de nanomateriales en especies vegetales, para evaluar sus posibles riesgos y repercusiones en los ecosistemas, y así establecer una pauta sobre el control que deben tener este tipo de materiales al término de su vida útil, ya que carecen de regulación.

Palabras Clave: *fitotoxicidad, germinación, plántula, red metalorgánica, nanomateriales.*

1. Introducción

El tema de los residuos en la actualidad es cada vez más complejo, debido a que continuamente se desarrollan nuevos materiales, los cuales al término de su vida útil se convierten en residuos. Dado que los nanomateriales son productos de reciente creación, que cuando se desechan no pueden ser tratados por los actuales sistemas de reciclaje o, inclusive, no cuentan con una clasificación.

Por otra parte, actualmente se están creando e innovando diversas tecnologías para mejorar la calidad de vida. Para que esto sea posible se están desarrollando diversos nanomateriales con características únicas, los cuales permiten obtener sistemas novedosos. Dentro de estos materiales se encuentran las redes metalorgánicas (MOFs), las cuales son materiales cristalinos formados por la unión de átomos metálicos a través de enlaces orgánicos [1].

Las redes metalorgánicas tienen diversas aplicaciones, entre las cuales se destacan: almacenamiento y separación de gases, catalizador heterogéneo y encapsulador de fármacos [1] - [3]. Sin embargo, debido a la importancia de estos materiales y su creciente auge, han surgido dudas sobre su posible toxicidad en el ambiente, ya que estos materiales carecen de regulación.

Las especies vegetales son un componente esencial para la biodiversidad y supervivencia en el planeta, debido a que diversos organismos superiores las usan como un hogar y sobre todo como alimento. Las plantas proporcionan diversos servicios ambientales, entre los cuales destacan, absorción de CO₂,

generación de oxígeno, captación de micropartículas, regulación de la temperatura, equilibrio de los ciclos biogeoquímicos; generación y conservación de suelos fértiles [4].

Debido a los diversos usos de las plantas y a que estas son capaces de asimilar contaminantes, son empleadas para determinar si un compuesto puede ser dañino mediante pruebas de fitotoxicidad y a su vez simular un escenario de los riesgos en la cadena trófica.

El presente proyecto tuvo como propósito evaluar la fitotoxicidad de una de las MOFs más estudiada en la actualidad, la HKUST-1 (con centros metálicos de cobre) en dos estructuras diferentes (tridimensional y unidimensional), sobre especies vegetales comestibles y ornamentales de importancia en México, dos comestibles: jitomate, lechuga y una ornamental cempaxóchitl [5], [6].

2. Metodología

La metodología consta de cuatro etapas en general, la síntesis y caracterización de las MOFs, caracterización del suelo, la exposición de las redes metalorgánicas en semillas y la evaluación de las afectaciones en plántulas. En la Figura 26, se observa el diagrama de proceso de la metodología que se empleó.

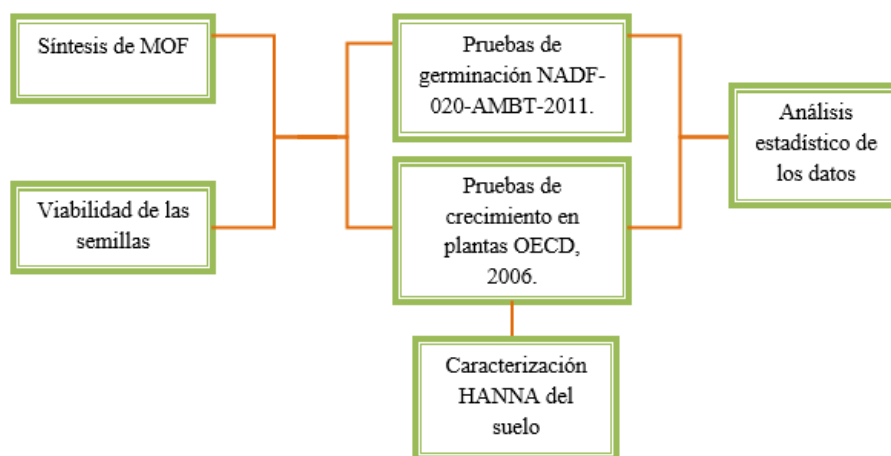


Figura 26. Diagrama de proceso

2.1 Obtención de las redes metalorgánicas

Las redes metalorgánicas fueron sintetizadas en el laboratorio del Área de Química de Materiales, ubicado en el edificio W, de la UAM-A. Posteriormente, mediante DRX se confirmó la formación de las estructuras de $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ (tridimensional) y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$ (unidimensional). El área superficial de las MOFs fue determinada utilizando el método BET, con N_2 líquido a 77 K y un rango P/Po de 0.05-0.3, utilizando un equipo BELSORP-MAX (BEL JAPAN). Las muestras fueron pretratadas a 100 °C durante 12 h, en flujo de nitrógeno, previamente a los estudios de adsorción.

2.2 Caracterización del suelo de jardín

Se realizó una caracterización de macronutrientes y materia orgánica, con la finalidad de asegurar que los posibles daños que presenten las especies vegetales se debieron al nanomaterial y no a una deficiencia de nutrientes.

2.2.1 Macronutrientes

El suelo se caracterizó empleando el Kit HANNA®, el cual consistió en una prueba colorimétrica cualitativa de macronutrientes (nitrógeno, potasio y fósforo) que contiene el suelo. El suelo previamente se tamizó con una malla del número 10 (2 mm de abertura) y se dejó secar por 8 días.

2.2.2 Materia Orgánica

Se empleó el método de Walkley y Black, el cual consiste en una oxidación húmeda del carbono orgánico contenido en el suelo. Esta prueba se efectuó por triplicado [7].

Para la determinación de la materia orgánica se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ C orgánico} = \frac{B - T}{g} (N)(0.39)(\text{mcf}) \quad (1)$$

Donde:

B= Volumen del sulfato ferroso gastado en la valoración del testigo (mL)

T= Volumen del sulfato ferroso gastado en la valoración de la muestra (mL)

N= Normalidad exacta del sulfato ferroso

g= Masa de la muestra empleada (g)

mcf= Factor de corrección de humedad

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ C orgánico} \times 1.724 \quad (2)$$

2.3 Prueba de germinación

Las pruebas se efectuaron en cajas Petri de plástico con un diámetro de 9 cm. Cada caja contuvo un papel filtro en su interior con la finalidad de mantener el interior de la caja húmedo y servir como soporte.

Esta prueba se realizó por triplicado para cada concentración de las MOFs (10, 100, 500 y 1000 ppm) y cada especie vegetal tuvo su respectivo testigo (solo con agua potable). Posteriormente se agregaron 10 semillas de cada especie vegetal distribuidas homogéneamente.

Se adicionó 4 mL de la solución de MOF de Cu ($\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$) con su respectiva concentración. En el caso del testigo se agregaron 4 mL de agua potable. Finalmente, las muestras se dejaron en condiciones de invernadero durante 6 días, transcurrido este tiempo se contaron las semillas germinadas y se midió el largo de las radículas [8].

Posteriormente, se emplearon las ecuaciones 3, 4 y 5 para calcular el índice de germinación.

$$\text{PGR} = \frac{\text{No. de semillas germinadas en el extracto}}{\text{No. de semillas germinadas en el testigo}} * 100 \quad (3)$$

$$\text{CRR} = \frac{\text{elongación de radículas en el extracto}}{\text{elongación de radículas en el testigo}} * 100 \quad (4)$$

$$\text{IG} = \frac{\text{PGR} * \text{CRR}}{100} \quad (5)$$

2.4 Prueba de crecimiento de las especies vegetales en primer estadio

La prueba en plántulas se realizó en bolsas de polietileno, las cuales se llenaron con suelo de jardín (100 g). Las bolsas se colocaron en peceras de cristal con dimensiones de 30x15x10 cm, con la finalidad de agruparlas por especie.

En la Figura 27, se muestra el acomodo de las plantas en la pecera, la cual se dividió en dos partes: en el interior, del lado izquierdo se colocaron las especies que contienen MOF tridimensional (MOF 3D) y del otro extremo, MOF unidimensional (MOF 1D). Así mismo, las bolsas se identificaron con etiquetas de colores, las cuales indicaban las concentraciones que le correspondía a cada bolsa.



Figura 27. Prueba de crecimiento en primer estadio para las siete especies ensayadas

Durante 21 días, se evaluaron los parámetros cualitativos de: clorosis y marchitamiento de las especies vegetales. Al finalizar se extrajeron las especies vegetales para medir el largo de las raíces y la parte aérea con un vernier (con una precisión $\pm 0.1\text{cm}$) además de contabilizar el número de hojas.

Posteriormente, las raíces se colocaron en bolsas de papel y se metieron en una estufa a 105°C durante 48 h; lo mismo se realizó para el tallo y hojas (parte aérea). Además, las condiciones de temperatura y humedad fueron monitoreadas mediante una USB Data loggers (RTH10), con la finalidad de cumplir con los parámetros establecidos en la Guía 208, de la OCDE [9].

2.5 Análisis de resultados

Finalmente, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en las pruebas anteriores. Este análisis permite relacionar la interacción entre los factores (Tipo de MOF, concentración de MOF de Cu y especies vegetales) y las variables de repuesta (altura y raíces) de todas las poblaciones ensayadas y ver cómo influyeron en los resultados [10].

3. Resultados y discusión

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos, tanto para las caracterizaciones del material, del suelo y de las pruebas de fitotoxicidad.

3.1 Caracterización de las MOFs

En la Figura 28 se comparan los difractogramas de las muestras sintetizadas, se observa que ambas tienen picos definidos característicos de compuestos cristalinos. Comparando los patrones de difracción con las

referencias, se determinó la formación de las dos MOFs que se requerían ([11] y [12]). Las áreas superficiales obtenidas mediante el método de BET, fueron de 1643 y 45 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, para MOF 3D y MOF 1D, respectivamente.

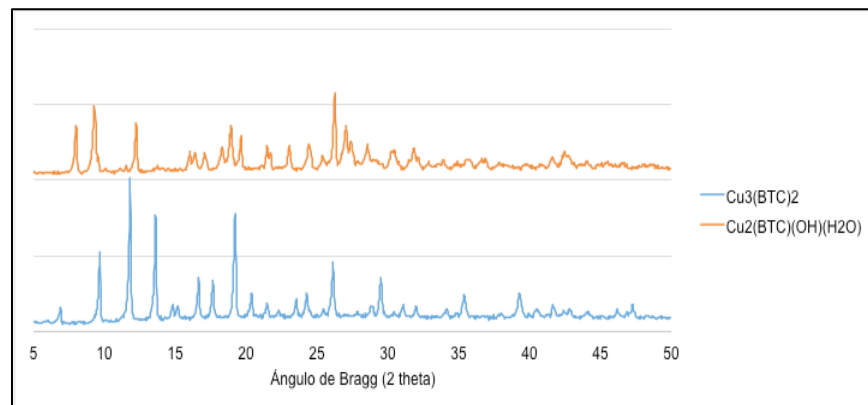


Figura 28. Patrones de difracción de las MOFs: tridimensional y unidimensional

3.2 Caracterización del suelo de jardín

En la Tabla 24, se observa que el suelo caracterizado contiene los tres elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales, ya que el nitrógeno permite el desarrollo de las plantas (tallo, follaje y brotes), el fósforo contribuye a la formación de las raíces, yemas y la floración, mientras que el potasio favorece su resistencia a enfermedades [13].

Tabla 24. Resultados de los nutrientes en el suelo

Nutriente	Contenido
Nitrógeno	Bajo
Fósforo	Alto
Potasio	Medio

Para el suelo de jardín se tiene un $23.28 \pm 0.52\%$ de materia orgánica, lo cual significa que tiene un contenido muy alto, de acuerdo con la clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2002.

Se ha reportado en la literatura que el alto contenido de materia orgánica presenta efectos benéficos, entre los cuales destacan [14]:

- Fuente de macro y micronutrientes, en especial N, P y S.
- Actúa como agente quelante de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Mo), es decir, forma complejos químicos que retienen metales
- Incrementa la capacidad del suelo para retener agua

3.3 Prueba en semillas

A continuación, se presentan los resultados del índice de germinación para cada concentración (10, 100, 500 y 1000 ppm) de ambos nanomateriales MOF 3D y 1D y especie vegetal.

En la Figura 4 se observa que el jitomate presentó valores encima del 70% de IG, en las concentraciones comprendidas entre 10 y 100 ppm, sin embargo, cuando la concentración aumenta a 500 ppm el IG disminuye drásticamente hasta un 75%, la tendencia es parecida en la lechuga. Para cempaxóchitl se observó que a 10 ppm el IG fue del 46%, a concentraciones mayores a 100 y hasta 1000 ppm, el porcentaje fluctúa entre 13.95-19.21%.

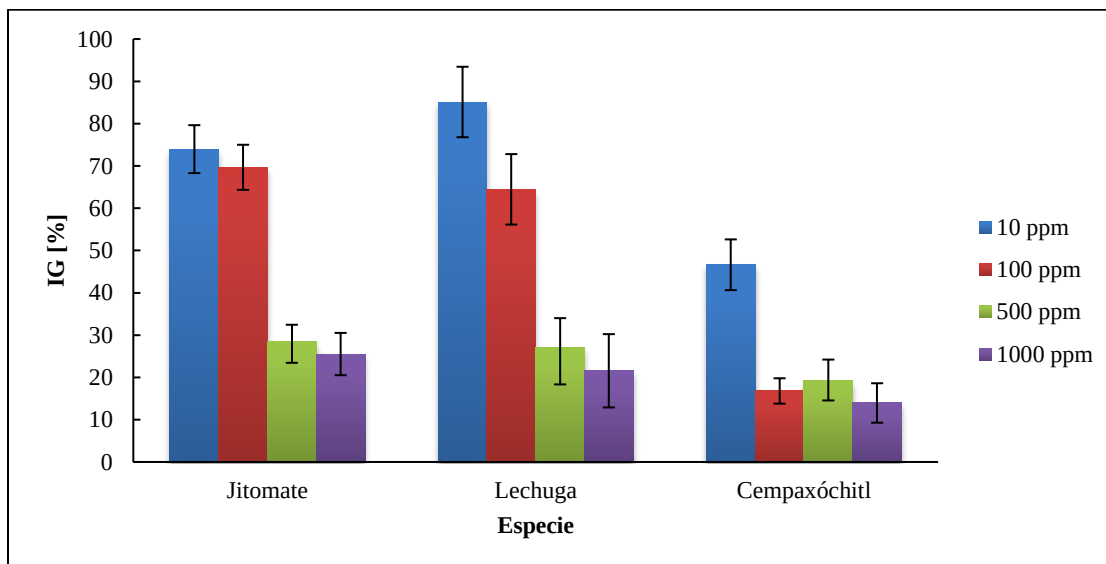


Figura 29. Índice de germinación para la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$

En la Figura 30 se puede visualizar que el jitomate se vio afectado a partir de 100 ppm disminuyendo el IG un 45%, mientras que a 500 y 1000 ppm el daño se mantuvo constante, sin embargo el mayor daño para la lechuga fue a 1000 ppm debido a que el IG fue de 25.64%. Cabe destacar que el cempaxóchitl fue la especie más afectada y a 1000 ppm su IG fue de 1.79%.

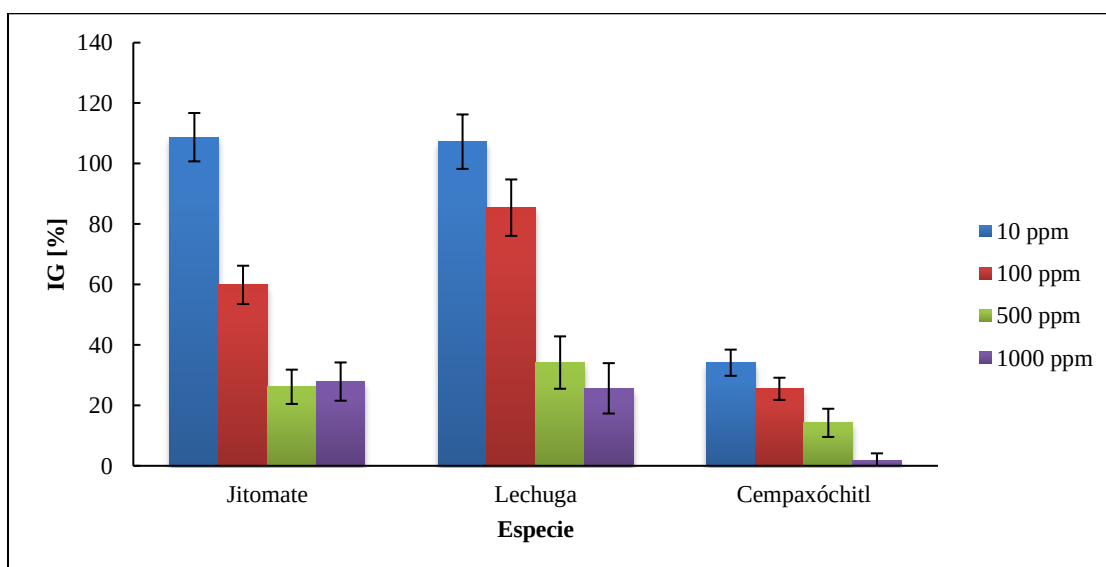


Figura 30. Índice de germinación para la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$

Cabe mencionar que en la prueba en semillas se observó mayor afectación a la especie de lechuga y jitomate a las concentraciones de 500 ppm.

Se observó una protuberancia de color café en la punta de la radícula para ambas MOFs, las cuales comenzaron a presentarse a partir de 500 ppm. En la Figura 31 se tiene al testigo (sin protuberancia), mientras que en la Figura 32 y Figura 33 se tiene las muestras afectadas por ambos nanomateriales a 1000 ppm.



Figura 31. Crecimiento radicular en el testigo



Figura 32. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 3D



Figura 33. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 1D

Para el jitomate se observó necrosis en 500 y 1000 ppm de ambos nanomateriales, en la Figura 34 se tiene el testigo, mientras que en la Figura 35; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 36 se tiene ambos casos a 1000 ppm.



Figura 34. Crecimiento radicular en el testigo



Figura 35. Crecimiento radicular en 1000 ppm para la MOF 3D

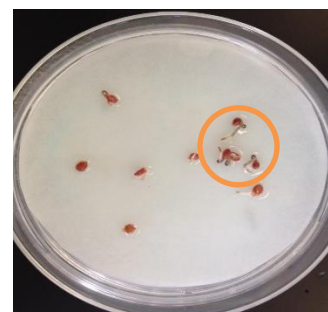


Figura 36. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 1D

3.4 Prueba de crecimiento de las especies vegetales en primer estadio

A continuación, se presentan las gráficas más representativas del estudio en plántulas, cabe destacar que, en general, los daños se presentaron en 500 y 1000 ppm de ambas MOF.

Los residuos como recurso

Además, para evaluar los valores P de los análisis estadísticos de cada prueba, se empleó el siguiente criterio, el cual consiste en:

- Si el valor de P es menor a 0.05, significa que se tiene una diferencia estadísticamente significativa, de lo contrario si P es mayor a 0.05, simboliza que no hay una diferencia significativa.

Jitomate

En la Figura 37 se muestra que la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ afectó el desarrollo de la raíz y parte aérea a partir de 10 ppm, siendo la de mayor daño 1000 ppm, ya que tuvo una afectación en el crecimiento de la raíz y parte aérea del 47% y 21% respectivamente. Mientras que la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ estimuló la parte aérea a 500 y 1000 ppm.

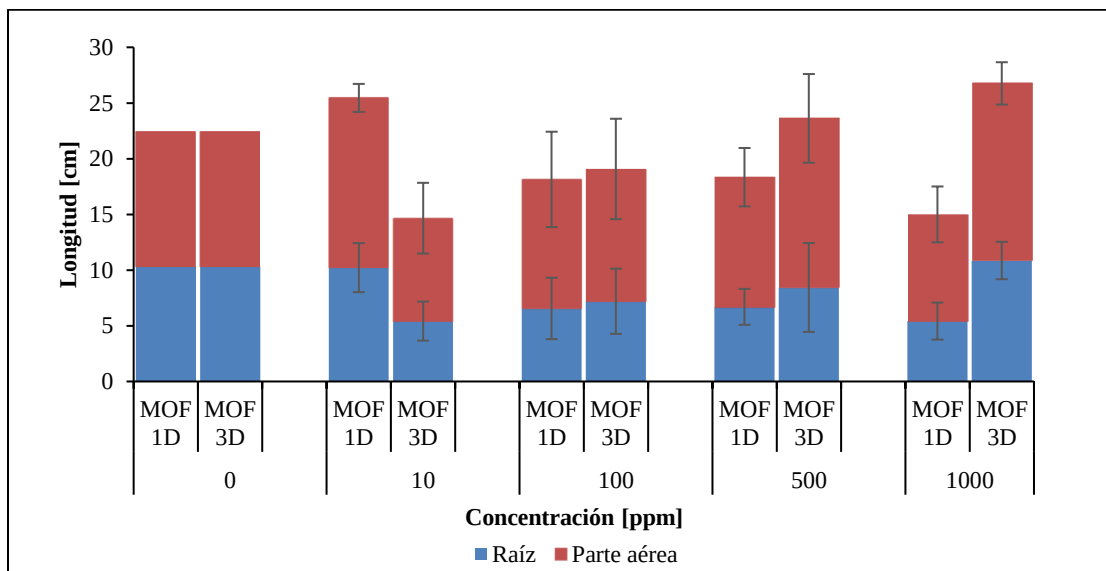


Figura 37. Crecimiento de raíz y parte aérea en jitomate

En la Tabla 25 se observa que para el crecimiento de la parte aérea el tipo de MOF es el parámetro que tiene una diferencia estadísticamente significativa, siendo la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ la de mayor afectación.

Tabla 25. Resultados del análisis estadístico para el jitomate

Parte de la planta	Valor p		Grupos homogéneos	
	Concentración	Tipo de MOF	Concentración	Tipo de MOF
Raíz	No es significativa	No es significativa	No aplica	No aplica
Parte aérea	No es significativa	Significativa 0.0014	No aplica	1D (a) 3D (b)

(a) Mayor afectación y (b) Menor afectación

Lechuga

En la Figura 38 se puede observar que, para la raíz, ambos nanomateriales afectaron negativamente su crecimiento a partir de 100 ppm, mientras que se estimuló el crecimiento de la parte aérea.

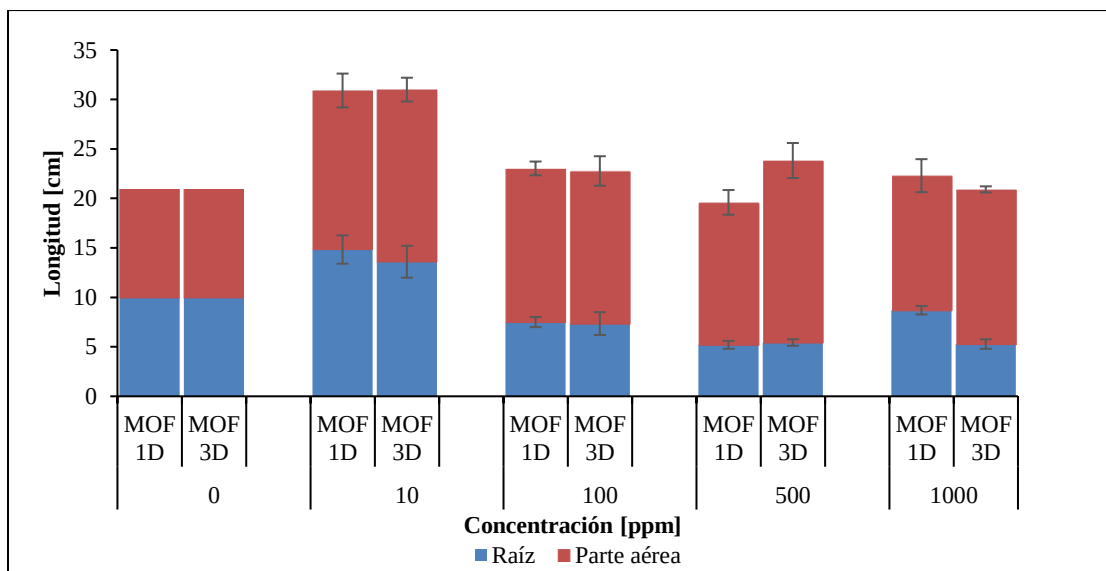


Figura 38. Crecimiento de raíz y parte aérea en lechuga

En la Tabla 26, se observa que el tipo de MOF es un parámetro importante, debido a que genera una diferencia estadísticamente significativa. Para el crecimiento de la raíz se tiene que la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ fue la más dañina, mientras que la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ es la que más daño provoca a la parte aérea. Además, a concentraciones de 500 y 1000 ppm se presentan afectaciones severas.

Tabla 26. Resultados del análisis estadístico de la lechuga

Parte de la planta	Valor p		Grupos homogéneos	
	Concentración	Tipo de MOF	Concentración	Tipo de MOF
Raíz	Significativa 0.0000	Significativa 0.0177	10 (c)	3D (a)
			100 (b)	1D (b)
			500 (a)	
			1000 (ab)	
Parte aérea	No es significativa	Significativa 0.0076	No es significativa	1D (a) 3D (b)

(a) Mayor afectación; (b) Afectada; (c) Menor afectación y (ab) Pertenencia a ambos grupos

Cempaxóchitl

En la Figura 39 se puede analizar que, para el caso de la parte aérea, las MOFs estimularon el crecimiento. Sin embargo, para la raíz las concentraciones de 100, 500 y 1000 ppm de la MOF 1D; y 500 y 1000 ppm de la MOF 3D redujeron el crecimiento.

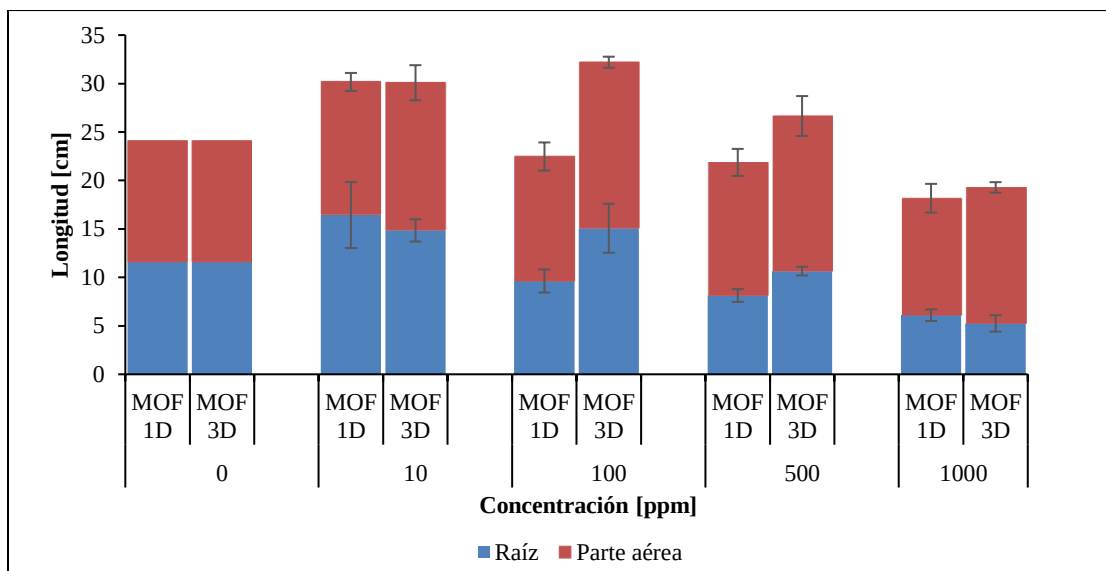


Figura 39. Crecimiento de raíz y parte aérea en cempaxóchitl

En la Tabla 27 se muestra que, para la raíz, el parámetro de mayor repercusión es la concentración de las MOFs, siendo las de mayor impacto 500 y 100 ppm. Asimismo, para la parte aérea el tipo de la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ es la de mayor afectación.

Tabla 27. Resultados del análisis estadístico para el cempaxóchitl

Parte de la planta	Valor p		Grupos homogéneos	
	Concentración	Tipo de MOF	Concentración	Tipo de MOF
Raíz	Significativa 0.0002	No es significativa	10 (c) 100 (b) 500 (ab) 1000 (a)	No es significativa
Parte aérea	No es significativa	Significativa 0.0027	No es significativa	1D (a) 3D (b)

(a) Mayor afectación; (b) Afectada; (c) Menor afectación y (ab) Pertenencia a ambos grupos

4. Conclusiones

Respecto a las afectaciones en el crecimiento de las especies vegetales, se tiene que en la prueba de germinación es más evidente el daño que generan las redes metalorgánicas en las especies vegetales ensayadas, debido a que el contacto de las MOFs se efectúa directamente sobre las semillas.

En la prueba de germinación se tiene que ambas MOFs causaron daños; el daño causado por la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$, probablemente se debe a que tiene una estructura tridimensional y una mayor área superficial, lo cual le permite una mayor adsorción de los nutrientes y agua del medio, dejando a las semillas sin estos y perjudicando su crecimiento. Por otra parte, la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ no adsorbe agua del medio, pero su afectación a la germinación está dada directamente en su aportación de cobre, ya que esta se destruye más rápido que la otra red metalorgánica, debido a que tiene una estructura unidimensional. Para la prueba en plántulas, se tiene que la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ ejerce el mayor daño para el crecimiento de la parte aérea.

Finalmente, se concluye que las redes metalorgánicas ensayadas causan efectos dañinos y benéficos en el índice de germinación y el crecimiento radicular. La magnitud del daño varía de acuerdo con la concentración, MOF y especie vegetal, siendo en general 500 y 1000 ppm las concentraciones que generan mayores estragos. Este estudio pretende establecer una pauta para crear una normativa que indique el manejo y disposición de estos nuevos materiales.

5. Referencias

- [1]. Gándara F. (2012). Metal-organic frameworks: nuevos materiales con espacios llenos de posibilidades. *Real Sociedad Española de Química*, 108 (3), 190-196. En línea <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4042828.pdf>> Recuperado el 15 de febrero de 2016
- [2]. González B. (2016). Síntesis de estructuras metal-orgánicas (MOFs) y su aplicación en catálisis. En línea <www.mufm.fr/sites/mufm.univ-toulouse.fr/files/evenement/symposium/ponencias/berenice_gonzalez_santiago.pdf> Recuperado el 3 de mayo de 2016
- [3]. Loera S., Ruiz J., Flores J., y Soto L. (2012). Protegiendo fármacos con nanomateriales inteligentes. *Mundo nano*, 5 (1), 59-68. En línea <<http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano/article/viewFile/45133/40715>> Recuperado el 4 de mayo de 2016
- [4]. CONABIO. (2009). Servicios Ambientales. En línea <<http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/serviciosam.html>> Recuperado el 27 de mayo de 2016
- [5]. INEGI. (2013). *El sector alimentario en México 2013*. INEGI. México.
- [6]. SAGARPA. (2009). *La infraestructura y sistemas requeridos para el desarrollo de clústeres de horticultura ornamental orientados a la explotación de productos de valor agregado a los Estados Unidos y Canadá*. SAGARPA. México.
- [7]. SEMARNAT. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 2002.
- [8]. SMDF. (2012). Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de noviembre del 2012.
- [9]. OECD. (2006), Test No. 208: Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, París.
- [10]. Boqué R. y Maroto A. (2004). El análisis de la varianza ANOVA. En línea <<http://rodi.urv.es/quimio/general/anovacast.pdf>> Recuperado el 28 de mayo de 2016.
- [11]. Chen Y., Feng X., Huang X., Lin Z., Pei X., Li S., Li J., Wang S., Li R. y Wang B. (2015). A Tale of Copper Coordination Frameworks: Controlled Single-Crystal-to-Single-Crystal Transformations and Their Catalytic CH Bond Activation Properties. *Chemistry A European Journal Communication*, vol. 21, 13894-13899. DOI: 10.1002/chem.201501672

- [12]. Chui S. S. Y., Lo S. M. F., Charmant J. P. H., Orpen A. G. y Williams I. D. (1999). A chemically functionalizable nanoporous material. *Science*, vol. 283, 1148–1150. ISSN:0036-8075.
- [13]. HANNA instruments. (n.d). Manual de análisis de suelo. En línea <www.hannainst.es/catalogo/fichas/m_3896.pdf> Recuperado el 23 de julio de 2016.
- [14]. Meléndez G. y Soto G. (2003). Taller de Abonos orgánicos. En línea <<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>> Recuperado el 28 de diciembre de 2016.

Diagnóstico sobre el manejo de los residuos sólidos y líquidos en un laboratorio de una IES

¹Dora A. Hernández Martínez, ²Viridiana García Miranda, ²Andrea García Velázquez, ²Aurora González Castillo, ²Joaquín Fierro López, ²Itziyuneth Mendoza Tovar, ²Francisco Ochoa Arizona, ²Jesús Bueno Saldaña, ³José Melero Oláñez.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Inst. Tecn. s/n, Col. Elías Calles, (686)580-4979, dora@itmexicali.edu.mx.

² Estudiantes Instituto Tecnológico de Mexicali. ³profesor Instituto Tecnológico de Mexicali.

Resumen

Este proyecto se realizó con el fin de conocer y comprobar cuál es el manejo que se le da a los residuos sólidos y líquidos después de su uso en el laboratorio de ingeniería química del Instituto Tecnológico de Mexicali y de qué forma se procesan para no causar daño a la comunidad o al medio ambiente. Se llevó a cabo una investigación bibliográfica del tema, además de realizar una encuesta con los involucrados en el uso, manejo y transporte de los residuos en la institución. Se observó que varios de los procedimientos aplicados por el personal del ITM no son correctos y no se toman las medidas necesarias para no provocar un accidente, el personal encargado no tiene la seguridad si la compañía encargada de procesar estos desechos químicos, sigue y cumple con las normas correspondientes. Por lo cual, se concluyó que a estos residuos se les puede asignar un espacio aislado para que no estén expuestos cerca del personal y alumnado y se puedan almacenar a una temperatura idónea o en medios aceptables que no favorezcan a una reacción química indeseable. Con esto se logrará una mejor seguridad y una menor probabilidad de un accidente químico.

Palabras clave: Laboratorio de química, manejo de residuos, medio ambiente, residuos líquidos, residuos sólidos.

1. Introducción

El uso de sustancias y reactivos químicos en un laboratorio para la docencia o la investigación en una institución educativa genera residuos sólidos y/o líquidos que deben ser dispuestos de acuerdo a la normatividad por lo que es importante el manejo de estos por parte de estas instituciones ya que existe una gran variedad de sustancias químicas, cada una con diferentes propiedades, no se pueden tratar de la misma manera, algunas necesitan cuidados, métodos de envasado especiales o condiciones de almacenamiento específicas. Para ello es necesario conocer la clasificación de las nueve clases de sustancias químicas (algunas de ellas a su vez se dividen en subclases), son las siguientes

- Clase 1- Explosivos.
- Clase 2- Gases.
- Clase 3- Líquidos inflamables.
- Clase 4- Sólidos inflamables; sustancias espontáneamente combustibles y sustancias que desprenden gases inflamables al contacto con el agua.
- Clase 5- sustancias comburentes y peróxidos orgánicos.
- Clase 6- sustancias tóxicas e infecciosas.
- Clase 7- Material radioactivo.
- Clase 8- Sustancias corrosivas.
- Clase 9- sustancias y objetos peligrosos varios.

Los residuos sólidos son productos químicos que normalmente se utilizan en laboratorio, son los que menos pueden llegar a causar repercusiones con su uso en el laboratorio pues difícilmente provocan algún tipo de envenenamiento o intoxicación, pero aun así existen algunos tipos de sólidos que pueden llegar a causar una intoxicación con un leve contacto en la piel de quien tenga contacto. Los productos sólidos una vez que reaccionan pueden desprender vapores tóxicos que si se inhalan pueden provocar daños serios en el organismo [1].

Los residuos líquidos son productos que se utilizan en laboratorio, estos residuos son más peligrosos que los residuos sólidos porque se tiene que tener un mejor manejo de ellos para no provocar ningún accidente al momento de utilizarlos, tienen diferentes características que los hacen muy peligrosos para su utilización en el laboratorio, no se pueden almacenar en cualquier tipo de contenedor ya que se tiene que seleccionar el indicado para que pueda soportar las características del líquido [2].

1.1 Normas a seguir

Según el Servicio de Protección Ambiental (SEPA) de la Universidad de Córdoba en España las 10 normas y condiciones que se deben cumplir para poder efectuar la retirada de residuos peligrosos de laboratorio [3].

1. Los residuos que se vayan a retirar, indicando claramente el código del envase, el grupo de residuo al que pertenece, todas las sustancias que contiene, la cantidad de envases y las observaciones oportunas.
2. Los nuevos envases que se soliciten, indicando el número de cada tipo requerido.
3. El solicitante y la persona de contacto. Es imprescindible rellenar todos los campos.
4. Sello del departamento y firma del solicitante. Si la solicitud se remite por correo electrónico deberá firmarse y sellarse en el momento de la recogida.

Especificaciones sobre las etiquetas:

5. Estarán impresas a color y firmemente fijadas al envase. Si no se dispone de impresora a color podrán imprimirse en blanco y negro y posteriormente, colorearse de naranja el pictograma de peligrosidad con un rotulador o similar.
6. Contendrán información exacta del residuo contenido y del solicitante.

Especificaciones sobre los envases:

7. Se encontrarán almacenados en lugares adecuados hasta su retirada, evitando las zonas de tránsito, las fuentes de calor o la luz directa del Sol.
8. No estarán deteriorados, manchados o con derrames o fugas y se encontrarán correctamente cerrados el día de la recogida.
9. Los envases para líquidos de 25 litros (L25) no podrán llenarse más de $\frac{3}{4}$ de su capacidad.
10. Aquellos residuos potencialmente infecciosos deberán ser esterilizados antes de ser desechados como residuos inertes.

1.2 Problemática

En los últimos años, en México se han presentado problemas de residuos peligrosos y sus implicaciones sobre los ecosistemas y la salud humana. La afectación va desde la contaminación de cuerpos de agua hasta intoxicación masiva. Las experiencias resultantes de algunos estudios demuestran que es más costoso remediar que prevenir. Muchos de los residuos se generan por el uso intensivo de productos químicos y el daño que estos pueden causar depende de las características que tiene, la peligrosidad, ya sea para la salud humana o daño al medio ambiente. El daño que estas sustancias pueden causar depende ampliamente de su grado de toxicidad. La preocupación por las sustancias químicas potencialmente tóxicas se centra en aquellas que poseen sus propiedades de alta toxicidad y de persistencia ambiental. Todas las sustancias químicas pueden encerrar peligros para la salud y la seguridad de los seres vivos y el ambiente que los rodea si alcanza una cierta concentración y si la exposición se prolonga por un tiempo suficiente para que esta ejerza sus efectos [4].

Un laboratorio de química genera muchos y muy variados residuos. Hasta la fecha es desconocido un método universal para tratar dichos residuos, no obstante pueden diseñarse una amplia variedad de estrategias las cuales aplican los principios de la química.

En principio lo que se debe hacer es tratar de minimizar los residuos, lo cual se logra reduciendo la cantidad de reactivos utilizados en los experimentos. No todos son igualmente peligrosos, ni igualmente su tratamiento por lo que es importante conocer que tratamiento debe seguirse.

En un laboratorio de mediana capacidad, un promedio de 560 sustancias químicas diferentes se utilizan durante el desarrollo de las prácticas y el 37 % de los reactivos utilizados son considerados peligrosos.

1.3 Consecuencias

En ocasiones, los usuarios de un laboratorio no le toman la importancia necesaria a los cuidados y precauciones que se deben tener al trabajar con sustancias de alto riesgo, si bien, es importante tener cuidado al momento de realizar alguna actividad en el laboratorio también se debe tener en cuenta lo que sucede después [5].

Cuando un alumno o un grupo de ellos termina de realizar una práctica de laboratorio, es común que le resten importancia al lugar dónde tienen que disponer los materiales con los que realizaron la práctica y por deshacerse rápido de estos, los desechan de una forma inadecuada, no prestando la debida atención a estos ni el daño que con estas acciones se pueden causar [6]. En el caso del laboratorio de química del ITMexicali es mínima la cantidad de residuos que se producen, eso no resta la importancia que se le debe dar a la disposición de estos.

Existen varias consecuencias que podrían ocurrir al no manejar con cuidado los residuos sólidos o líquidos. La tabla 1 muestra las consecuencias si los materiales usados se depositan en forma inadecuada.

Tabla 1: consecuencias por manejo inadecuado de residuos

Tipo de residuo	Consecuencias
Sólidos	• <u>Daños al medio ambiente</u>: Lo adecuado en este caso es determinar si el material se puede reutilizar y entonces guardarlo, de no ser así investigar si hay alguna clasificación de residuo dónde pueda ir esa clase de material sólido o simplemente desecharlo en el bote de basura.
Líquidos	• <u>Contaminación del agua</u>: Normalmente las personas sólo desechan los líquidos por las tuberías o drenaje lo cual conlleva a la contaminación de los cuerpos de agua (mar, ríos o lagos). Se Debe tener en cuenta todo el proceso que se lleva a cabo para limpiar el agua y hacerla potable. • <u>Daños a la salud humana</u>: Esto puede ocurrir tanto en el manejo con residuos sólidos como líquidos pero tenemos que tener en cuenta que algunas sustancias desprenden vapores y al estar expuestos a ellos mucho tiempo puede ocasionar enfermedades. • <u>Corrosión y quemaduras</u>: En ocasiones puede haber sustancias de alto riesgo, que de no ser guardadas o depositadas en el lugar adecuado podrían ocasionar alguna explosión máxime, ya que hay personas que no tienen conocimiento del grado de peligrosidad de las sustancias, por lo que está en la conciencia de las personas que las usen evitar ese tipo de accidentes.

1.4 Clasificación de las sustancias químicas.

La clasificación de sustancias químicas se hizo con referencia con el medio ambiente y fue adoptada para aquellos que contaminen un medio acuático. Las sustancias contaminantes ambientales que no se pueden clasificar en otras clases pertenecerán a la clase 9.

- **Clase 1- Explosivos (fondo naranja).**

Son sustancias sólidas o líquidas, mezclas de ellas, que por sí mismas son capaces de reaccionar químicamente produciendo gases a tales temperaturas, presiones y velocidades que pueden ocasionar daños graves en los alrededores. También incluye objetos que contienen sustancias explosivas y existen 6 subclases o divisiones de acuerdo con la forma como pueden explotar.

- Subclases:

- a) División 1.1- Riesgo de explosión en masa, es decir, involucrar casi toda la carga al explotar e impactar el entorno con la onda generada.
- b) División 1.2- Riesgo de proyección, es decir, emite partículas hacia todas las direcciones cuando explota.
- c) División 1.3- Riesgo de incendio, que puede estar acompañado de proyección de partículas y/o de una pequeña onda expansiva. El efecto puede ser sucesivo (explosiones repetidas).
- d) División 1.4- Bajo riesgo. La explosión por lo general no se extiende más allá del recipiente o bulto.
- e) División 1.5- Riesgo de explosión en masa, pero son altamente insensibles. Es decir, que en condiciones normales de transporte tienen muy baja probabilidad de detonar.
- f) División 1.6- Objetos insensibles que contienen sustancias detonantes sin riesgo de explosión en masa, y con muy baja probabilidad de propagación.

- **Clase 2- Gases.**

Son sustancias que se encuentran totalmente en estado gaseoso a 20 grados centígrados y a presión estándar de 101.3 kpa.

- Tipos de gases:

- a) Comprimidos: que se encuentran totalmente en estado gaseoso al ser empacados o envasados para el transporte a 20 grados centígrados.
- b) Licuados- que se encuentran totalmente en estado gaseoso al ser empacados o envasados para el transporte a 20 grados centígrados.
- c) Criogénicos- que se encuentran parcialmente en estado líquido al ser empacados o envasados para el transporte a muy bajas temperaturas. Ejemplo: Nitrógeno criogénico.
- d) En solución –que se encuentran disueltos en un líquido al ser empacado o envasados para el transporte. Ejemplo: acetileno (en acetona).
- e) Los riesgos que ofrecen los gases se dividen en:
- f) División 2.1: Gases inflamables, pueden incendiarse fácilmente en el aire cuando se mezclan en proporciones inferiores iguales al 13% en volumen. Ejemplo: Gas propano.
- g) División 2.2- Gases no-inflamables, no tóxicos. Pueden ser asfixiantes simples u oxidantes. Ejemplo: Nitrógeno, oxígeno.
- h) División 2.3- Gases tóxicos, ocasionan peligros para la salud, son tóxicos y/o corrosivos. Ejemplo: cloro, amoníaco.

- **Clase 3- Líquidos inflamables (fondo rojo).**

Son líquidos o mezclas de ellos, que pueden contener sólidos en suspensión o solución, y que liberan vapores inflamables por debajo de 60 grados centígrados (punto de inflamación). Por lo general son sustancias que se transportan a temperaturas superiores a su punto de inflamación, o que siendo explosiva se estabilizan diluyéndolas o suspendiéndolas en agua o en otro líquido. Ejemplo: gasolina, benceno y nitroglicerina en alcohol

- **Clase 4- Sólidos inflamables (rayado rojo y blanco); sustancias espontáneamente combustibles (blanco y rojo) y sustancias que desprenden gases inflamables al contacto con el agua.**

Son sustancias sólidas que por su inestabilidad térmica o alta reactividad ofrecen peligro de incendio.

- Constituyen tres divisiones:

- a) División 4.1- Sólidos inflamables, sustancias autoreactivas o explosivos sólidos insensibilizados. Son aquellos que bajo condiciones de transporte entran fácilmente en combustión o pueden contribuir al fuego por fricción. Ejemplo: fósforo, azocompuestos.

- b) División 4.2- Sustancias espontáneamente combustibles. Son aquellos que se calientan espontáneamente al contacto con el aire bajo condiciones normales, sin importe de energía. Incluyen las pirofóricas que pueden entrar en combustión rápidamente. Ejemplo: carbón activado.
- c) División 4.3- Sustancias que emiten gases inflamables al contacto con el agua. Son aquellos que reaccionan violentamente con el agua o que emiten gases que se pueden inflamar en cantidades peligrosas cuando entran en contacto con ella. Ejemplo: metales alcalinos como sodio, potasio, carburo de calcio.
- **Clase 5- sustancias comburentes y peróxidos orgánicos.**
 - Esta clase de sustancias se subdividen en:
 - a) División 5.1- sustancias comburentes: generalmente contienen o liberan oxígeno y causan la combustión de otros materiales o contribuyen a ella. Ejemplo: agua oxigenada.
 - b) División 5.2- Peróxidos orgánicos. Sustancias de naturaleza orgánica que contienen estructuras –o–o–, que generalmente son inestables y puedan favorecer una descomposición explosiva, quemarse rápidamente, ser sensibles al impacto a la fricción o ser altamente reactivas con otras sustancias. Ejemplo: peróxido de benzoilo.
- **Clase 6- sustancias tóxicas e infecciosas (fondos blanco y rojo respectivamente).**

El riesgo de estas sustancias se relaciona directamente con los efectos adversos que generan en la salud humana. Para clasificarlas se requiere conocer datos como DL 50 oral y dérmica, así como la CL 50 inhalatoria.

 - Existen dos divisiones:
 - a) División 6.1- Sustancias tóxicas- son líquidos o sólidos que pueden ocasionar daños graves a la salud o la muerte al ser ingeridos, inhalados o entrar en contacto con la piel. Ejemplo: cianuros, sales de metales pesados.
 - b) División 6.2- Sustancias infecciosas- Son aquellas que contienen microorganismos reconocidos como patógenos (bacterias, hongos, parásitos, virus e incluso híbridos o mutantes) que pueden ocasionar una enfermedad por infección a los animales o a las personas. Ejemplo: ántrax.
- **Clase 7- Material radioactivo (amarillo y blanco).**

Son materiales que contienen radionúclidos y su peligrosidad depende de la cantidad de radiación que genere, así como la clase de descomposición atómica que sufra. La contaminación por radiactividad empieza a ser considerada a partir de 0.4 bq/cm² para emisor alfa. Ejemplo: uranio.
- **Clase 8- Sustancias corrosivas (blanco y negro).**

Corrosiva es cualquier sustancia que por su acción química puede causar daño severo o destrucción a toda superficie con la que entre en contacto incluyendo la piel, los tejidos, metales, textiles, etc. Causa quemaduras graves y se aplica tanto a líquidos o sólidos que tocan las superficies, como a gases y vapores que en cantidad suficiente provocan fuertes irritaciones de las mucosas.
- **Clase 9- sustancias y objetos peligrosos varios (blanco y negro).**

Sustancias no cubiertas dentro de las otras clases pero que ofrecen riesgo, incluyendo, por ejemplo, material modificado genéticamente, sustancias que se transportan temperatura elevada y sustancias peligrosas para el ambiente no aplicable a otras clases.

1.5 Normas básicas a seguir a la hora del envasado de residuos en el laboratorio

- ✓ Jamás verter los residuos líquidos al desagüe o los sólidos a los cestos de basura, ni aunque sea en pequeñas cantidades.
- ✓ No mezclar los residuos que sean incompatibles a la hora de envasar, si hay dudas consultar al SEPA.
- ✓ Es importante estar informados sobre las características de los residuos producidos en el laboratorio, para así evitar cualquier reacción inesperada a la hora de realizarse el envasado.
- ✓ Todos los envases donde se guardaron los residuos deben tener la etiqueta donde especifique claramente el o los constituyentes del residuo sin excepción.
- ✓ Evitar trasvasar los residuos de un recipiente a otro, para minimizar algún riesgo de accidente.

- ✓ No llenar hasta el tope los envases, puesto que a la hora de trasladarlos podrían causar alguna fuga.
- ✓ Asegurarse de almacenar los envases de residuos peligrosos en un lugar seguro (temperatura, iluminación etc.) hasta su traslado.
- ✓ A la hora de traslado de los residuos asegurar que estén herméticamente cerrados y que los envases no presenten algún deterioro ya que podría ocasionar algún derrame o fuga.
- ✓ En caso de haber algún residuo especialmente peligroso para la salud, informar a la autoridad competente para su manipulación o tratado [7].

1.6 Almacenamiento de residuos peligrosos

Es de suma importancia que toda persona que trabaja en un laboratorio tome en cuenta las indicaciones siguientes:

- ✓ El material del contenedor donde se guardará el residuo debe de ser compatible con este.
- ✓ Todos los envases deben de estar cerrados y sin algún deterioro.
- ✓ Las etiquetas deben tener específicamente la información de cada residuo, inclusive la fecha de almacenamiento.
- ✓ Los residuos peligrosos deben de ser retirados cada 6 meses a partir de la fecha de la etiqueta de almacenamiento.
- ✓ El almacén de los residuos no debe de ser abierto a los alumnos o a cualquier persona, solo debe estar al alcance de personal autorizado [8].

2. Metodología

Este trabajo es parte de una investigación se está realizando en el laboratorio de química del Instituto Tecnológico de Mexicali que es una Institución de Educación Superior pública, forma parte del Tecnológico Nacional de México, actualmente tiene una matrícula de 4,000 estudiantes, divididos en nueve carreras.

El propósito principal fue obtener un diagnóstico sobre el manejo, almacenamiento y disposición final de los residuos sólidos y líquidos generados e identificar que no representen un riesgo para la salud de quienes estén en contacto con ellos. Para ello se investigó la normatividad referente al uso y disposición de residuos en un laboratorio para contar con la información que permita comparar con los métodos que se usan en el laboratorio de la institución.

El instrumento aplicado a las distintas personas que intervienen en el uso y manejo de los residuos se generaron a partir de la información que se recopiló principalmente de la Universidad de Córdoba, en España; la Dirección General de Prevención y Protección ambiental de la propia Universidad cuenta con el programa de Servicio de Protección Ambiental (SEPA) la cual se encarga de formar y asesorar a futuros profesionales en la materia, asimismo de la Universidad de Guadalajara y de la empresa privada Aseocar en Colombia que se encarga de limpieza y reciclaje de Industrias y organizaciones.

2.1 Entrevistas personales

Para identificar el manejo de los residuos que se usan, se entrevistó a los encargados del uso, manejo y transporte de los residuos peligrosos, se incluyó en las entrevistas a los alumnos que están llevando a cabo su servicio social, pues son una pieza clave en el funcionamiento de las prácticas de laboratorio.

- Jefe de laboratorio
- Auxiliares de laboratorio
- Alumnos de servicio social que auxilian en el almacén
- Jefe Departamento de servicios generales

Las entrevistas se estructuraron en tres categorías: Personal que maneja los residuos y se encarga de verificar que se cumpla la normatividad, formatos usados para registros y destino final de estos. El instrumento contó con 7 ítems.

1. ¿Quién se encarga de verificar que se cumplan las normas para manejar los residuos sólidos y líquidos?
2. ¿Cuál es el procedimiento para su manejo?
3. ¿Qué formatos se siguen para llevar un mejor control?
4. ¿Qué empresa se encarga de recoger los residuos para su disposición final?
5. ¿Cada cuánto lo hacen?
6. ¿El personal que se encarga de recogerlos, están capacitados para trasladarlos?
7. ¿Cuál es el destino final de los residuos?

2.2 Objetivo específicos

Al aplicar el instrumento a los encargados se buscó conocer cuál es la disposición final de los residuos sólidos y líquidos producto de la realización de prácticas de laboratorio, analizar si el lugar donde se depositan temporalmente los residuos cumple con los lineamientos según la normatividad y conocer el o los procedimientos que siguen los responsables del laboratorio en el manejo de los residuos.

3. Resultados

Los resultados que se obtuvieron producto de la aplicación del instrumento en forma de entrevista, se presentan a continuación por cada categoría.

3.1 Cumplimiento de la normatividad

Las personas que intervienen en el proceso de verificar que se cumpla la normatividad para el manejo de los residuos sólidos y líquidos contestaron en forma diferente; el jefe de laboratorio mencionó que el encargado de este proceso es el auxiliar del laboratorio, mientras que éste comentó que los encargados del sistema de gestión ambiental de la institución son los responsables, los estudiantes que se encuentran realizando su servicio social mencionaron que los responsables son el auxiliar y el departamento de servicios generales, mientras que el jefe del departamento de servicios generales afirmó que es el departamento a su cargo el encargado de esta actividad. Además, el jefe de laboratorio y sus auxiliares desconocen si los trabajadores de la empresa que se encarga de transportar los residuos hacia su disposición final están capacitados para su manejo, solamente el jefe del dpto. de servicios generales mencionó en forma positiva hacia la capacitación del personal de la empresa SEPA (Servicios Ecológicos para la Protección Ambiental).

3.2 Formatos que se usan para registrar los residuos

Todos los entrevistados que están involucrados en el manejo y disposición de los residuos, tanto temporal como final, conocen el procedimiento que se lleva a cabo en cada caso y es a través de una bitácora.

3.3 Destino final de los residuos

Los entrevistados conocen la empresa que se encarga del transporte y disposición final de estos, pero no conocen con exactitud cuando los acopian ni donde es la disposición final de estos, este tema solo lo conoce el jefe del dpto. de servicios generales.

La tabla 2 muestra la bitácora de movimientos de entrada y salida del almacén de residuos peligrosos que maneja el departamento de servicios generales, solamente la última columna (lugar de disposición final) la llena la empresa contratada para tal fin.

Tabla 2: bitácora de movimientos de entrada y salida del almacén de residuos peligrosos

BITÁCORA DE MOVIMIENTOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL ALMACEN DE RESIDUOS PELIGROSOS								
RAZÓN SOCIAL DE LA EMPRESA GENERADORA: _____								
PERIODO DE LOS MOVIMIENTOS DE RESIDUOS A PARTIR DE: _____								
Bitácora para residuos peligrosos					Características de peligrosidad: _____			
Fecha de entrada almacen res. pel.	Cantidad en litros, kilos o piezas	Proceso que lo requiera	Siguiente fase de manejo de res. pel.	Fecha de salida del almacen de res. pel.	No. de manifiesto de recolección	Empresa prestadora de servicio (transportista)	No. de autorización	Lugar de disposición final

La figura 1 muestra el reporte de campo de la empresa contratada para recoger los residuos en la institución.

Sistemas Ecológicos Para la Protección Ambiental
 AV. ARGENTINA No. 7 FRACC. HIPICO, MEXICALI, B.C. MEXICO C.P. 21200
 TEL. (686) 568 4454 FAX (686) 568 3985 S.A. de C.V.

REPORTE DE CAMPO										
NOMBRE DEL GENERADOR: _____						FECHA: _____				
ORDEN DE TRABAJO (GENERADOR) _____						☐ Confinamiento ☐ Incineración				
No. MAN. MEX.										
No. RECIPIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
% Líquidos										
% Sólidos										
% Viscosidad										
Color										
Olor										
pH										
Gravedad Específica										
Tipo Contenedor										
Tamaño / Vol.										
Peso / Tibor										
Peso / Caja										
RESIDUO										
OBSERVACIONES										
Técnico Responsable (SEPA)						Generador Autorizado por:				

Figura 1: bitácora para el control de residuos

4. Conclusión

Esta investigación permitió conocer que los residuos sólidos y líquidos que se generan en el laboratorio de química de la institución no siempre son tratados de forma adecuada, además los distintos encargados del manejo y disposición de estos no están lo suficientemente preparados (o informados) del cómo se llevan a cabo estos procedimientos de disposición temporal y final de los residuos.

El departamento encargado de que se cumpla con la normatividad en el manejo de los residuos es el departamento de servicios generales, pero los diferentes encargados no lo saben con exactitud por lo que se recomienda que la institución cuente con un programa de formación e información constante sobre este

tema, pues, aunque no se manejan grandes cantidades de residuos, pueden llegar a ser peligrosos o letales en caso de un descuido o manejo inadecuado.

Cuando se realizaron las entrevistas al personal que maneja los residuos en la institución, se observó que no todos están capacitados para un manejo adecuado, más aun, algunas de las respuestas fueron contradictorias, por lo que se pudo verificar que es necesaria una capacitación continua, tanto en el uso como en el manejo, transporte y almacenamiento temporal de dichos residuos.

Referencias

- [1] Resino, S. (2011). Gestión de los residuos en el laboratorio de microbiología clínica. EMEI. En línea <http://epidemiologiamolecular.com/gestion-residuos-laboratorio-microbiologia-clinica/> Recuperado el 15/01/2018.
- [2] Ibídem
- [3] Romero, J. (2010). Dirección General de Prevención y Protección ambiental. Universidad de Córdoba. En línea <https://www.uco.es/servicios/dgppa/index.php/proteccion-ambiental/gestion-de-residuos/85>. Recuperado el 25/11/2017.
- [4] UNAM-Iztacala. (2015). Reactivos y residuos peligrosos químicos. Guía General de manejo. En línea http://posgrado.iztacala.unam.mx/wp-content/uploads/2014/03/Bioseguridad_5_web.pdf. Recuperado el 11/11/2017.
- [5] Aceves, W. y Cárdenas, L. (2010). Contamina agua y suelo el mal manejo de residuos peligrosos de laboratorios. Universidad de Guadalajara. En línea <http://www.udg.mx/es/noticia/contamina-agua-y-suelo-el-mal-manejo-de-residuos-peligrosos-de-laboratorios> Recuperado el 25/11/2017.
- [6] Comunicación interna laboratorio química ITMexicali
- [7] De Toro, A. 2017. Residuos de Laboratorio-SEPA. Universidad de Córdoba. En línea <https://www.uco.es/servicios/dgppa/index.php/proteccion-ambiental/gestion-de-residuos/84>. Recuperado el 15/11/2017.
- [8] Aseocar, (2010). Protocolo manejo y control de residuos sólidos y líquidos no peligrosos. Compañía de aseo de Barranquilla, Colombia. En línea https://www.colombiacompra.gov.co/sites/cce_public/files/cce_tienda_virtual/plan_ambiental_aseocar_0.pdf. Recuperado el 11/11/2017.

Determinación de herbicidas en la localidad La Victoria Tecolutla, Veracruz

¹María Yolanda Leonor Ordaz Guillén, ²Nora Ruiz Ordaz, ³Víctor Manuel Huerta García

1Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD).
Dirección: Calle 30 de Junio de 1520 s/n, Barrio la Laguna Ticomán C.P. 07340 Del. Gustavo A. Madero,
Ciudad de México, México. Tel. 57296000 Ext. 52734, e-mail: mordazg@ipn.mx.

^{2,3}Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-Instituto Politécnico Nacional.

Resumen

El control de plagas en la agricultura ha sido siempre un tema principal, pero a partir del proceso de modernización para tener una producción intensiva, se incrementó el uso de fertilizantes, plaguicidas y maquinaria; esto propició que a inicios del siglo XXI se elevará el uso de insecticidas, herbicidas y fungicidas. En México se utilizan más de 35 mil toneladas y Veracruz es uno de los mayores consumidores. En la parte norte de Veracruz, se localiza la región hidrológica Tuxpan – Nautla, primer lugar del Estado en superficie de manglar, en donde se localiza la subcuenca Río Tecolutla, esta engloba al municipio del mismo nombre y por ahí pasa el cauce del río, que antes de su desembocadura al Golfo de México recibe dos aportaciones perennes, una de ellas, el Estero La Victoria o Larios. Esta zona es la parte baja de la cuenca, por lo cual tendrá la mayor cantidad de residuos de agroquímicos, derivada de la acumulación de lo utilizado en las partes altas y en las cercanías al cuerpo de agua, lo que afecta al ecosistema y en específico a los manglares.

Palabras Clave: *Afectación, Herbicidas, Manglar, Regulación.*

1. Introducción

El control de plagas siempre ha sido importante en la agricultura, si bien en siglos pasados se utilizaban métodos naturales como la implementación de sales o incluso productos naturales como el tabaco; fue hasta la llamada revolución verde durante el siglo XX, después de la segunda guerra mundial, cuando la agricultura se moderniza para alcanzar una explotación intensiva, empleando fertilizantes, plaguicidas y maquinaria pesada. La primera sustancia empleada como plaguicida fue el Diclorodifeniltricloroetano (DDT), ya que por aquella época durante la guerra se observó que controlaba de manera eficiente a mosquitos y piojos, trasladándolo tiempo después a la agricultura para el manejo de insectos portadores de enfermedades [1] - [2]. Durante los años posteriores a su implementación en los cultivos, las consecuencias comenzaron a distinguirse en el ambiente y en la salud de los agricultores que recurrían a su uso. Si bien el beneficio era mayor en cuanto al rendimiento de los sembradíos, al adicionar de forma constante un agente tóxico a los sistemas ambientales tarde o temprano se generaría un desequilibrio de mayor o menor grado dependiendo de la sustancia y sus características fisicoquímicas.

En México, la superficie destinada a la agricultura en los últimos 20 años, tomando en cuenta al año 2013 como el más actualizado, corresponde a poco más de 20 millones de hectáreas [3], repartidas en agricultura temporal 75 % y en agricultura de riego 5 %. Por lo tanto, la necesidad de hacer los cultivos más eficientes conllevó al incremento en la aplicación de sustancias químicas como fertilizantes y plaguicidas; tan solo en 2009 se utilizaron 4.55 toneladas en promedio de agroquímicos por cada mil hectáreas, según datos reportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), mientras que en este siglo, a partir del 2005, el uso de insecticidas, herbicidas y fungicidas tuvo un significativo incremento llegando a consumir por arriba de las 35 mil toneladas de estos productos [4]. De manera general, los estados con mayor consumo de agroquímicos son: Campeche, Chiapas,

Chihuahua, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz, conforme a un comunicado de la Secretaría de Salud en 2012 [5].

En el país existen estadísticas sobre el uso de agroquímicos, sin embargo, la información sobre regulación, manejo, dosis aplicadas, tipos de plaguicidas empleados y disposición de residuos (envases), sigue siendo incierta, debido a que las normas solo se enfocan al producto antes de ser adquirido por los usuarios y deja sin cubrir la problemática de impacto ambiental y a la salud humana, sobre todo por quienes se ven expuestos a un uso inadecuado en la aplicación de las mismas.

La continua explotación del territorio para el desarrollo de actividades agrícolas ha elevado el consumo y aplicación de sustancias tóxicas al ambiente, las cuales pueden ser transportadas por diferentes medios, afectando directamente a los ecosistemas, en especial los de las zonas bajas de las cuencas que por el movimiento de estas sustancias son quienes reciben una mayor concentración derivado de la carga acumulada de agroquímicos. Los herbicidas pueden ser inmovilizados por la retención, adhesión o concentración en la superficie de las partículas en el suelo (adsorción), limitando con esto su transferencia a la atmósfera o al agua. Por lo general las partículas de arcilla, limo, arena y materia orgánica, retienen mayormente a estos agroquímicos mediante interacciones electrostáticas, químicas o de Van der Waals [6] - [7]; esto dependerá de las propiedades del compuesto y la superficie donde se encuentre. Habitualmente, la adsorción aumenta con el contenido de materia orgánica y arcilla, así como disminuye al incrementar el pH o la temperatura [7] - [8].

Al no contar México con una regulación en cuanto a manejo, usos, dosis, métodos de aplicación o manejo de residuos (envases vacíos), resulta relevante desarrollar estudios para la identificación de herbicidas y datos relacionados con su aplicación, para promover un manejo más adecuado de estas sustancias. Por lo anterior, el objetivo principal de la presente investigación es determinar los herbicidas empleados en los cultivos que se encuentran próximos a los ecosistemas en partes bajas de cuencas, para identificar si estos pueden generar impactos al medio.

2. Metodología

Para cumplir los objetivos del presente estudio, se llevó a cabo trabajo de campo en la localidad La Victoria, donde se aplicaron entrevistas a los pobladores y los resultados se analizaron y compararon con estudios previos.

El análisis de los resultados obtenidos se llevó a cabo mediante la utilización de estadística descriptiva, la cual nos permite ordenar y representar los datos de una manera más clara e inteligente [9].

2.1 Desarrollo en gabinete

Se procedió a revisar diversas fuentes bibliográficas a fin de identificar los herbicidas que se emplean en el municipio de interés, así como sus municipios colindantes.

Los cuestionarios se elaboraron a partir de estudios previos [10] - [11] – [12], y se validaron en la primera visita de campo, posteriormente se modificaron para que las respuestas fueran más claras y específicas.

2.2 Desarrollo en campo

Se aplicó una encuesta a los agricultores de la zona con el fin de confirmar el uso intensivo y los herbicidas utilizados con mayor frecuencia en la zona, medios de aplicación, dosis empleadas, frecuencia de uso y manejo de residuos.

3. Resultados

Características de los cultivos

Durante las visitas realizadas en campo, se llevó a cabo la verificación de los herbicidas que se aplican en los cultivos, mediante una serie de preguntas realizadas a los agricultores en la localidad La Victoria ubicada

Los residuos como recurso

en el Municipio de Tecolutla. Cabe destacar que esta localidad fue seleccionada por las actividades agrícolas que ahí se desarrollan y además de su cercanía con el Estero La Victoria donde se encuentran los árboles de mangle.

Dentro de la localidad se seleccionaron a los cultivos de acuerdo a la cercanía con el cuerpo de agua denominado Estero La Victoria, en donde se entrevistaron a diez agricultores, de los cuales, el 30% mencionaron tener hasta dos tipos de cultivo diferente, mientras que la plantación de naranja predomina en la zona (Figura 1).

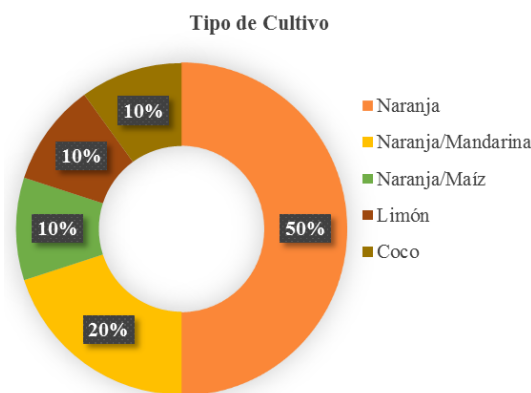


Figura 1. Tipo de cultivo en la localidad La Victoria

Del total de los agricultores entrevistados, sólo en el 80% de los casos, se emplean en los sembradíos uno o más herbicidas, la marca comercial denominada “Faena” es la que más se consume por los campesinos (Figura 2), quienes además, mencionaron realizar alguna especie de combinación con otros químicos como la urea, que es un fertilizante. Sin embargo, a pesar de informar acerca de marcas diferentes de plaguicidas, el ingrediente activo corresponde en todas las circunstancias al herbicida Glifosato (Tabla 2), el cual es catalogado en el año 2015 como probable cancerígeno para las personas por la Agencia de Investigación sobre el Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) de la Organización Mundial de la Salud; además de ser considerado como herbicida de acción total, es decir, que ataca a cualquier individuo sin importar la especie, por lo cual, se convierte en una sustancia toxica y dañina para la condición saludable de los ecosistemas, particularmente, para la zona del manglar ya que al ser translocado por el individuo, genera un desarrollo incontrolado que al paso del tiempo conduce a la muerte [13].

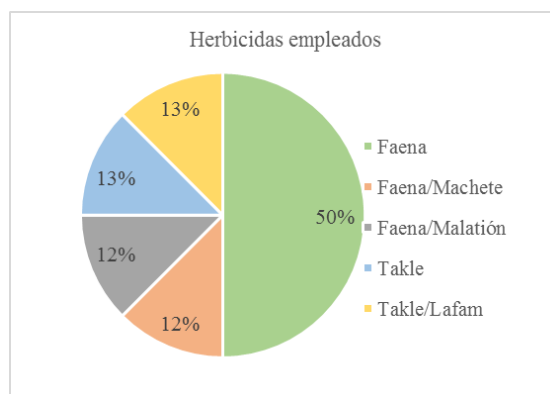


Figura 2. Herbicidas empleados en la localidad La Victoria.

Respecto a los equipos empleados para realizar el manejo y aplicaci6n de los agroquímicos, la mayoría de los entrevistados indic6 realizar la aplicaci6n con una mochila de motor, integrada por una bomba, pero sin

contar con el equipo de protección personal adecuado, por lo cual corren un riesgo elevado para su salud ya que se trabaja con este tipo de sustancias sin medidas precautorias.

De igual forma, resulta relevante el manejo de los residuos, para que no se generen impactos significativos al medio. Para este caso, se hace referencia a los envases vacíos en los que se comercializa este tipo de productos. En la mayoría de los casos, señalaron que, al terminarse la sustancia, queman estos recipientes o los almacenan para su reuso, incrementando la probabilidad de ocasionar intoxicaciones graves por la exposición aguda a compuestos derivados de la quema o por los nuevos usos que se les dan.

Tabla 28. Resumen de datos obtenidos en campo sobre los cultivos

Encuesta	Herbicida comercial	Ingrediente activo	Manejo de residuos	Días desde última aplicación
01	Faena	Glifosato	Almacena/Quema	30
02	Faena/Machete	Glifosato	Almacena/Quema	10
03	Faena	Glifosato	Almacena/Quema	-
05	Takle	Glifosato	Almacena	-
06	Faena	Glifosato	Quema	30
08	Faena	Glifosato	Tira	60
09	Takle/Lafam	Glifosato	-	-
10	Faena	Glifosato	Almacena/Quema	180

Durante la presente investigación, no se identificó la utilización de algunos herbicidas descritos en estudios anteriores en partes altas de la Subcuenca Río Tecolutla [10] - [11], como del 2,4-D o el Picloram. Cabe señalar que se debe tener especial cuidado al momento de emplear este tipo de sustancias, puesto que son catalogadas por su modo de acción como de tipo hormonal, es decir, que al incorporarse a la planta, el componente, actúa como una auxina (hormona encargada de regular aspectos de crecimiento), transportándose a lo largo de su sistema hacia las partes altas, generando en gran medida un desarrollo incontrolado cuyo paso siguiente es la muerte de la planta.

En este sentido, de acuerdo a investigaciones anteriores llevadas a cabo en árboles de mangle de la especie *Rhizophora mangle* en Florida [14], dichos individuos presentaron cierta sensibilidad particularmente a este par de sustancias, lo cual los hace más vulnerables a sus efectos. Por tal motivo, no se descarta la posibilidad de que al utilizarse agroquímicos en zonas altas estos se transporten por escorrentía superficial o infiltración a través del suelo hacia partes de menor altura.

Asimismo, en [10] - [11] - [12], se determinó que en municipios aledaños al sitio de interés, empezando desde la parte alta correspondiente a Papantla y Gutiérrez Zamora hasta llegar a Tecolutla, el consumo y aplicación de cuatro principales agroquímicos, Glifosato, Paraquat, 2,4-D y Picloram; así como también su localización en cantidades significativas en las matrices suelo y agua en cada territorio, lo que es alarmante, puesto que su presencia en el ambiente aumenta la posibilidades de generar un desequilibrio en los ecosistemas, afectando a flora y fauna e incluso a los propios habitantes de los mismos municipios o sus colindancias.

Por lo tanto, se tendrá que llevar a cabo un monitoreo exhaustivo, es decir, por lo menos cuatro veces al año, repartidos tanto en temporada de secas como de lluvias, con el objetivo de evaluar las concentraciones de los herbicidas más empleados en la Subcuenca Río Tecolutla, en cuerpos de agua, suelos y sedimentos en el Estero La Victoria, donde se encuentran los manglares, para que de esta forma se evite el deterioro de

las condiciones naturales del hábitat; así como instruir a los dueños de parcelas para mejorar las técnicas de aplicación o disminuir la adquisición de agroquímicos para reemplazarlos por sustancias naturales que cumplan la misma función de los herbicidas.

4. Conclusiones

- Se identificó al herbicida de mayor consumo y aplicación conocido comúnmente como Glifosato, por parte de los agricultores de la localidad La Victoria.
- 50 % de los agricultores quema o almacena los envases vacíos de herbicidas, que al considerarse residuos peligrosos, elevan la probabilidad de sufrir efectos a la salud por sustancias generadas por la quema o nuevos usos.
- Cerca de 100% de las personas que realizan la aplicación, no cuentan con equipo de protección personal para realizar el trabajo.

Referencias

- [1] Albert, L. A., & Benítez, J. A. (2005). Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros. *En Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental; Diagnóstico y Tendencias* (2da ed., págs. 157-176). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- [2] Ceccon, E. (Julio-septiembre de 2008). La revolución verde: tragedia de dos actos. *Ciencias*. En línea <<http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/91/02/La%20revolucion%20verde%20tragedia%20en%20dos%20actos.pdf>> Recuperado el 1 de abril de 2017.
- [3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *INDICADORES BÁSICOS DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN MÉXICO*. En línea <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/03_suelos/03_suelos_esquema.html> Recuperado el 6 de mayo de 2017.
- [4] Food and Agriculture Organization. En línea <<http://www.fao.org/faostat/es/#compare>> Recuperado el 6 de mayo de 2017.
- [5] Arellano-Aguilar, O., & Redpon von Osten, J. (2016). *LA HUELLA DE LOS PLAGUICIDAS EN MÉXICO*. Greenpace, Univeridad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [6] Alfaro Portugez, R. (2013). Herbicidas Asociados a la Caña de Azúcar y su Potencial de Contaminación del Medio Ambiente. Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar LAICA, Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar DIECA.
- [7] Tu, M., Hurd, C., & Randall, J. M. (2001). Chapter 6-General Properties of Herbicides. En *Weed Control Methods Handbook: Tools and Techniques for Use in Natural Areas*. The Nature Conservancy.
- [8] Sánchez Martín, M. J., & Sánchez Camazano, M. (1984). *LOS PLAGUICIDAS. ADSORCIÓN Y EVOLUCIÓN EN EL SUELO*. INTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGÍA. Salamanca: Temas de divulgación.
- [9] Fernández, S., Cordero Sánchez, J. M., & Córdoba Largo, A. (2002). *Estadística Descriptiva* (Segunda ed.). Madrid: ESIC Editorial.

- [10] Carrillo Morales, C. I. (2016). USO DE HERBICIDAS Y SU DISTRIBUCIÓN ESPACIAL EN LA SUBCUENCA RÍO TECOLUTLA. (MUNICIPIOS. TECOLUTLA, GUTIÉRREZ ZAMORA Y PAPANTLA). Tesis de Maestría. Ciudad de México, México: Centro interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional.
- [11] Morales Rangel, A. I. (2016). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LOS HERBICIDAS DE MAYOR USO EN LA SUBCUENCA RÍO TECOLUTLA, VERACRUZ. CASO DE ESTUDIO: MUNICIPIOS DE TECOLUTLA Y GUTIÉRREZ ZAMORA. Tesis de Maestría, 152. Ciudad de México, México: Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional.
- [12] Rangel González, P. E. (2017). DETERMINACIÓN DE HERBICIDAS EN LAS MATRICES AMBIENTALES: SUELO Y AGUA, EN PAPANTLA, VERACRUZ. 110. Ciudad de México, México: Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional.
- [13] Teas, H. J. (1976). HERBICIDE TOXICITY IN MANGROVES. Florida. University of Miami, Environmental Protection Agency.
- [14] Tu, M., Hurd, C., & Randall, J. M. (2001). Chapter 6-General Properties of Herbicides. En Weed Control Methods Handbool: Tools and Techniques for Use in Natural Areas. The Nature Conservancy. En línea: <https://www.invasive.org/gist/products/handbook/methods-handbook.pdf>

Caracterización de riesgos asociados a las labores de trabajadores de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos. Caso de estudio: Estado de México

¹Paulina Rebeca Cárdenas Moreno, ¹Fabián Robles Martínez, ²Mónica Sánchez Aguilar, ²Gabriela Pérez Manríquez y ¹Ana Belem Piña Guzmán.

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto s/n, Col. Barrio La Laguna-Ticomán, C.P. 07340, Ciudad de México, México

pcardenas@ipn.mx

²Departamento de Salud Ocupacional, Seguridad e Higiene, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Instituto Politécnico Nacional. Guillermo Massieu Helguera No. 239, Residencial La Escalera, C.P. 07320, Ciudad de México, México

Resumen

En los sitios de disposición final (SDF) de residuos sólidos urbanos (RSU), existen riesgos para la salud de los trabajadores que ahí laboran, debido a los productos generados por la biodegradación de los RSU, los cuales además llegan a contener cantidades variables de compuestos dañinos a la salud. El objetivo de este trabajo fue evaluar los posibles riesgos asociados al desempeño de las actividades laborales de los trabajadores de los SDF del Estado de México, mediante un estudio transversal observacional descriptivo. Para tal fin, se recabó información acerca de las condiciones laborales (tipo de SDF, equipo de protección personal (EPP) empleado por los trabajadores, y sus padecimientos. Se entrevistó a 90 trabajadores (administrativos, pepenadores y operarios de maquinaria) de 11 SDF (rellenos sanitarios (ReSa) y sitios no controlados (SNC)), a los cuales se les aplicó un cuestionario para determinar la frecuencia y duración de la exposición laboral a gases y sus posibles efectos. Del total de los trabajadores, al menos el 33% manifestaron cefalea, 40% visión borrosa, 10% flujo nasal, 16% tos, 13% hipoacusia, 20% prurito y 23% disnea, posterior a su jornada laboral. Los trabajadores de SNC presentan un mayor factor de riesgo debido a la carente infraestructura para el manejo de RSU, del gas emitido y de la falta de EPP. Los resultados preliminares resaltan la necesidad de realizar una evaluación de riesgos integral para identificar y cuantificar sustancias presentes en el ambiente que ocasionen los padecimientos encontrados y disminuir los riesgos asociados a su exposición laboral.

Palabras clave: *pepenadores, salud, exposición laboral, residuos sólidos urbanos, México.*

1. Introducción

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), conformada por la ciudad de México (CDMX) y algunos municipios del Estado de México (EM), enfrenta un problema en la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU), debido a dos puntos importantes: la cantidad de RSU generados y los sitios de disposición final (SDF), los cuales en su mayoría incumplen la normativa vigente (NOM-083-SEMARNAT-2003). En la CDMX se generan alrededor de 13 mil ton RSU/día [1], mientras que en el EM se recolectan aproximadamente 13,014 ton/día de RSU [2]. La mayoría (~80%) de los residuos se vierten en rellenos sanitarios (ReSa), mientras que la fracción más pequeña (~20%) es depositada en sitios no controlados (SNC), donde la quema para reducir el volumen y recuperar materiales, así como el acopio informal o pepena son prácticas comunes; sin embargo, no existe un dato preciso de la cantidad y productos que son recuperados durante esta actividad [3].

Una mala gestión de los RSU repercute en el ambiente y en la salud humana, ya que la composición de los RSU, además de contener residuos de comida, de poda y de otros subproductos orgánicos de degradación rápida, puede constar de plásticos, elementos electrónicos, papel, vidrio, metales y textiles, etc. [3] que son fuentes potenciales de contaminantes orgánicos persistentes [4], compuestos aromáticos [5], compuestos

orgánicos volátiles [6] y microorganismos patógenos [7]–[9], que pueden ocasionar fuertes padecimientos respiratorios y gastrointestinales en exposiciones tanto agudas como crónicas.

En México, en los SDF existen dos tipos de trabajadores: los formales y los informales. El sector formal, es moderno y regularizado, compuesto por empresas privadas y respaldadas por agencias gubernamentales. Generalmente, este sector se observa en los sitios que cumplen con la normativa y, dependiendo del sitio, abarca el capital humano especializado en ingeniería ambiental, civil, mecánica, así como en administración y operadores de maquinaria pesada. En contraste, el sector informal está fuera del control estatal y municipal. Se observa comúnmente en los SNC, donde las personas se dedican a la selección, recolección y venta de residuos, comúnmente llamada “pepena”. A pesar de ello, ambos sectores, formales e informales, suelen estar vinculados dinámicamente, a través de las actividades de separación y recolección de RSU valorizables, desarrolladas por los pepenadores. Dichas actividades mejoran el manejo de los sitios, aumentando la vida útil del mismo.

Aunque la figura de los pepenadores no es reconocida por la legislación mexicana, la pepena ha formado parte de la gestión sistemática de residuos en México desde hace más de tres décadas. En 1984, Castillo-Berthier [10] reportó las actividades de los pepenadores en la CDMX, dándonos una amplia revisión del trabajo de estos personajes, su organización y sus redes de parentesco que se extienden más allá de los tiraderos, hacia la organización formal de los Departamentos de Saneamiento en la Ciudad de México. Bernache-Pérez [11] habla también de la influencia de los pepenadores en el manejo de los residuos en la zona metropolitana de Guadalajara, mientras que Ojeda-Benitez et al., abordan el mismo tema para la ciudad de Mexicali, Baja California [12].

No existen datos sólidos y confiables sobre el número de personas dedicadas a la pepena en México, ya que se trata de una actividad no reglamentada y no registrada, por lo tanto, la pepena no está permitida en los RESA, según se estipula claramente en la NOM-083-SEMARNAT-2003. En [13] se reporta que hasta un 2% de la población de algunos países en desarrollo, depende de la recolección de desechos para la supervivencia diaria. Sin embargo, esta cifra es difícil de corroborar, ya que el sector informal no suele incluirse como categoría de censo, al menos en México, por lo que es difícil obtener datos fiables sobre el número de individuos dedicados a la pepena; además, no se ha realizado ninguna investigación para obtener una estimación de las actividades informales de selección y recolección de RSU. No obstante, en la medida en que la pobreza y la demanda de materiales persistan, es probable que la pepena continúe, ya que numerosos estudios a nivel mundial resaltan que la pepena es llevada a cabo por gente de escasos recursos [11], [14]–[20].

En general, los trabajadores de los SDF (T-SDF) están expuestos a riesgos para su salud, debido a la exposición a cargas de trabajo pesadas, bio-aerosoles, compuestos volátiles, materiales potencialmente peligrosos o incluso infecciosos [21], por lo que pueden presentar problemas músculo-esqueléticos, dérmicos, respiratorios y gastrointestinales [21], [22].

En estudios previos [23] se analizaron las características y particularidades de 83 SDF en EM, donde se identificaron las condiciones y actividades que se desarrollan dentro de dichos sitios, por tal motivo el objetivo de este trabajo fue identificar algunos padecimientos en T-SDF en el estado de México, que pudieran estar relacionados con la exposición laboral a compuestos químicos (tóxicos) y biológicos (microorganismos patógenos), presentes en las emanaciones de biogás y lixiviados propios de los SDF, para evaluar los posibles riesgos asociados al desempeño de actividades laborales dentro de los SDF.

2. Metodología

Para la caracterización de los T-SDF del Estado de México, se llevó a cabo un estudio transversal de tipo observacional descriptivo. Para ello, a los trabajadores que accedieron a participar en el estudio, se les aplicó un cuestionario (**Tabla 29**) para recabar información sobre las condiciones laborales como el tipo de SDF (con base en lo reportado en [23]) en el que laboran, equipo de protección personal (EPP) que utilizan y padecimientos que han presentado. A través de dicha encuesta, se determinaron la frecuencia y duración de

las jornadas laborales y se tuvo un primer acercamiento a las condiciones de trabajo y posibles riesgos asociados a las actividades desempeñadas en los SDF. Dadas las condiciones de informalidad en las que laboran los recolectores en los SDF y la poca participación por parte de los administrativos en los ReSa, la selección de los sujetos de estudio fue por medio de un muestreo intencional, para tomar la mayor cantidad de personas, con el fin de obtener la mayor cantidad de datos e incrementar la representatividad. Por tal motivo, se incluyó al personal que accedió a responder los reactivos de la **Tabla 29**. Asimismo, se investigó y analizó el proceso operativo de la organización estudiada para identificar los peligros y sus riesgos asociados. Ello requirió la descripción de cada etapa, cada puesto y cada actividad del proceso estudiado, utilizando como auxiliares un flujograma y un mapeo de riesgos.

Tabla 29. Cuestionario sobre salud ocupacional aplicado a los trabajadores de los SDF

Reactivos	Respuesta
1. Nombre	
Edad y sexo	M () F ()
2. Tiempo laborando en el sitio (años)	
3. Jornada laboral (horas/día y días/semana)	____ hrs/día ____ días/semana
4. ¿Qué equipo de protección personal utiliza?	
5. ¿Qué herramientas utiliza?	
6. Otras actividades que realice	
7. ¿Cuenta con alguna prestación social? ¿Cuál?	
8. ¿Padece alguna enfermedad crónica?	
9. ¿Ha tenido algún accidente en el sitio de trabajo?	
10. De las siguientes preguntas, ¿ha tenido alguna durante o después de su jornada laboral?	
Dolor de cabeza	
Visión borrosa o con luces	
Flujo nasal	
Tos con flemas	
Pérdida de audición	
Comezón, en que partes del cuerpo	
Falta de aire	
11. ¿Ha asistido a una consulta médica en los últimos 6 meses? ¿Cuál fue el motivo?	
12. ¿Dónde consume sus alimentos dentro de su jornada laboral?	

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se visitaron tres rellenos sanitarios (ReSa) y nueve sitios no controlados (SNC) en el periodo comprendido entre marzo y diciembre de 2016. En la **Tabla 30** se encuentran enlistados dichos sitios. En dichas visitas, se encuestó a trabajadores administrativos, pepenadores y operarios de maquinaria, donde 6 personas (7%) laboraban en los ReSa y 84 (93%) en los SNC. Los sujetos de estudio fueron masculinos y femeninos entre los 16 y 74 años de edad, distribuidos en cuatro categorías como se muestra en la Figura 40.

Tabla 30. SDF visitados donde se aplicaron los reactivos de la Tabla 29

Municipio	Tipo de SDF
Amecameca	SNC
Atlautla	SNC
Ayapango y Juchitepec	ReSa
Chicoloapan	SNC
Cocotitlán	SNC
Nopaltepec	SNC
Ozumba	SNC
San Martín de las Pirámides	SNC
Tlalmanalco	SNC
Tultitlán	ReSa
Villa del Carbón	SNC
Zinacantepec	ReSa

3.1 Caracterización de los receptores

En general, la mayoría de los trabajadores de los SNC se dedican a la pepena (en condiciones informales) dado que solo uno de los 84 manifestó no dedicarse a esta actividad. Por el contrario, en los ReSa, todos los sujetos encuestados (6 personas) dijeron desempeñar funciones administrativas y de mantenimiento para los sitios.

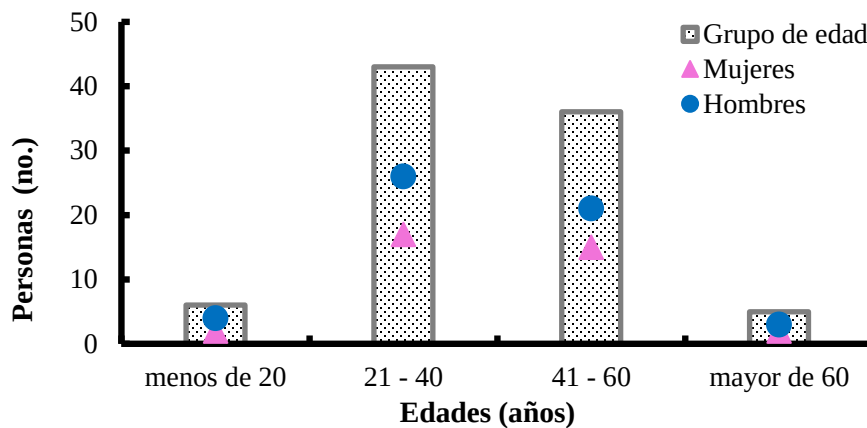


Figura 40. Distribución por grupo de edades y sexo de los T-SDF encuestados

En este estudio, se observó una importante participación del género femenino, ya que el 40% de las personas encuestadas fueron mujeres, mientras que 60% fueron del sexo masculino. En el estudio de las exposiciones ocupacionales, la perspectiva de género ha adquirido mayor importancia en los últimos años, ya que las mujeres han conquistado casi todas las áreas de trabajo, incluyendo muchas ocupaciones peligrosas.

Los resultados derivados de las respuestas de los reactivos de la **Tabla 29** mostraron que 64 personas (71%) presentaron algún síntoma de los expuestos en la **Figura 41**, donde se observa que al menos el 33% manifestaron cefalea, 40% visión borrosa, 10% flujo nasal, 16% tos con flemas, 13% hipoacusia, 20% prurito y 23% disnea, posterior a su jornada laboral. Asimismo, el 26% de los sujetos de estudio no manifestó ningún padecimiento posterior a su jornada laboral.

La cefalea o dolor de cabeza y la visión borrosa han sido observados en estudios similares a este [24], [25] y han sido atribuidos a diversos factores como la exposición crónica al sol y a vapores desprendidos del uso de productos derivados de petróleo en las maquinarias para la segregación de los RSU.

El flujo nasal, la tos con flemas, disnea o falta de aire, así como otras enfermedades respiratorias y el prurito o irritación de la piel también han sido reportados en otros estudios sobre T-SDF y se han relacionado con la exposición a compuestos encontrados en los sitios, tales como bioaerosoles (contiendo endotoxinas) y polvos con compuestos orgánicos [9], [22], [26]–[30].

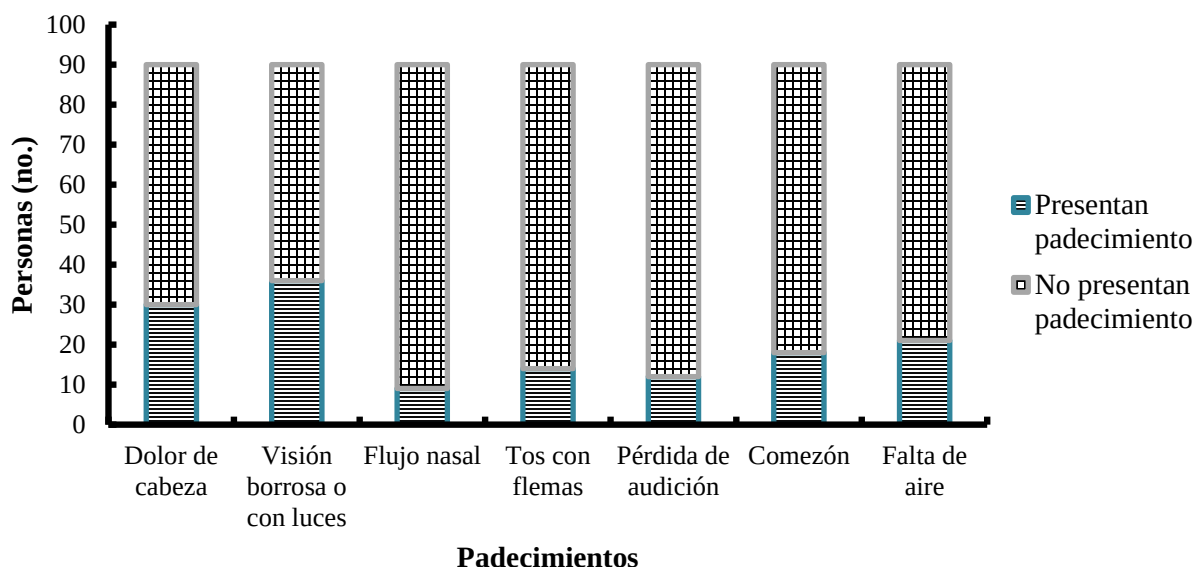


Figura 41. Distribución de los padecimientos encontrados en los T-SDF

Por otro lado, en la **Figura 42** se observa que los sujetos dedicados a la pepena (trabajadores de SNC) fueron quienes presentaron más síntomas, en comparación con los que desarrollaban otras actividades. Además, al estar laborando sobre los RSU que se disponen diariamente en los sitios, en los que no se realiza la cobertura de los mismos, los trabajadores estaban expuestos a cualquier compuesto nocivo (gases generados y liberados) proveniente del sitio. Por otro lado, la falta de uso de equipo de protección personal (EPP) básico (guantes, mascarilla, ropa y calzado industrial), según lo estipulado en la NOM-010-STPS 2014 [31], maximiza los riesgos.

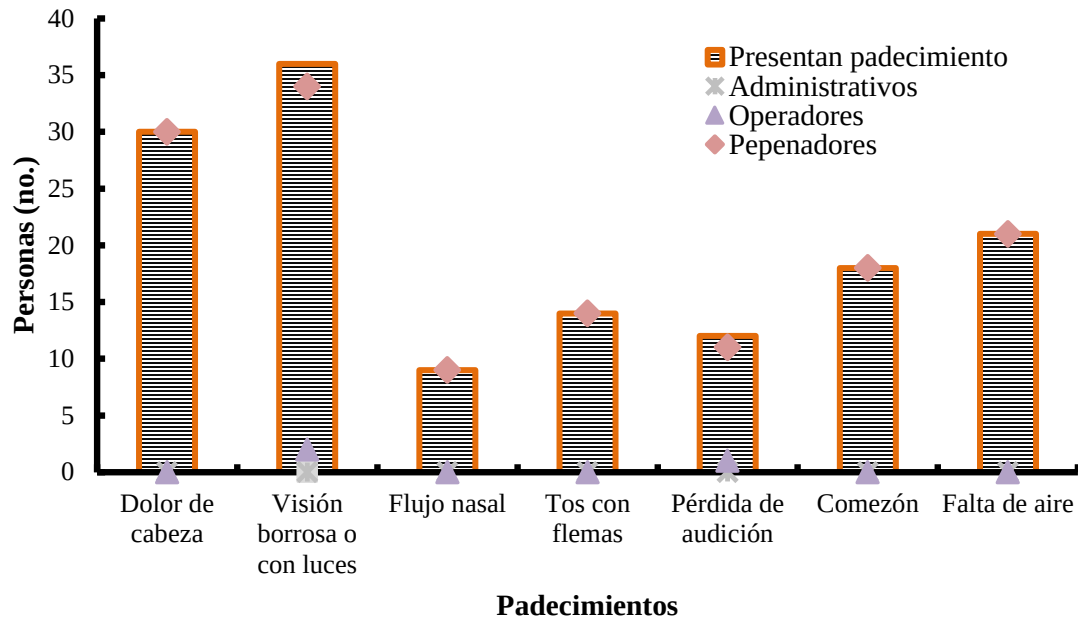


Figura 42. Distribución de los padecimientos encontrados en los T-SDF por actividad laboral

En la **Figura 4**. Distribución de los padecimientos encontrados en los T-SDF por grupo de edad, Porcentaje de casos de acuerdo al grupo de edad al que pertenecen

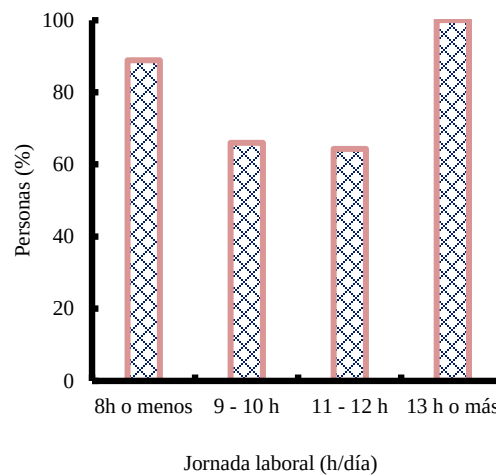


Figura 5. Distribución de los padecimientos encontrados en los T-SDF por grupo de edad, Porcentaje de casos de acuerdo a la jornada laboral

se observa la fracción de individuos, de cada grupo etario, que presentaron al menos uno de los padecimientos estudiados. El grupo más vulnerables fue el de los trabajadores menores de 20 años, pues aunque representa, apenas el 6.67% de la población total encuestada, tuvo la mayor proporción de personas (83%) que manifestó la ocurrencia de al menos uno de los padecimientos, mientras que en los dos grupos más numerosos, el de 21-40 años y el de 41-60 años, la fracción que presentó al menos un padecimiento fue del 42% y 66%, respectivamente.

De igual manera, en la **Figura 5**. se muestran los porcentajes de personas que manifestaron presentar al menos un padecimiento de acuerdo a su jornada laboral, donde se

encontró que la totalidad de las personas que laboraban el mayor tiempo (13 horas o más), padecían al menos un síntoma de los listados.

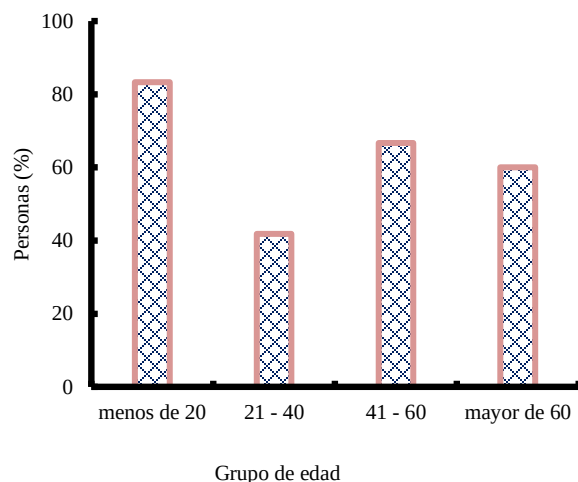


Figura 4. Distribución de los padecimientos encontrados en los T-SDF por grupo de edad, Porcentaje de casos de acuerdo al grupo de edad al que pertenecen

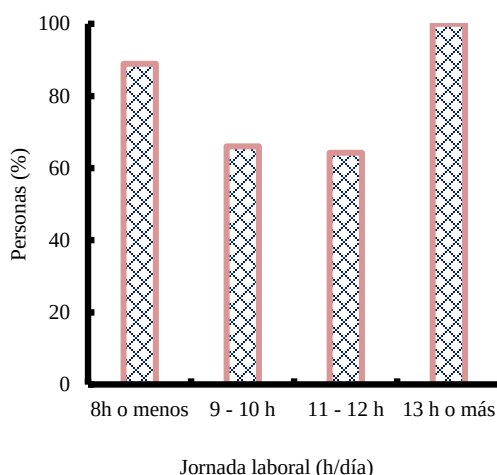


Figura 5. Distribución de los padecimientos encontrados en los T-SDF por grupo de edad, Porcentaje de casos de acuerdo a la jornada laboral

Con respecto a las actividades desarrolladas por los T-SDF, se identificaron peligros de tipo: biológico y químico. De los riesgos biológicos (por contacto con los microorganismos encontrados en los lixiviados), las rutas de exposición encontradas fueron: la inhalatoria, por ingestión y contacto con la piel y ojos, ya que, en un proyecto simultáneo en el grupo de trabajo, desarrollado por [32], se encontraron las cepas: *Penicillium sp.*, *Escherichia coli*, *Klebsiella sp.*, *Enterobacter sp.*, *Citrobacter sp.*, *Streptococcus*, *Pseudomona sp.*, *Aspergillus sp.*, *Scedosporium sp.*

De los riesgos químicos (por contacto con componentes presentes en el biogás), las vías de exposición encontradas fueron: inhalatoria, digestiva y contacto dérmico y conjuntival. Se tomaron en cuenta los compuestos más estudiados en la bibliografía internacional (ácido sulfhídrico, benceno, cloruro de vinilo (cloroetileno), dióxido de carbono, etilbenceno, mercurio (elemental e inorgánico), metano, tolueno y xileno (o-m-p-isómeros)) [33]–[36] debido a su fuerte influencia en el desarrollo de efectos adversos como daños

en órganos vitales o cáncer. Además de su constante aparición en estudios de cuantificación de sustancias emitidas en SDF.

Sin embargo, es importante mencionar que existen riesgos de tipo físico, ergonómico, psicosocial y condiciones y acciones inseguras. De los riesgos físicos, las condiciones que pueden favorecer un daño dérmico, pueden ser la temperatura extrema alta, radiación solar y humedad. De los riesgos psicosociales, se identificaron relaciones interpersonales nocivas, pobreza extrema y analfabetismo. De los riesgos de condiciones inseguras, se identificó la falta de equipo de protección personal (EPP). De los riesgos ergonómicos, se identificaron: sobrecarga postural, sobrecarga de trabajo, movilización de cargas y movimientos repetitivos.

Para entender el vínculo entre los procesos productivos y las enfermedades ocupacionales es necesario realizar un diagnóstico situacional que haga evidentes todos los tipos de riesgos mencionados. A partir de dichos riesgos, se determinarían procesos patológicos relacionados e integrarían sus diagnósticos presuntivos y definitivos [37].

4. CONCLUSIONES

Los trabajadores exhibieron una prevalencia mayor de síntomas de cefalea y visión borrosa, que coincidentemente con diversos estudios, pueden ser atribuidos a factores como la exposición crónica al sol y a vapores de compuestos orgánicos. Además, se observaron síntomas de enfermedades del sistema respiratorio y de la piel, principalmente en trabajadores de SNC, resaltando un nulo cumplimiento de las medidas básicas de seguridad e higiene en los centros de trabajo. El 71% de los sujetos de estudio manifestó haber sentido al menos un padecimiento posterior a su jornada laboral, lo que nos lleva a establecer la existencia de factores de riesgo en común que son generados en los SDF estudiados. Los resultados obtenidos en este estudio resaltan la necesidad de realizar una evaluación de riesgos integral para identificar y cuantificar sustancias presentes en el ambiente, que ocasionen los padecimientos encontrados y disminuir los riesgos asociados a su exposición laboral.

5 REFERENCIAS

- [1] SEDEMA. (2015). *Inventario de residuos solidos CDMX-2014*. Ciudad de México.
- [2] INEGI. (2015). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Módulo 6 Residuos Sólidos Urbanos. En línea <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/censos/gobierno/cngmd2013/default.aspx>> Recuperado el 15/10/16.
- [3] INECC. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2012*. Mexico City. En línea <<http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos>> Recuperado 02/10/16.
- [4] Hafeez, S., Mahmood, A., Syed, J. H., Li, J., Ali, U., Malik, R. N., & Zhang, G. (2016). Waste dumping sites as a potential source of POPs and associated health risks in perspective of current waste management practices in Lahore city, Pakistan. *Science of the Total Environment*, 562, 953–961. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.120>
- [5] Liu, Y., Liu, Y., Li, H., Fu, X., Guo, H., Meng, R., ... Wang, H. (2016). Health risk impacts analysis of fugitive aromatic compounds emissions from the working face of a municipal solid waste landfill in China. *Environment International*, 97, 15–27. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.010>
- [6] Durmusoglu, E., Taspinar, F., & Karademir, A. (2010). Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. *Journal of Hazardous Materials*, 176(1-3), 870–877. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.11.117>
- [7] Sun, M., Ye, M., Schwab, A. P., Li, X., Wan, J., Wei, Z., Jiang, X. (2016). Human migration activities drive the fluctuation of ARGs: Case study of landfills in Nanjing, eastern China. *Journal of Hazardous Materials*, 315, 93–101. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.077>
- [8] Kalwasińska, A., Burkowska, A., & Swiontek Brzezinska, M. (2014). Exposure of workers of municipal landfill site to bacterial and fungal aerosol. *Clean - Soil, Air, Water*, 42(10), 1337–1343.

<http://doi.org/10.1002/clen.201300385>

[9] Kalwasińska, A., & Burkowska, A. (2013). Municipal landfill sites as sources of microorganisms potentially pathogenic to humans. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 15(5), 1078–1086. <http://doi.org/10.1039/c3em30728j>

[10] Castillo-Berthier, H. (1984). *El Basurero: Antropología de la Miseria* (1ra. ed.). Ciudad de México: EDAMEX.

[11] Bernache-Pérez, G. (2003). The environmental impact of municipal waste management : the case of Guadalajara metro area. *Resources, Conservation and Recycling*, 39, 223–237. [http://doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00029-6](http://doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00029-6)

[12] Ojeda-Benitez, S., Armijo-de-vega, C., & Ramí, M. E. (2002). Formal and informal recovery of recyclables in Mexicali , Mexico : handling alternatives. *Resources, Conservation and Recycling*, 34, 273–288.

[13] Medina, M. (2007). *The World's Scavengers: Salvaging for Sustainable Consumption and Production*. Lanham, MD.: AltaMira Press.

[14] Castillo-Bertier, H. (2003). Garbage , work and society. *Resources, Conservation and Recycling*, 39, 193–210. [http://doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00027-2](http://doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00027-2)

[15] Medina, M. (2000). Scavenger cooperatives in Asia and Latin America. *Resources, Conservation and Recycling*, 31, 51–69.

[16] Ezeah, C., Fazakerley, J. A., & Roberts, C. L. (2013). Emerging trends in informal sector recycling in developing and transition countries. *Waste Management*, 33(11), 2509–2519. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.06.020>

[17] Rockson, G. N. K., Kemausuor, F., Seassey, R., & Yanful, E. (2013). Activities of scavengers and itinerant buyers in Greater Accra , Ghana. *Habitat International*, 39, 148–155. <http://doi.org/10.1016/j.habitatint.2012.11.008>

[18] Sasaki, S., & Araki, T. (2013). Employer e employee and buyer e seller relationships among waste pickers at fi nal disposal site in informal recycling : The case of Bantar Gebang in Indonesia. *Habitat International*, 40, 51–57. <http://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.02.003>

[19] Henry, R. K., Yongsheng, Z., & Jun, D. (2006). Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. *Waste Management*, 26, 92–100. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.03.007>

[20] Sembiring, E., & Nitivattananon, V. (2010). Resources , Conservation and Recycling Sustainable solid waste management toward an inclusive society : Integration of the informal sector. “*Resources, Conservation & Recycling*,” 54(11), 802–809. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.12.010>

[21] An, H., Englehardt, J., Fleming, L., & Bean, J. (1999). Occupational health and safety amongst municipal solid waste workers in Florida. *Waste Management & Research*, 17(5), 369–377. <http://doi.org/10.1177/0734242X9901700505>

[22] Poulsen, O. M., Breum, N. O., Ebbenhøj, N., Hansen, A. M., Ivens, U. I., Van Lelieveld, D., ... Wilkins, C. K. (1994). Collection of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Chemistry for the Conservation of the Cultural-Heritage*, 143(1), 113–120.

[23] Cárdenas-Moreno, P. R., Piña Guzmán, A.P., Colomer Mendoza, F. J., Carlos Alberola, M. M. (*In Press*). Evaluation of compliance with regulatory factors of waste disposal sites by using Geographical Information Systems, Case of study: State of Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.

[24] Kitsantas, P., Kitsantas, A., & Travis, H. R. (2000). Occupational exposures an associated health effects among Sanitation Landfill Employees. *Journal of Environmental Health*, 63(5), 17–24.

[25] Salvesen, R., & Bekkelund, S. I. (2000). Migraine, as compared to other headaches, is worse during midnight-sun summer than during polar night. A questionnaire study in an arctic population. *Headache*, 40(10), 824–829. <http://doi.org/10.1046/j.1526-4610.2000.00149.x>

[26] Krajewski, J., Tarkowski, S., & Cyprowski, M. (2002). Occupational Exposure To Organic Dust Associated With Municipal Waste Collection and Management. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 15(3), 289–302.

- [27] Lavoie, J., Dunkerley, C. J., Kosatsky, T., & Dufresne, A. (2006). Exposure to aerosolized bacteria and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. *Science of the Total Environment*, 370(1), 23–28. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.05.016>
- [28] Sabde, Y. D., & Zodpey, S. P. (2008). A Study of Morbidity Pattern in Street Sweepers: A Cross-sectional Study. *Indian Journal of Community Medicine : Official Publication of Indian Association of Preventive & Social Medicine*, 33(4), 224–8. <http://doi.org/10.4103/0970-0218.43226>
- [29] Domingo, J. L., & Nadal, M. (2009). Domestic waste composting facilities: A review of human health risks. *Environment International*, 35(2), 382–389. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.004>
- [30] Odewabi, A. O., Ogundahunsi, O. a., & Ekor, M. (2013). Effect of exposure to solid wastes in relation to employment duration on some important markers of health and disease in waste management workers of Ogun State in southwest Nigeria. *Human & Experimental Toxicology*, 32(12), 1231–44. <http://doi.org/10.1177/0960327113488612>
- [31] STPS. (2014). NOM-010-STPS-2014. Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral-reconocimiento, evaluación y control. *Diario Oficial de La Federación*, 82.
- [32] Delgado-Lugo, D. G. (2017). *Evaluación de riesgos a la salud por exposición a lixiviados en un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos*. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional.
- [33] Davoli, E., Fattore, E., Paiano, V., Colombo, a., Palmiotto, M., Rossi, a. N., ... Fanelli, R. (2010). Waste management health risk assessment: A case study of a solid waste landfill in South Italy. *Waste Management*, 30(8-9), 1608–1613. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.013>
- [34] Palmiotto, M., Fattore, E., Paiano, V., Celeste, G., Colombo, A., & Davoli, E. (2014). Influence of a municipal solid waste landfill in the surrounding environment: Toxicological risk and odor nuisance effects. *Environment International*, 68, 16–24. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2014.03.004>
- [35] Brindley, P., Wise, S. M., Maheswaran, R., & Haining, R. P. (2005). The effect of alternative representations of population location on the areal interpolation of air pollution exposure. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(4), 455–469. <http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.01.001>
- [36] Chalvatzaki, E., Aleksandropoulou, V., & Lazaridis, M. (2014). A Case Study of Landfill Workers Exposure and Dose to Particulate Matter-Bound Metals. *Water, Air and Soil Pollution*, 225(1), 1–19. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11270-013-1782-z>
- [37] Sánchez-Aguilar, M. (2013). *Diseño de un método de diagnóstico integral de enfermedades derivadas de los riesgos laborales presentes en procesos productivos*. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional. 275 pp.

SECCION 7

SOCIEDAD Y

GOBIERNO

Predictores psicológicos de la conducta de separación de residuos sólidos de residentes de la ciudad de México

Cristina Barrientos Durán¹, José Marcos Bustos Aguayo², Ángel Eduardo Velasco Rojano³

¹ Universidad La Salle Nezahualcóyotl, Av. Bordo de Xochiaca esquina con Av. Adolfo López Mateos, Col. Tamaulipas, 22281889 e-mail: cbarrientos@ulsaneza.edu.mx

²Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM ³ Facultad de Psicología, UNAM

Resumen

El nicho principal en donde los seres humanos se desarrollan y despliegan una gran cantidad de sus actividades es el hogar y por tanto, representa un espacio en el que se derrocha una gran cantidad de energía y recursos. El objetivo general de la presente investigación fue evaluar si las variables psicológicas (conocimientos, valores, normas, creencias y motivos ambientales), predecían la conducta proambiental de separación de residuos sólidos. Además, realizar análisis descriptivos de cada una de las variables propuestas. Se aplicaron los instrumentos a 300 habitantes de la Delegación Benito Juárez en la Ciudad de México, de ellos el 51% eran mujeres (n=153) y el 49% hombres (n=147), de entre 18 y 65 años de edad (M=43.83, DE=14.47). El tipo de muestreo fue no probabilístico e incidental, ya que no se buscaba la representatividad de los datos. La separación de residuos sólidos se explicó por el factor conveniencia de la escala de motivos para la compra de productos ecológicos y los valores biosféricos. En general los participantes presentaron promedios altos, tanto en las variables disposicionales como en la dependiente; no obstante, se encontraron pobres conocimientos ambientales y una puntuación menor en el factor llamado *práctico* de la escala de motivos para la separación de residuos sólidos. De manera general se concluyó que, la separación de los residuos sólidos más allá de ser un mandato posee componentes cognoscitivos y afectivos que pueden llevar a los ciudadanos a su correcta y continua implementación.

Palabras Clave: *Separación de residuos sólidos, conducta proambiental, psicología ambiental.*

1. Introducción

A partir del 8 de julio de 2017 entró en vigor lo señalado en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013, que establece los nuevos criterios y especificaciones para que los habitantes separaran los residuos en cuatro categorías (orgánicos, inorgánicos reciclables, inorgánicos no reciclables e inorgánicos de manejo especial y voluminosos) [1]. Además, de aplicar el principio de “basura cero”, con el cual se pretende disminuir, aprovechar y valorizar al máximo la cantidad de residuos a través de la reutilización, reciclaje y aprovechamiento energético.

En el Informe de la Situación del Ambiente en México, elaborado por la SEMARNAT [3], se reporta que en México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de Residuos Sólidos Urbanos alcanzó 53.1 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 61.2% con respecto a 2003 (10.24 millones de toneladas más generadas en ese período). Si se expresa por habitante, alcanzó 1.2 kilogramos en promedio diariamente en el mismo año.

De acuerdo con Chávez [4], las ciudades con economías de alto poder adquisitivo y alto consumo producen más residuos que bienes y por tanto, su metabolismo es lineal; toman lo que necesitan de la naturaleza y se deshacen de los residuos, no habiendo una correlación entre lo que entra y lo que sale. Y define la Gestión Integral de los Residuos Sólidos como el conjunto de operaciones que se realizan con los desechos desde que se generan en los hogares y servicios hasta la última fase de su tratamiento y disposición. Señala que, estas operaciones están orientadas a considerar a los residuos no como desperdicios, sino como materiales con una vida útil según sus características, volumen, procedencia, posibilidades de recuperación y potencial de aprovechamiento. El reuso y el reciclaje de materiales son fundamentales para reducir la presión sobre los ecosistemas y otras fuentes de recursos de las que se extraen [3]. De ahí que, una acción imprescindible

es que los ciudadanos categoricen sus “desechos”. Específicamente, la separación de residuos sólidos se define como la conducta mediante la cual, las personas seleccionan los objetos y los colocan en contenedores específicos [5].

Una gran cantidad de estudios enmarcados en el área de la psicología ambiental han abordado distintas variables psicológicas en busca de identificar qué características de los individuos se relacionan con la conducta de separación de residuos sólidos. Entendidas como procesos reales, fenómenos de la realidad accesibles a los sentidos visuales, auditivos, gustativos, olfativos y kinestésicos, comprensibles a la experiencia sensible y afectivo emocional, asequibles al entendimiento y a la vivencia [6]. Con base en la literatura en la presente investigación se consideraron las siguientes variables: conocimientos ambientales [7] [8], valores ambientales [9] [10]; normas ambientales [11] [12]; creencias ambientales [13] [14] y motivos ambientales [15] [16].

El conocimiento ambiental se define como la información que tienen las personas acerca de los problemas ambientales y sus soluciones [17]. Los valores ambientales son aquellas metas deseables que varían en importancia y que sirven como principios guía en la vida de las personas [18]. A las normas ambientales las representa un sentimiento individual de alto grado de conciencia por un problema ecológico; el cual a su vez puede estar asociado con una decisión específica derivada de la conciencia en general [19]. Los motivos son tendencias a responder de manera favorable ante la conservación del medio ambiente o ante acciones o ideas que favorezcan al mismo [20]. Por último, las creencias ambientales son definidas como el conjunto de declaraciones básicas sobre la relación entre el hombre y la naturaleza [21]. A continuación se describen dos estudios antecedentes.

Díaz [22] reportó que, mediante la aplicación de 351 cuestionarios a habitantes de la Isla Gran Canarias elaboró un modelo en el que explicaba la conducta de reciclaje de vidrio, papel y envases como resultado de variables personales y sociodemográficas. El autor concluyó que, los antecedentes a partir de los cuales se originaba todo el proceso de adopción de la conducta de reciclaje eran la conciencia ecológica y el conocimiento acerca de su importancia; además de que, la existencia de infraestructura para llevar a cabo la conducta era una consecuencia de la conciencia ecológica y la causa directa de la actitud favorable, el involucramiento y la acción de colaboración hacia el reciclaje; también reportó una fuerte relación entre la conciencia ecológica y las creencias.

En otro estudio Barr [10] realizó los modelos explicativos de las conductas de reuso, reciclaje y disminución del consumo, con base en la aplicación de una serie de instrumentos a 673 residentes de Gran Bretaña. Específicamente, con respecto a la conducta de reciclaje, el autor reportó que esta se explicaba principalmente por la intención conductual, la aceptación de la norma y la percepción de conveniencia y esfuerzo y no por los valores y el civismo; además de la presencia y ubicación de contenedores.

Entonces, resulta pertinente abordar a los problemas medioambientales como un sistema complejo para el que es necesario establecer un análisis de los elementos internos relacionados con el comportamiento; de manera tal que, el análisis de los factores involucrados permita el planteamiento de mecanismos, tanto de comprensión como de solución (Maldonado, 2007). Se planteó como pregunta de investigación ¿las variables psicológicas conocimientos, valores, normas, creencias y motivos ambientales predicen la conducta de separación de residuos sólidos?

2. Metodología

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Probar un modelo predictivo entre la conducta de separación de residuos sólidos y variables psicológicas (conocimientos, valores, normas, creencias y motivos ambientales).

2.1.2. Objetivos específicos

1. Realizar análisis descriptivos de cada una de las variables.
2. Analizar si existían correlaciones estadísticamente significativas entre las variables.

2.2. Tipo de estudio

De campo y de comprobación de hipótesis, para ello es necesario conocer los correlatos entre las variables; los estudios de campo son fuertes en su realismo, significancia, fortaleza de las variables, orientación teórica y calidad heurística [23].

2.3. Diseño

No experimental y transeccional de grupos independientes [23].

2.4. Participantes

Mediante un muestreo no intencional se aplicaron los instrumentos a 300 participantes de la delegación Benito Juárez en la Ciudad de México; específicamente en las colonias Josefa Ortiz de Domínguez, Postal, Miguel Alemán, Niños Héroes, Independencia, Del Lago, Periodista, Narvarte Poniente y Américas Unidas.

2.5. Instrumentos.

Se utilizaron las siguientes escalas:

Conducta de separación de residuos sólidos: ocho reactivos agrupados en un solo factor ($\alpha=.68$), referidos a la separación de comida, latas, botellas de vidrio blancas y de colores, residuos de colores, residuos de café, revistas, libros y cuadernos, cosméticos, vidrio y pilas.

-Para las variables psicológicas:

- Cuestionario de conocimientos ambientales: se elaboraron diez reactivos de opción múltiple basados en los trabajos de Barrientos [24] y Geiger, Otto y Diaz-Marin [25] en donde la calificación se obtenía mediante la sumatoria de las respuestas correctas.

- Valores biosféricos: se construyó una escala ex profeso para esta investigación, la cual se integró por cuatro reactivos que evaluaban la preocupación por especies no humanas y por la biosfera en su conjunto. Tenía un formato de respuesta tipo Likert que iba de *no importante* a *de suprema importancia* ($\alpha=.90$).

- Motivos ambientales para la separación de residuos sólidos: 12 reactivos divididos en dos factores: limpieza y salud ($\alpha=.92$) y prácticos ($\alpha=.70$).

- Normas Ambientales: 14 reactivos tipo Likert que evaluaban en una escala de *totalmente en desacuerdo* a *totalmente de acuerdo* agrupados en dos factores: tres ítems de obligación personal ($\alpha=.84$) y cinco de empresas y gobierno ($\alpha=.85$).

- Creencias Ambientales: siete reactivos con formato de respuesta tipo Likert que iban de *totalmente en desacuerdo* a *totalmente de acuerdo*, donde los participantes expresaban su nivel de concordancia con una serie de oraciones relacionadas a acciones de protección ambiental ($\alpha=.91$).

2.6. Procedimiento.

1. Los entrevistadores previamente capacitados acudieron con identificación a las viviendas para solicitar la participación de una persona mayor de 18 años.
2. Se explicó a los posibles participantes el objetivo de la encuesta, aclarándoles que sus respuestas eran totalmente confidenciales y serían utilizadas para fines de investigación.
3. A manera de *rapport* a las personas que aceptaban participar se les entregaba una maceta pequeña con una planta del tipo “*crasas*” o “*suculentas*”.
4. Una vez que las personas aceptaban participar el cuestionario se les aplicó de manera individual.
5. Una vez terminado el cuestionario se agradeció a los participantes su disponibilidad y tiempo.

3. Resultados

3.1. Características sociodemográficas de la muestra

Se aplicaron los cuestionarios a 300 habitantes de la Ciudad de México, participaron 153 mujeres (51%) y 147 hombres (49%), los cuales tenían entre 18 y 65 años de edad ($M = 43.83$, $DE = 14.47$). En la tabla 1 se pueden observar los grupos en que se conjuntaron los participantes de acuerdo a las variables sociodemográficas. El 43% ($n=129$) de las personas entrevistadas contaban con el grado de licenciatura concluida de ahí que, la mayoría se situó en el grupo dos con escolaridad de licenciatura y posgrado (52.3%).

Tabla 1. Agrupación de las variables sociodemográficas

Grupos	Frecuencia	Porcentaje
Grupos de edad		
Grupo 1 (18 a 33 años)	85	28.3
Grupo 2 (de 34 a 49 años)	95	31.7
Grupo 3 (de 50 a 65 años)	119	39.7
Total	299	99.7
Perdidos	1	.3
Grupos de escolaridad		
Grupo 1	127	42.3
Grupo 2	157	52.3
Total	284	94.7
Perdidos	16	5.3
Grupos nivel socioeconómico		
Grupo 1 (Bajo)	9	3.0
Grupo 2 (Medio)	93	31.0
Grupo 3 (Alto)	173	57.7
Total	275	91.7
Perdidos	25	8.3

2.2. Análisis descriptivos

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos por los participantes en cada una de las escalas; como se puede observar presentaron una baja calificación en el instrumento de conocimientos y en el factor denominado prácticos de la escala de motivos para la separación de residuos sólidos que se refería a las razones expresadas por las personas para separar los residuos en su hogar con el objetivo de mantener la casa limpia, evitar plagas, no generar malos olores, entre otras.

Tabla 2. Resumen descriptivo de las escalas

Variable		Min	Max	M	DE
<i>Independientes</i>					
Conocimientos ambientales		0	6	2.18	1.332
Motivos Separación de Residuos Sólidos	Limpieza y salud	1	4	3.14	.509
	Prácticos	1	4	2.78	.624
Valores Biosféricos		1	4	3.29	.648
Normas Ambientales	Obligación personal	1	4	3.22	.433
	Empresas y gobierno	1	4	3.23	.423
Creencias Ambientales		1	4	3.25	.463
<i>Dependientes</i>					
Separación de Residuos Sólidos		1	4	3.19	.689

En la tabla 3 se muestra que únicamente hubo diferencias estadísticamente significativas en la variable ingreso en la Escala de Separación de Residuos Sólidos ($t=-2.21$, sig.02).

Tabla 3. Diferencias en la escala de Separación de Residuos Sólidos

Variable	Grupo	Media	Desv. Tip.	Resultado
<i>Obligación Personal</i>				
Sexo	Mujeres	3.17	.653	No diferencia
	Hombres	3.20	.727	
Edad	Grupo 1 (18 a 33 años)	3.18	.664	No diferencia
	Grupo 2 (de 34 a 49 años)	3.13	.732	
	Grupo 3 (de 50 a 65 años)	3.24	.676	
Escolaridad	Grupo 1	3.15	.654	No diferencia
	Grupo 2	3.27	.685	
Ingreso	Grupo 1 (Medio)	3.05	.710	Si hay diferencia t=-2.21, sig. .02
	Grupo 2 (Alto)	3.24	.672	

2.3. Análisis de correlación

Se realizó un análisis de correlación de Pearson (ver la tabla 4), entre la variable dependiente separación de residuos sólidos y las independientes y se obtuvieron relaciones bajas y significativas entre la conducta de separación de residuos y las variables valores ambientales y motivos para la separación [27].

Tabla 4. Correlación entre la Escala de Separación de Residuos Sólidos y las variables psicológicas

Factor	Factor	Correlación
Separación de Residuos Sólidos	Valores ambientales	.157**
	Motivos SRS	.140*

** Correlaciones significantes a nivel de .01

* Correlaciones significantes a nivel de .05

2.4. Análisis de regresión

La conducta de separación de residuos sólidos se explicó por valores ambientales; se obtuvo una R^2 ajustada de .02, lo cual refiere el 2% de varianza (ver la tabla 5).

Tabla 5. Análisis de regresión

Variable dependiente Separación de Residuos Sólidos						
Variables independientes	β	Beta	t	Sig.	R	R Cuadrada
Valores Ambientales	.159	.150	2.434	.016	.150	.023

4. Discusión y conclusiones

Este trabajo representa una aportación importante a la comprensión de la conducta proambiental entendida como un proceso [4]. Como se demostró aquí, las personas realizan cada vez con mayor frecuencia y eficacia la separación de sus residuos sólidos en casa y al analizar los motivos de por qué lo hacen, se observó una mezcla tanto de motivos ambientales (e. g. cuidar la naturaleza, disminuir el volumen de basura), como prácticos (cumplir con la ley, ahorrar dinero); por lo que se plantea que, es necesario trabajar

una serie de estrategias enfocadas a la sensibilización en la población para que sus acciones tengan una clara visión sustentable.

A la separación de residuos sólidos la explicó únicamente la variable valores ambientales, que implican la unión y respeto por la naturaleza, prevenir la contaminación y el estar en armonía con otras especies [9, 10]. De ahí que, se plantea que esta conducta se realiza con una motivación global y más abstracta como lo es la protección ecológica en general. Y se contradice lo señalado por Barr et al. [10], quienes encontraron que el reciclaje se explicaba por factores concretos como eran la infraestructura, el conocimiento de las instalaciones y la percepción de facilidad y conveniencia.

En concordancia con otros modelos realizados a nivel internacional, en el presente estudio se obtuvieron porcentajes de varianza explicada bajos para la conducta evaluada [22, 10]. A pesar de que, se pretendió incorporar como variables independientes a aquellas con mayor poder explicativo en la literatura, no se logró determinar un efecto importante sobre la variable dependiente por tanto, se propone seguir abordando el fenómeno del comportamiento ambiental incorporando otras variables atributivas y de manera más enfática elementos propios del entorno.

La conducta de separación de residuos sólidos requiere de una cierta infraestructura social para su ejecución (e. g. personal que labora en los camiones recolectores, personas a las cuales se les venden o intercambian los residuos) y del apoyo de los integrantes de la familia que viven en el hogar. En otros países (e. g. Alemania, Francia), existen grandes contenedores de residuos en la calle y las personas salen de sus hogares y desechan sus residuos separados de manera cómoda y continúa; en México el servicio de limpia se hace cargo de los mismos, lo que requiere almacenarlos por un corto periodo de tiempo en casa, lo cual representa una seria barrera para la acción.

Esto tiene importantes implicaciones sociales, ya que cuando se diseñen las estrategias gubernamentales se debería de tomar en cuenta de manera específica a cada uno de los actores involucrados. Además, es importante destacar estos resultados a la luz del alto nivel de escolaridad de los entrevistados, quienes en su mayoría contaban con licenciatura concluida.

Se concluye que, para adoptar una ética acorde a la vida sustentable, las personas deben reexaminar sus valores y modificar su comportamiento. Implica la interrelación entre los tópicos sustentabilidad social, económica y ambiental. Y se requiere un conocimiento profundo de los sistemas naturales y los cambios antropogénicos en dichos sistemas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México ([SEDEMA], 2017). Domingo verde. Recuperado de <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/eventos/evento/domingo-verde>
- [2] Tron, F. (2010). La recogida de basura en Mega-Ciudades: en el marco de la sostenibilidad. *Revista INVI*, 25(70), 181-222.
- [3] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales ([SEMARNAT], 2015). *Informe de la Situación del ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y desempeño ambiental*. Recuperado de <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/>
- [4] Chávez, V. A. (2016). *El manejo de residuos en México*. Recuperado de http://www.ceja.org.mx/IMG/PyGA_Art_Ing_Alfonso_Chavez.pdf
- [5] Luna, L. M. G. (2003). *Factores involucrados en el manejo de basura doméstica por parte del ciudadano*. Tesis de doctorado. España: Universidad de Barcelona.

- [6] Tintaya, C. P. (2015). Operacionalización de las variables psicológicas. *Aportes Metodológicos, Filosóficos y Culturales en Psicología*, 13, 63 – 78.
- [7] Corral, V. V. (2010). *Psicología de la sustentabilidad. Un análisis de los que nos hace pro ecológicos y pro sociales*. México: Trillas
- [8] Barrientos, D. C., Valadez, R. A., & Bustos, A. J. M. (2012). Efecto de la información sobre el conocimiento ambiental de separación de residuos en jóvenes universitarios. *Quaderns de Psicologia*, 14(1), 7-16.
- [9] Medina, J. A., Escalera, M. E., & Vega, C. M. A. (2014). La edad como factor del comportamiento del consumidor de productos orgánicos. *European Scientific Journal*, 7(10), 21-36.
- [10] Barr, S. (2007). Factors Influencing Environmental Attitudes and Behaviors. A U.K. Case Study of Household Waste Management. *Environment & Behavior*, 39, 435-473.
- [11] Botetzagias, I., Dima, A. F., & Malesios, C. (2015). Extending the Theory of Planned Behavior in the context of recycling: The role of moral norms and of demographic predictors. *Resources, Conservation and Recycling*, 95, 58–67. doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.12.004.
- [12] Schultz, P. W., & Kaiser, F. G. (2012). Promoting proenvironmental behavior. In S. Clayton, (ed.). *Handbook of environmental and conservation psychology*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.
- [13] D'Souza, C., Thagian, M., & Kosla, R. (2007). Examination of environmental beliefs and its impact on the influence of price, quality and demographic characteristics with respect to green purchase intention. *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 2(15), 69–78.
- [14] Jakovcevic, A., & Tonello, G. (2012). Dimensiones Psicológicas de la Conservación de la Energía. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 3(4), 48-64.
- [15] Smith, K. T., Smith, M., & Wang, K. (2010). Does brand management of corporate reputation translate into higher market value? *Journal of Strategic Marketing*, 18(3), 201–221.
- [16] Van Dam, Y. K., & Fisher, A. R. H. (2015). Buying Green Without Being Seen. *Environment & Behavior*, 47(3), 328– 356. DOI: 10.1177/0013916513509481
- [17] Fraijo, B., Corral, V. V., Tapia, C., & González, D. (2010). Promoting pro-environmental competency. En V. V. Corral, C. García & M. Frías (Eds.). *Psychological Approaches to Sustainability*. New York: Nova Science Publishers.
- [18] Schwartz, S. H. (1994). Are there universals aspects in the structure and contents of human values? *Journal of Social Issues*, 50(4), 19-46.
- [19] De Groot, M. J. I., & Steg, L. (2010). Morality and Nuclear Energy: Perceptions of Risks and Benefits, Personal Norms, and Willingness to Take Action Related to Nuclear Energy. *Risk Analysis*, 9(30), 1363-1373. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01419.x
- [20] Verdugo, G. M. (2009). *Competencias proambientales en sexto grado de primaria: estudio en una institución particular de dos ciudades del noroeste de México*. Tesis de Maestría. México: Instituto Tecnológico de Sonora.

- [21] Vozmediano, L., & San Juan, C. (2005). Escala Nuevo Paradigma Ecológico. Propiedades psicométricas con una muestra española obtenida a través de internet. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, 6, 37-49.
- [22] Díaz, M. G. (2006). How to Teach Recycling at an Advanced Phase of Diffusion. *The Journal of Environmental Education*, 37, 19-32.
- [23] Kerlinger, F., & Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales*. México: Mc Graw Hill.
- [24] Barrientos, D. C. (2011). *Estrategia psicosocial para el desarrollo de conducta proambiental de separación de residuos en una institución de educación superior*. (Tesis de Maestría). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- [25] Geiger, S. M., Otto, S., & Diaz-Marin, J. S. (2014). A diagnostic Environmental Knowledge Scale for Latin America / Escala diagnóstica de conocimientos ambientales para Latinoamérica, *Psychology: Revista Bilingüe Journal of Environmental Psychology de Psicología Ambiental / Bilingual*, 5 (1), 1-36. <http://dx.doi.org/10.1080/21711976.2014.881664>
- [26] Barr, S., Gilg, A. W., & Ford, N. J. (2001). Differences Between Household Waste Reduction, Reuse and Recycling Behaviour: a Study of Reported Behaviours, Intentions and Explanatory Variables, *Environmental & Waste Management*, 4(2), 69-82.
- [27] Downie, N. Y Heath R. (1982). *Métodos estadísticos aplicados*. México: Harla.

Proyecto de residencias profesionales; el caso del manejo de residuos sólidos en una empresa

¹José Gpe. Melero Oláquez, ²Ana Estefanía García Carrillo, ³Dora Argelia Hernández Martínez

¹ Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Instituto Tecnológico s/n Col. Elías Calles, 01 686 1193083, brechista@gmail.com

^{2 y 3} Instituto Tecnológico de Mexicali.

Resumen

Para cubrir las necesidades de la población en cuanto a la fabricación de insumos, la industria de la transformación, contribuye a agravar los problemas de contaminación y generación de residuos mediante los recursos que consume la maquinaria utilizada para tal fin. Todo material o equipo que las empresas necesitan para su funcionamiento viene en embalajes que evitan se dañen, lo que implica que antes de producir cualquier bien, ya se tengan residuos, tales como cartón, madera o algún otro material que protege cada una de las distintas piezas. Este trabajo presenta el proyecto de residencia profesional que se llevó a cabo en una empresa de tractocamiones el cual consistió en coadyuvar en un proyecto más amplio tendiente a reducir un 20% la generación de residuos producto de embalajes. Constó de 4 partes: analizar en qué áreas se generaban la mayor cantidad de residuos, se generaron ayudas visuales para las estaciones ambientales, se desarrolló una forma más eficiente de comunicar los aspectos ambientales y se capacitó al personal en ello. Al término del proyecto (cuatro meses) se generó una base de datos la cual asienta las áreas que generan mayor cantidad de residuos y se determinó que un 85% de las áreas segregan los residuos en forma correcta en comparación al 45% al inicio del proyecto. En el caso de la capacitación a empleados, el 96% de ellos aprobó el examen después del curso, también se propuso que se realizaran reconocimientos a los empleados que mantengan las áreas en mejores condiciones.

Palabras Clave: *embalajes, base datos, insumos, residuos sólidos, residencia profesional*

1. Introducción

1.1 Antecedentes

De acuerdo a un estudio realizado en el año 2011, en México se consumieron más de 6 millones de toneladas de papel por año, de las cuales solo se acopiaron 45% para posteriormente ser reciclado, fue necesario importar 1,554,000 toneladas para satisfacer la demanda nacional. El 42% del papel consumido corresponde al cartón y un 8% al cartoncillo, aproximadamente un 87% de las materias primas utilizadas para fabricar productos de papel y cartón son fibras secundarias esto es, fibras que fueron acopiadas después de su consumo. Nuestro país ocupa el quinto lugar a nivel internacional por índice de reciclaje de papel y cartón y el número trigésimo segundo por índice de recolección [1]

- Producción y reciclaje de papel

Las materias primas que se utilizan para la fabricación de papel a partir de fibras secundarias son papel reciclado, agua, aditivos químicos y energía (vapor y electricidad). Se utilizan grandes cantidades de agua para el proceso y refrigeración, pero aun así esta práctica implica ahorros de energía y agua comparada a los procesos que implican fibras vírgenes.

El papel de desecho puede reciclarse de 5 a 6 veces, pero en cada proceso de reciclaje se pierden del 15 al 20% de fibras largas, provocando que las fibras secundarias tengan que ser mezcladas con fibras vírgenes para otorgarle la resistencia apropiada al producto [2].

- Consumo de agua

En el proceso, la suspensión fibrosa tiene una relación en peso de 200 a 1 entre agua y material suspendido, además incluye otras aplicaciones de agua que no están ligadas directamente al proceso, como es el caso de uso de agua clarificada para la limpieza de telas y fieltros, sellos hidráulicos y enfriamiento de equipos, consumiendo más de 150 millones de litros de agua al día.

El agua residual contaminada proveniente de las recicladoras de papel y cartón contiene partículas de corteza, fibras de madera, arena y aditivos, contribuyentes de una demanda alta de DBO y DQO; si no es tratada correctamente puede ocasionar problemas serios en el ambiente.

- Emisiones gaseosas

En la fabricación de papel reciclado pueden producirse emisiones al aire a partir de varias fuentes: generación de energía, la incineración de residuos y los olores de vapores. El procesamiento de residuos para la fabricación de papel y cartón requiere de energía que normalmente se obtiene a partir de combustibles fósiles, como petróleo y carbón [3].

Las emisiones procedentes de este tipo de industria son dióxido de azufre, NOx y monóxido de carbono. En el procesamiento de algunos tipos de papeles pueden producirse emisiones de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles [4].

1.2 Empresa de Tractocamiones

Esta empresa Mexicana (figura 1) nació con la consolidación en el año 1959, iniciando con la exportación de los primeros tractocamiones a Perú. En 1970 se construyó una nueva planta industrial que actualmente es la más grande y moderna en su ramo en toda Latinoamérica.

A finales de los años 70's e inicio de los 80's se exportaba ya a 7 países: Estados Unidos, Perú, Colombia, Nicaragua, Honduras, Australia e Israel, alcanzando volúmenes de producción de 15 unidades diarias.



Figura 1: Empresa de tractocamiones mexicana

Para el año 2006 fue necesaria la ampliación de la planta industrial para producir 60 unidades diarias (figura 2), haciéndola más versátil al fabricar vehículos marca Peterbilt. Y fue en el año 2008 que obtuvo la Copa Presidente PACCAR a la Calidad, reconocimiento como la mejor planta en el mundo, el cual se repitió en el 2009, 2010 y 2014. En la actualidad, esta empresa alcanzó la meta de 250,000 unidades, consolidándola como una de las mejores empresas de camiones y tractocamiones en el mundo.



Figura 2: panorámica actual de la empresa

En esta empresa se producen 60 unidades por día, de las cuales se obtienen casi media tonelada de residuos de cartón y madera por unidad, en base a la política ambiental se desea reducir estos residuos y aunque es mandado a reciclar en su totalidad también implica un impacto ambiental por el proceso de reciclaje, en donde se utilizan recursos naturales y se emiten contaminantes.

Con esta política ambiental se aspira en reducir el cartón y madera de 492 kg a 460 kg por unidad, identificando las partes que llegan en embalajes de este material e implementar un embalaje retornable, teniendo como limitante la gran cantidad de material que llega, existe una lista de más de 10,000 partes de distintos proveedores de los cuales también depende la decisión de cambiar el empaque de sus productos.

Para mejorar la segregación de residuos y fomentar la reducción de estos, se inició con una campaña de ayudas visuales que se colocaron en las estaciones donde son depositados facilitando la separación de los desechos, también se realizó la capacitación sobre el Sistema de Administración Ambiental (ISO-14001) y se desarrolló y promovió una campaña de comunicación en temas ambientales.

2. Metodología

Este trabajo es parte del informe técnico del proyecto de residencias profesionales que se presentó a la Institución y se llevó a cabo en una empresa dedicada a la fabricación y ensamble de camiones y tractocamiones que lleva más de 50 años produciendo en México, desde hace varios años cuenta con la certificación de calidad ISO9001. Su Misión es seguir siendo el líder del mercado de camiones y tractocamiones ofreciendo productos y servicios de alta calidad, y hechos a la medida de las necesidades de los clientes. Esta empresa documenta, implementa y mantiene un Sistema de Administración Ambiental, lo cual les permite reducir los impactos ambientales procedentes de sus operaciones y servicios, el área de Control Ambiental es la responsable de que se mantenga dicho sistema, enfocándose en la identificación de materiales, procesos, productos y residuos que causen contaminación al medio ambiente para implementar medidas correctivas y así reducir daños al ecosistema.

El proyecto de residencia profesional que se llevó a cabo en la empresa que busca reducir (continúa el proceso) en al menos 20% de la generación de residuos producto de embalajes de cartón y madera, constó de cuatro partes:

1. Se analizó y detectó en qué áreas se generaban la mayor cantidad de residuos
2. Se generaron ayudas visuales para las estaciones ambientales
3. Se desarrolló una forma más eficiente de comunicación y,
4. Se llevó a cabo una serie de capacitación en temas ambientales

3. Resultados y Discusión

Los resultados que se generaron a partir de los cuatro aspectos tratados fueron los siguientes:

1. Se analizó y detectó en qué áreas se generaban la mayor cantidad de residuos

La empresa se divide en cinco áreas principales de producción y a lo largo de estas áreas se tienen colocadas estaciones con contenedores de distinto color (cuatro colores diferentes) de acuerdo a la clasificación para la segregación de residuos (tabla 1), en la mayoría de ellas se encuentran los contenedores para residuos peligrosos, reciclables y co-procesables y solamente en algunas áreas se encuentran los contenedores para material absorbente. Además de las estaciones con los contenedores antes descritos, en lugares especiales se tienen colocados otros contenedores (góndolas) que son especialmente para las cajas de cartón.

Tabla 1: clasificación de residuos por color

Contenedor	Clasificación
Blanco	Residuos peligrosos
Azul	Residuos Reciclables
Verde	Residuos Co-Procesables
Rojo	Material Absorbente

Para cada área, se elabora una hoja de datos en Excel, con lo permite determinar en qué área se generan más residuos y que clasificación tienen.

2. Se generaron ayudas visuales para las estaciones ambientales en donde eran depositados los residuos en forma temporal.

Con ayuda de la hoja de datos anteriormente elaborada, se desarrollaron las ayudas visuales (figura 3) para que los operadores de las distintas áreas depositaran los residuos correctamente, aunque los contenedores estaban identificados por el color y su leyenda del tipo de clasificación, la implementación de ayudas visuales fue necesaria para mejorar esta práctica.



Figura 3. Ayudas visuales generales

Para las áreas que trabajan con residuos peligrosos, tales como pintura y soldadura, se elaboraron ayudas visuales especiales para esas áreas (figura 4), aunque dentro de la empresa todas las áreas se consideran importantes, las ayudas visuales que se generaron y promovieron, se buscó que los involucrados tuvieran un alto nivel de conciencia en el uso, manejo y disposición de estos.



Figura 4. Ayudas visuales para áreas especiales

3. Se desarrolló una forma más eficiente de comunicación y capacitación en temas ambientales.

Se diseñaron carteles (figura 5) en donde se comunicaban los aspectos ambientales de la planta, así como su impacto ambiental y el control operacional.



Figura 5. Carteles de comunicación de aspectos ambientales

Además, se diseñó un volante por cada aspecto ambiental, los cuales fueron publicados en los puntos de información y en las pantallas de los centros de comunicación, un aspecto ambiental por semana, tal y como lo muestra la tabla 2, lo anterior con el fin de preparar al personal para la certificación ISO-14001.

Tabla 2. Lista de aspectos ambientales publicados

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Control Operacional
Consumo de energía	Agotamiento de recursos naturales	Apaga equipos eléctricos fuera de uso
Consumo de agua	Agotamiento de recursos naturales	Cierra llaves y reporta fugas, no la desperdices
Consumo de Gas Natural	Agotamiento de recursos naturales	Programa encendido de equipos
Generación de emisiones a la atmósfera	Contaminación de aire	Utiliza sistemas de extracción
Generación de residuos	Contaminación de suelo	Segrega correctamente tus residuos
Uso de sustancias químicas	Afectación a humanos	Identifica y maneja tus sustancias químicas

4. Capacitación en temas ambientales

Se llevó a cabo la capacitación sobre el Sistema de Administración Ambiental (ISO-14001) dándose una explicación de:

- Definición de aspecto ambiental
- Política ambiental de la empresa

- Descripción del Sistema de Administración Ambiental (SAA) y su función
- El principio de las 3'R
- Objetivos y metas del año
- Aspectos ambientales significativos de la empresa
 - Su impacto ambiental
- Informe y ubicación de las hojas de datos de seguridad de sustancias químicas
- Atención correcta a derrames
- Informes sobre los programas ambientales que se aplican en la empresa
 - Reducción de emisiones a la atmósfera
 - Cero residuos a confinamiento
 - Ahorro de energía
 - Entre otros

La capacitación se impartió en los centros de comunicación durante el receso de cada turno, se tomó lista de asistencia y se les aplicó un examen. Durante todas las capacitaciones se les hacía mucho hincapié en que recordaran como disponer los residuos en forma correcta.

Las ayudas visuales que se colocaron en los contenedores se deterioraron al poco tiempo con el uso diario y en algunos casos se desprendió, como se puede observar en la figura 6, pero aun así lograron el impacto deseado, pues más del 85% de las áreas segregan los residuos correctamente.



Figura 6: contenedor con ayuda visual incompleta

Además de las ayudas visuales, el éxito de la correcta segregación se debe a las capacitaciones que se realizaron, en donde en un lapso de 4 meses asistieron 400 empleados de los cuales el 96% aprobó el examen (para el cual es necesario cumplir con el 80% de aciertos para que se considere aprobatorio).

De acuerdo al análisis de las hojas de datos, las áreas donde se generan la mayor cantidad de residuos, se les pone más atención a través del supervisor encargado de dicha área para que se tomen las medidas necesarias para disponer en forma correcta ese material y, junto con los gerentes o encargados de cada área, buscar reducir los residuos que se generan. En esta labor no solo deben intervenir los encargados de la empresa, sino también los proveedores porque conciliar el uso de embalajes que generen residuos para proteger las partes y/o accesorios de materiales y equipo que la propia planta necesita sin afectar su calidad e integridad física no son fáciles de solucionar, máxime que en algunas áreas la lista de materiales que se manejan diariamente, en algunos casos llegan a 10,000 componentes que llegan en empaques de distintos materiales y tamaños.

4. Conclusiones

El objetivo principal del proyecto de residencia profesional se llevó a cabo conforme lo establecido en el inicio de dicho proyecto, el proyecto general continúa en forma permanente en la empresa, para llegar al objetivo se requiere de mayor tiempo y realizarlo en diferentes fases buscando reducir primero los empaques de mayor tamaño.

Se recomendó mejorar la base de datos con la lista de los materiales que llegan, apoyados por los departamentos de compras (son los primeros en recibir materiales y equipos).

Para el caso de las ayudas visuales, aunque cumplieron su objetivo, es necesario que se coloquen nuevamente, pues con el manejo constante de los contenedores para descargar los residuos, estas se fueron cayendo o deformando. Es necesario utilizar un material más duradero si se pretende seguir colocando en cada contenedor, como puede ser una calcomanía con protector, o bien colocar una estación con letreros que estén encima de cada contenedor.

También, para mantener motivado al personal, se propuso que se realizaran reconocimientos mensuales para las áreas que mantengan en mejores condiciones las estaciones donde se depositan los residuos.

5. Referencias

[1] Cámara de papel. (2014). *Plan de Manejo de Residuos de Papel y Cartón en México*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de <http://camaradelpapel.mx/plan-de-manejo-para-los-residuos-de-papel-y-carton-en-mexico/>

[2] Teschke, K. y Demers, P. (sin fecha). *Industria del papel y de la pasta de papel*. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Recuperado el 22 de Septiembre de 2016 de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/72.pdf>

[3] Arjowiggins. (2014). *Fabricación del papel*. Procesos de fabricación. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016 de https://www.arjowigginsgraphic.com/wp-content/themes/awgtheme/pdf/manufacturing_process_es_ES.pdf

[4] Area, M., Mastrantonio, G., y Vélez, H. (2012). *Gestión ambiental en la fabricación de papel reciclado*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2016 de https://www.researchgate.net/publication/262932872_Gestion_ambiental_en_la_fabricacion_de_papel_reciclado

Producción de residuos sólidos en el espacio público: El caso de la Romería de la Virgen de Zapopan

¹Georgina Vega Fregoso, Beatriz Adriana Venegas Sahagún, ²Gerardo Bernache Pérez

¹ Universidad de Guadalajara, Av. España 1359, Moderna, 44190 Guadalajara, Jal., georgina.vega@academicos.udg.mx / ² Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social - Occidente

Resumen

Este artículo examina el comportamiento social del ciudadano que consume una gran cantidad de productos con motivo de una festividad masiva en honor a la Virgen de Zapopan, en México, al tiempo que se desplazan, consumen y generan residuos sólidos. La presente investigación parte de la etnografía, incorporando datos e información por medio de la búsqueda documental y entrevistas estructuradas. En este evento se generan un total de 280.8 toneladas de residuos sólidos urbanos y su mal manejo afecta directamente la salud pública y al medio ambiente. Se concluye que la Romería puede abrir una oportunidad para fortalecer el trabajo de educación ambiental para el consumo responsable, así como la comunicación y promoción de temas socio-ambientales entre la población, la participación de esta última es muy importante en cualquier Plan de Manejo enfocado a la gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos.

Palabras Clave: *Basura, consumo, educación ambiental, espacio público, residuos.*

1. Introducción

Esta investigación se enfoca al análisis de una festividad masiva en honor a la Virgen de Zapopan en México, donde los 1.8 millones de peregrinos, entre ellos 32 mil danzantes [1], [2] expresan sus respetos y su fidelidad a la Virgen, al tiempo que se desplazan, consumen y generan residuos sólidos en un trayecto de 7.4 kilómetros en la zona urbana de los municipios de Guadalajara y Zapopan, en el Estado de Jalisco. La fiesta tiene lugar el día 12 de octubre, cuando la venerada imagen se traslada de la Catedral de Guadalajara a la Basílica de Zapopan y la población creyente la acompaña en parte o todo su recorrido. El número exacto de peregrinos es una cifra en disputa por las diversas autoridades, pero son cientos de miles de personas de todas las edades que van, la esperan y caminan atrás del auto que la lleva, con rezos, cantos y bailes tradicionales que mezclan raíces culturales indígenas y del viejo mundo.

Esta peregrinación presenta un gran desafío en términos de servicios municipales y logística de transporte, en particular en lo relacionado con la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), su manejo y disposición. Esta festividad religiosa es un ejemplo de los comportamientos cotidianos de los residentes y los visitantes que convergen por calles y avenidas. La Romería es un evento masivo, el cual tiene una duración aproximada de 24 horas, durante este lapso de tiempo las cantidades de basura que se generan impactan de forma negativa al medio ambiente debido a sus características (residuos de difícil reciclaje), a su vez, la generación de basura se ha incrementado año con año.

Cabe mencionar, que en 2015 el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) tenía 4,796, 603 habitantes en los ocho municipios que la conforman. Los dos municipios con mayor participación en la Romería son Zapopan que alberga 1'332,272 habitantes y Guadalajara con alrededor de 1'460,148 de acuerdo al Censo 2015 [3]. Como dato complementario, en el 2016, se reportó la emisión de 900 permisos de comercio ambulante tan solo en el municipio de Zapopan [2], por lo que se puede calcular la presencia de más de 1,500 comerciantes entre ambulantes o semifijos y registrados que cuentan con licencia municipal, además de otros cientos de establecimientos comerciales y de servicios que también operan durante ese día. Además, de comerciantes ambulantes que no cuentan con licencia o permiso, pero que de todas formas se acercan para vender sus productos, arriesgando multas o confiscación de su mercancía.

La presente investigación tiene como origen la observación etnográfica fortalecida con datos e información hemerográfica disponible de la Romería de la Virgen de Zapopan, así como información proporcionada por los propios Ayuntamientos vía solicitudes de información y entrevistas.

1.1 Festejar y consumir

Nava en su estudio *Vivir de Milagro La peregrinación a la Virgen de Talpa como espacio de desarrollo social* da cuenta de que en este caso “peregrinar además de funcionar como un ritual es también un eslabón que une la fe, el medio ambiente y comercio [4]. El análisis de la interacción de los peregrinos en el espacio público, la acción social religiosa y el consumo permite entender los significados de prácticas sociales como “tirar basura en la calle”. El enfoque de gestión social permite estudiar el consumo y las prácticas de disposición de la basura en el espacio público urbano. Borja menciona que el espacio público es “representación en el que la sociedad se hace visible” [5], en este caso la sociedad católica se apodera de las calles de Zapopan y Guadalajara para llevar a cabo su peregrinación. Las calles se vuelven un espacio incluyente en donde se articulan las áreas urbanas y crean estos espacios de transición [5], el evento de la Romería representa este concepto al ser un evento de movilidad y apropiación de la ciudad. En la Romería los asistentes provienen de contextos sociales y geográficos distintos, los cuales al coincidir se convierten todos romeros y consumidores.

La Romería es un evento masivo de consumo y producción de residuos sólidos, en ella el consumo de alimentos, bienes o energía adquieren un sentido particular, en gran medida es un consumo no-religioso, es consumo cotidiano, superfluo, que involucra alimentos chatarra y productos baratos de origen chino. Se consume lo que está al alcance del bolsillo. Como señala Nava: “la fe es una gran catalizadora de la transacción monetaria” [4] la peregrinación y la fiesta presentan oportunidades de vender y comprar. Comprar para consumir, hoy significa desechar y generar residuos. De acuerdo con Bernache [6] los estilos de consumo son uno de los principales responsables de la generación de basura en nuestros días, es un hábito el cual está destruyendo nuestro medio natural. Somos una “sociedad de consumo de masas” de acuerdo con Alonso [7], en donde la idealización de los países capitalistas occidentales se vuelve un eje rector de nuestra vida diaria, y así bienestar se convierte sinónimo de consumo [7] en las grandes urbes.

En este tenor el consumo se vuelve un “hecho total social, en donde se estructuran identidades y formas de expresión relacionales” [7].; por eso la estrategia de educación ambiental invita a considerar el consumo responsable como un acto social primordial, como expresión de un comportamiento pro ambiental que incluye convertirse en un consumidor que no sólo busca satisfacer sus necesidades, sino que conoce y reflexiona sobre el ciclo de vida de los productos y sus interrelaciones socio ambientales; es decir, la educación ambiental es un campo ético y pedagógico que busca que las personas puedan comprender las complejidades del medio ambiente y armonicen sus actividades con él [8], [9].

El aumento en la producción de basura en un evento público como la Romería puede ser una oportunidad para fortalecer la gestión municipal de RSU en eventos puntuales, vía la incorporación de estrategias de educación ambiental. El comportamiento social de los consumidores dice mucho sobre cómo conciben el medio ambiente su relación con él y con el espacio público compartido. La Romería de la Virgen de Zapopan permite observar al ciudadano, al devoto peregrino como consumidor y como un generador de RSU.

1.2 Basura urbana

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son los desechos que se originan al producir o consumir un alimento, bien, mercancía, cosa o artículo [10]. El concepto de *basura* se refiere a una mezcla de materiales que dejan de ser útiles para el fin por el cual se adquirieron, la basura es equivalente a un artículo o material inservible, que agotó su vida útil. Por otra parte, el concepto de *residuos*, más amplio que el de *basura*, hace referencia a que los materiales siguen siendo útiles para otros fines, se les puede dar nueva vida útil al ser revalorizados a través de procesos de reciclaje, composteo y otros métodos de aprovechamiento. Al valorizar un material se busca incorporar esas materias a nuevos procesos de producción. Es importante señalar que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [11], distingue cuatro tipos principales de

residuos sólidos: a) de manejo especial, b) incompatibles, c) peligrosos y d) sólidos urbanos. Cada tipo de residuos corresponde a procesos y generadores determinados. Los RSU son aquellos

“generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos” [11].

En este caso de la Romería se generan desechos, basura y residuos que podrían considerarse como RSU, estos residuos con potencial de separación para valorizarlos terminan siendo un montón de basura; es decir, un cúmulo de desechos que tendrán como destino final el sitio de disposición final. Estudiosos del tema de residuos han señalado que los montos de producción de basura en México aumentaron de forma importante durante los noventas y la primera década del siglo XXI [12]. No sólo se ha registrado un aumento en la producción de basura per cápita en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), sino que la diversidad y características tóxicas de estos residuos se han multiplicado y constituyen un problema de salud pública [10]. Los residuos que se producían hace 200 años eran en su mayoría altamente orgánicos, los que se producen hoy reflejan un estilo de vida producto de la hiperindustrialización [13].

De acuerdo con INEGI, en México se recolectan cada día un promedio de 86,343 toneladas de RSU [3], de los cuales el 7.6% son generados en el Estado de Jalisco. Los ocho municipios que conforman el Área metropolitana de Guadalajara generaron, en 2015, unas 6,192 toneladas diarias de residuos sólidos que ingresaban a los sistemas de recolección municipales y contratados. Los municipios de Guadalajara y Zapopan generaban, respectivamente, un total de 1,713 y 1,563 toneladas de RSU cada día [6].

Los residuos de la Romería de la Virgen de Zapopan merecen una atención especial, ya que la concentración de una multitud peregrina produce, en el lapso de unas horas, una masa de basura dispersa en el piso de las calles y espacios públicos. Un problema que, si no se atiende de forma rápida por los servicios municipales, puede desencadenar afectaciones a la salud pública y contaminación de espacios urbanos.

2. Metodología

Para la realización de este trabajo se utilizó metodología cualitativa, en primer lugar, se realizó una búsqueda hemerográfica de 2006 al 2016 para contrastar datos de asistentes, recorrido, montos de residuos que reportan las autoridades y otra información relevante, se hicieron dos observaciones durante dos años 2014 y 2016 utilizando libreta de campo. Se solicitaron datos oficiales de las toneladas de Residuos que se generan en este evento por municipio, sin embargo, los datos proporcionados estaban incompletos, por lo anterior se realizó una estimación de acuerdo a los datos oficiales. En la estimación realizada, se obtuvo que la cantidad aproximada de RSU generados por año en la Romería es de 288 toneladas durante las actividades y manifestaciones religiosas en los días 11 y 12 de octubre.

2.1 Revisión hemerográfica

La búsqueda de fuentes hemerográficas se realizó por medio de los portales de internet con acceso libre, se utilizaron palabras clave para esta: *romería Zapopan* y *basura*, se accedió fundamentalmente a El Informador, pagina24Jalisco, Diario NTRGuadalajara, gaceta universitaria de la Universidad de Guadalajara, entre otros.

2.2 Observación participante

Diario de campo y fotografías. Se realizaron jornadas de observación en 2014 y 2016 durante la noche del día 11 y a lo largo del día 12 de octubre de cada año. Durante las jornadas de observación etnográfica se tomaron notas, se entrevistaron asistentes-peregrinos, comerciantes y empleados municipales. También se realizó una identificación, clasificación y registro de los productos que se venden durante el evento, las prácticas de consumo y disposición de los residuos sólidos.

2.3 Solicitudes de información pública

Se presentaron solicitudes de información, vía transparencia municipal, a los Ayuntamientos de Guadalajara y Zapopan, en dichas solicitudes se pidió información sobre los montos de residuos recolectados, los recursos humanos y materiales requeridos para el manejo de la basura de la Romería en cada una de las jurisdicciones municipales [14], [15].

3. Resultados y Discusión

El problema en términos de espacio y salud pública son los grandes montos de RSU que se generan en un lapso de tiempo corto (48 horas), sobre un corredor urbano que definen dos avenidas principales y abarca dos municipalidades diferentes (cada una con sus funcionarios, dependencias, trabajadores, equipamiento y vehículos).

Una generación de residuos sólidos urbanos excesiva en un corto lapso de tiempo, que se disponen de una forma desordenada y a pesar de los esfuerzos, suele salirse de control. A lo largo del trayecto de la Romería hay pocos botes, contenedores o papeleras para disponerla, si se piensa en la magnitud del evento, la infraestructura para la disposición en el espacio público es limitada. Algunos comercios y tiendas de conveniencia tienen sus contenedores afuera y son usados por los asistentes, el sistema municipal incluye un centenar de papeleras (pequeños botes para residuos colocados en postes) pero todos estos botes, bolsas, papeleras y contenedores se ven rápidamente saturados de RSU. Las prácticas de disposición de RSU de los romeros y los comerciantes (ambulantes y establecimientos fijos) permiten reconocer que la idea es consumir para tirar en forma fácil, rápida y conveniente pero que, si el contenedor se llena, seguirá recibiendo los residuos hasta que se desborde y entonces, dejará de ser depositada en los lugares indicados para ello y se desbordará en la calle, jardineras y áreas verdes; lo que vuelve a la forma de consumir en una práctica de disposición de residuos que resultan en una degradación del espacio público.

3.1 Observación Participante en la Romería

Alrededor de la Catedral en el centro de Guadalajara. Al caer la noche entre 22:00 y 02:00 hrs., del 11 de octubre se pueden apreciar las patrullas con torretas encendidas que controlan el tráfico de vehículos y personas en el cruce de las Avenidas principales del trayecto, sobre los bordes de las aceras se ven los comerciantes de puestos semi-fijos atareados terminando de montar sus puestos hechos en forma sencilla: tendidos sobre el suelo, armazones de metal y tablados. Otros comerciantes ambulantes se desplazan ofreciendo mercancías sobre la calle. Frente al templo del Santuario de Guadalupe se instalan puestos de comida, en un ambiente de feria con juegos mecánicos para el disfrute de los niños. En los portales de Palacio de Gobierno, frente a la Catedral, están cientos de personas instaladas en casas de campaña, o simplemente tendidos en cobijas sobre el suelo, las botellas de plástico en el piso franquean los espacios de cada peregrino, que descansan y conversan esperando que pase salga La Generala. En la esquina una vendedora ataviada con una peluca rosa intenso, corona y guirnalda de flores, grita: “¡Lleve pelucas!” nos acercamos: *¿Disculpe, esto se usa en la romería?* Responde con cara incómoda que explica lo impropio de la pregunta: “No, es para halloween”. En la Plaza Guadalajara inspectores de la Comisión para la Protección contra Riesgos Sanitarios de Jalisco (COPRISJAL) abordan a un vendedor de fruta (biónicos, escamochas, fruta picada, chascas, etc.) mientras revisan los botes de hielo seco en dónde se expende, piden a los empleados que muestren los contenedores, explican: “¿Cómo ve? Comenzamos la ronda a las 15:00 horas del día de hoy (11 de octubre) este operativo concluye hasta después de las 14:00 horas de mañana, somos alrededor de 25 personas haciendo vigilancia para cuidar el manejo y la higiene de los alimentos, ahora estamos checando básicamente lavado de manos, higiene, calidad, conservación y consumo...”

Basílica de Zapopan y su entorno. A las seis de la mañana la Virgen de Zapopan y su cortejo de dignatarios eclesiásticos salen de la Catedral de Guadalajara para ser instalada en lo alto del automóvil que la llevará hasta su destino. El cortejo se pone en marcha, la Virgen de Zapopan avanza custodiada por los cófrades que se constituyen en una suerte de guardia civil, también los acompaña un destacamento de la policía del

Estado. Los danzantes son ubicuos, el presidente municipal de Zapopan refería que en 2016 fueron 32 mil danzantes en grupos de diferentes géneros y estilos [2], que le imponen un ritmo cadencioso al recorrido hasta llegar a la Basílica de Zapopan. Todos los peregrinos, los cófrades, los danzantes son creyentes devotos y fieles de la Virgen, vienen a pedir favores, a agradecer a su patrona, a pagar una manda y expresar su devoción.

A la mitad del trayecto hay un tramo donde no hay vendimia, de la glorieta a Colón hasta Av. Patria². Las avenidas son más angostas y demasiado el flujo de gente, una parte del contingente se desvía por la Av. Patria para después tomar la calle Eva Briseño. En este espacio, los camellones y las jardineras sirven de basureros. La Romería implica una expresión de fe y un espacio ritual que permite también el disfrute y el consumo que trae como consecuencia la generación de residuos sólidos. En la siguiente tabla se observan los productos que se venden en este evento.

Tabla 1. Tipos de productos que se ofertan en La Romería (2014, 2016)

Tipo	Descripción
Alimentos y bebidas	Tamales, café, pan, cañas, buñuelos, tacos, sándwiches, pasteles, duros, papas fritas, salchichas, escamochas, biónicos, refrescos, rusas, elotes, champurrado, buñuelos, tlacoyos, tacos, tostadas
Productos importados chinos	Moños, collares y aretes, pulseras, trompos de plásticos, pelucas, bigotes, figuras plásticas de neón y juguetes que emiten luz, llaveros
Artículos de seguridad	Cordones para no perder a los niños
Artículos de hogar	Torteadoras, jarritos, ollas de barro, platos, jarcería
Artículos religiosos	Escapularios, recuerdos, pulseras de santos, hojas impresas con oraciones
Otros artículos	Ropa, collares, zapatos tenis, lentes, flores, gorras de fomy, pelucas

Fuente: Elaboración propia notas de campo 2014 y 2016.

La venta de alimentos es la de más variedad y oferta y es la que crea el mayor impacto en la generación de residuos pues los alimentos se expenden en charolas, platos y vasos desechables de plástico rígido o unicel (poliestireno expandido) y se trasladan en bolsas de plástico usadas como contenedores para consumir en el camino. Este tipo de envases y contenedores son productos de difícil reciclaje y no son biodegradables. La Romería es un evento imponente por la asistencia masiva de fieles y por la intensidad de las manifestaciones religiosas; el espacio público, en un corredor de 7.4 kilómetros, se convierte en un gran puesto del comercio ambulante y formal permite que muchas familias subsistan; los consumidores por su parte, hacen lo que pueden con la escasa información que poseen sobre aspectos relativos a los procesos de contaminación e impactos ambientales y a la salud que producen? los residuos que produce su consumo. Por más que la gran masa de personas intenta poner la *basura en su lugar* la infraestructura para recibirla no es suficiente. Los montones de basura derivados de los productos y actividades anteriores se forman de manera rápida en puntos de cada dos o tres cuerdas. El volumen de basura generado en este evento es extraordinario, además de que se compone por una gran variedad de plásticos y unicel,³ como se muestra:

² En 2015 y 2016 la ruta tuvo modificaciones debido a las obras de la línea 3 del Tren Ligero.

³ El PET, HDPE, vidrio, cartón y el aluminio son valorizables como residuo por lo que no llegan a los rellenos, sin embargo, otros plásticos y el hielo seco no pueden ser incorporados como materia prima en nuevos procesos.

Tabla 2. Tipo de basura que se genera en La Romería

Orgánicos	Inorgánicos	
	Con potencial de Valorización o Reciclaje	Sin potencial de Valorización o Reciclaje
• Hojas de tamales • Cáscaras de naranja • Residuos de caña • Residuos de comida	• Cartón • Botellas de vidrio • Botellas de plástico (botellas de agua, refresco y energizantes).	• Hielo seco • Pañales • Popotes • Bolsas de plástico • Cubiertos de plástico • Bolsas metálicas

Fuente: Elaboración propia, observación 2014 y 2016.

3.2 Información, servicios públicos y recolección de residuos

Cada año, el Estado de Jalisco y los respectivos Ayuntamientos despliegan acciones y gran cantidad de agentes institucionales para garantizar que la actividad se desarrolle con éxito y proteger a romeros-consumidores (Tabla 3).

Tabla 3. Servicios municipales en el Operativo Romería

Jurisdicción	Dependencia	Actividad o Servicio
Ayuntamiento de Guadalajara	Secretaría de Seguridad Ciudadana	Encuartelados 2400 elementos operativos, 830 asignados a vigilancia, 38 vehículos, 3 Módulos de Policía
	Área de Inspección a los Alimentos	30 inspectores para mil puestos fijos, semi-fijos y ambulantes
	Servicios Médicos Municipales	50 paramédico pie a tierra, 7 motorizados y 2 en bicicletas
	Secretaría de Medio Ambiente y Ecología	69 empleados de limpieza-barrido, 5 barredoras, 7 camiones compactadores, tres camiones de volteo, una grúa y una pick-up, irán atrás del contingente para dejar limpias las áreas públicas.
Ayuntamiento de Zapopan	Comisaría General de Seguridad Pública, Sistema DIF Zapopan, Servicios de Salud	18 dependencias, 2600 servidores públicos, 150 vehículos oficiales y de emergencia.
	Dirección de Medio Ambiente y Dirección de Aseo Público	104 empleados de limpieza-barrido, 35 camiones compactadores, 3 camionetas de una tonelada y una camioneta de 3 toneladas.
Gobierno del Estado de Jalisco	Protección Civil y Bomberos	150 elementos, personal en 2 motobombas y 5 motociclistas

Fuente: Elaboración propia con información de [14], [16], [17], [18], [19]

El Estado y los ayuntamientos, el día de Romería, disponen del personal de un amplio número de dependencias [1], [16], [17], para responder a la festividad en sus múltiples frentes: servicios de emergencia, protección civil, policía, parques y jardines, licencias municipales, asistencia social y, por supuesto, para limpieza de residuos (barrido y recolección).

En términos de limpieza de los residuos, los dos municipios tienen diferente organización y logística. El Ayuntamiento de Guadalajara combina su estrategia con camiones y personal propios de la Secretaría de Medio Ambiente y Ecología, como personal y equipos de la empresa Concesionaria CAABSA [14]. Las rutas de recolección en las zonas del trayecto son cubiertas por los empleados y vehículos de la concesionaria. Se distribuyen las actividades dentro de sus ámbitos de competencia marcados por el contrato de concesión, su uso de personal y vehículos es más controlado y eficiente. A Guadalajara le corresponde un 40% del trayecto y espacios públicos recorridos. Un contingente de al menos 127 empleados del Ayuntamiento de Guadalajara está directamente relacionado con el barrido y recolección. La empresa concesionaria participa también con unos 60 empleados y 20 camiones compactadores (recolección), que se involucran en mayor o menor grado dependiendo de la localización de sus rutas de recolección.

El Ayuntamiento de Zapopan comisiona a unos 246 empleados en diferentes actividades que van desde el barrido, la recolección especial y las rutas de recolección y personal de supervisión, con 35 camiones compactadores (recolección) y cuatro camionetas [15], [19]. Al tiempo que va terminando la Romería y los fieles se marchan, los servicios municipales entran en acción. Es decir, a medida que los peregrinos se van retirando de las calles, avenidas y plazas entra un ejército de empleados municipales de Guadalajara y Zapopan (cada uno en su jurisdicción), a realizar barrido manual, en ocasiones auxiliados de máquinas barredoras, para recolectar residuos en un punto en cada calle y avanzar.

Tabla 4. Toneladas de basura reportadas por los municipios (2000-2015)

Año	Municipio de Guadalajara ¹	Municipio de Zapopan ²	Búsqueda hemerográfica (Total de Guadalajara y Zapopan) ³
2006	108	Sin datos	Sin datos
2007	114	Sin datos	230
2008	110	Sin datos	105
2009	112	Sin datos	78 (Guadalajara)
2010	116	Sin datos	133
2011	109	Sin datos	Sin datos
2012	115	15	Sin datos
2013	114	56.35	56.20 (Zapopan)
2014	113	13.43	85
2015	32	23.21	137

¹ Datos obtenidos en el portal de Transparencia del Ayuntamiento de Guadalajara oficio DTB/4422/2016

² Datos obtenidos en el portal de Transparencia en el Ayuntamiento de Zapopan, oficio 0900/2016/5581

³ Datos obtenidos en la Hemeroteca del Informador

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4, Guadalajara lleva un control más estricto en el registro de residuos que se genera en la Romería, por lo que proporcionó los datos completos. Por su parte, en Zapopan, no se tienen registros desde el año 2006 al 2011, lo cual habla de la afectación de los cambios administrativos trianuales y la pérdida de la información. En la búsqueda hemerográfica se obtuvieron datos totales de los

dos municipios, los reportes de prensa obtienen su información por medio de entrevistas a funcionarios municipales.

Se pueden tomar los datos del ayuntamiento de Guadalajara y estimar los de Zapopan y el total de toneladas. Tomando en cuenta el recorrido, las actividades y la concentración de personas, se espera que se genere más basura en Zapopan, un 60% del total, por lo que en Guadalajara se generarían el 40% del total. El dato de 2015 en la Tabla 4, parece un error de dedo que no se pudo aclarar. Si se toma el promedio de generación de 2006 a 2014 en el municipio de Guadalajara, éste equivale a 112.3 toneladas, mientras que Zapopan el promedio de generación de basura estaría en las 168.5 toneladas.

Se estima, entonces, que durante la celebración de la Romería de la Virgen de Zapopan se *generan 280.8 toneladas de residuos sólidos urbanos*. Si se considera que la asistencia reportada para el año 2016 fue de 1.8 millones de fieles, entonces cada asistente estaría generando unos 156 gramos de basura durante su participación. Estos montos son razonables y son consistentes con los patrones de generación de residuos diarios por individuo. Para el año 2016 la producción *per cápita* de residuos sólidos urbanos en la zona metropolitana de Guadalajara se calcula en 1,226 gramos diarios. Este es el monto que le corresponde a cada persona del total de residuos generados en la urbe. El total de residuos urbanos se compone de los residuos individuales, de los hogares, de espacios públicos, plazas comerciales, calles y avenidas, mercados y más. A nivel individual, cada persona produce, de forma directa por su consumo cotidiano, unos 687 gramos diarios [6]. Por lo tanto, una producción de 156 gramos de residuos por individuo durante la Romería equivaldría al 23% de su producción diaria, esto es moderado si se considera que la mayoría de los romeros y visitantes estarían en promedio unas 5 horas en la celebración.

4. Conclusiones

La Romería de la Virgen de Zapopan entrelaza acciones y propósitos diversos, el centro es acompañar a la Virgen que protege a la sociedad tapatía. En este acontecimiento anual participan 1.8 millones de habitantes durante los dos días de celebraciones, 11 y 12 de octubre. Esta multitud de romeros generan 280.8 toneladas de residuos sólidos urbanos que en realidad son basura, un desecho inservible cuyo destino inicial es cualquier parte, en el piso de las calles o cualquier espacio público, y su destino final es el basurero municipal de Picachos (Zapopan) o de Los Laureles (Guadalajara). En el proceso de manejo de residuos participan de forma directa en el barrido, limpieza, recolección y traslado unos 373 empleados de los dos ayuntamientos y unos 60 de la empresa concesionaria en Guadalajara. Este personal utiliza aproximadamente 90 camiones y camionetas, que participan en la recolección y traslado de residuos, así como en actividades de supervisión y logística. Sin embargo, se estima que hasta el 10% de los residuos generados durante la romería quedan sin recoger.

Actualmente las acciones previas de la Iglesia y el Estado sobre la comunicación y educación ambiental con énfasis en el consumo consciente enfocadas en la disminución de los residuos durante el evento, son nulas. De las notas rastreadas de 2006 a 2015 se logró extraer que los residuos como “el tema” sólo son importantes en la medida en que otros aspectos no resulten más relevantes a los Ayuntamientos y a la Opinión Pública. Los encabezados estelares en la Romería son: 1) Condiciones climatológicas que alientan o desalientan a los romeros, 2) Los riesgos asociados a las violencias durante el trayecto, 3) Condiciones y nivel de venta de comerciantes, 4) Cifras “record” de asistentes y 5) Epidemias o alertas de salud pública que se magnifiquen dada la magnitud del evento (dengue, influenza). A partir del trabajo realizado se considera que, si los municipios ya hacen un amplio despliegue de recursos humanos y económicos para este evento masivo, una alternativa es sentarse con los diversos actores centrales y plantear una estrategia que muestre un aspecto fundamental el cual causa un daño ambiental dentro de este evento tan colorido, diverso y arraigado entre los tapatíos, el cual es el mal manejo de los residuos.

Lo más sobresaliente para esta investigación que muestra la Romería a la Virgen de Zapopan, es que la cultura y la educación ambiental propicias para el desarrollo de un comportamiento social solidario con la naturaleza y con el medio ambiente urbano son muy precarias, tiene más fortaleza el patrón del consumidor conspicuo y descuidado con una débil percepción del impacto ambiental de sus acciones cotidianas.

Referencias Bibliográficas

- [1] El Informador (2016a) *La Romería, en camino de ser Patrimonio de la Humanidad*. Nota publicada el 13 de octubre de 2016, consultada el jueves 16 de marzo de 2017. Disponible en <http://www.informador.com.mx/jalisco/2016/686594/6/la-romeria-en-camino-de-ser-patrimonio-de-la-humanidad.htm>
- [2] El Informador (2016b) *Llegaron los antojitos y las artesanías a la Romería*. Consultado el 9 de febrero del 2017, disponible en: <http://www.informador.com.mx/jalisco/2016/686355/6/llegaron-los-antojitos-y-las-artesantias-a-la-romeria.htm>
- [3] INEGI (2015) *Conteo 2015. Cuéntame*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes. Consultado el 23 de marzo del 2017, disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/>
- [4] Nava, H. y Natán, D. (2015) *Vivir de Milagro La peregrinación a la Virgen de Talpa como espacio de desarrollo social*, tesis de grado, CUCSH, Universidad de Guadalajara
- [5] Borja, J. (2003) *La ciudad conquistada*. Alianza Editorial. Madrid.
- [6] Bernache Pérez, G. (2017) “Datos de generación de residuos sólidos urbanos 2015. Zona metropolitana de Guadalajara.” Manuscrito no publicado. Archivo personal.
- [7] Alonso, L. E. (2005). *La era del consumo*. Madrid: Siglo XXI.
- [8] UNESCO (1977) “Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental. Declaración.” Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura. Conferencia con sede en Tbilisi, URSS, realizada del 14 al 26 de octubre 1977. Consultada el 8 de noviembre de 2016. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0003/000327/032763sb.pdf>
- [9] Sauv  , L. (2005) “Uma cartografia das correntes em educa  o ambiental”. (p. 17-46). En M. Sato e I. Carvalho (editores). *Educa  o ambiental - Pesquisa e desafios*. Artmed. Porto Alegre.
- [10] Bernache Pérez, G. (2011) *Cuando la Basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. CIESAS-Occidente, Coedición Publicaciones de la Casa Chata y Ayuntamiento de Guadalajara. Guadalajara.
- [11] LGPGIR (2014) Ley General para la Prevención y gestión Integral de los Residuos. Aprobada por la Cámara de Diputados en 2003, última reforma 2014. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 5 de diciembre de 2014. México, D.F.
- [12] Bernache Pérez, G. (2009), “El Desafío de la gestión sustentable de las basuras. El caso de Guadalajara”, En *Alternativas civilizatorias y utópicas a la crisis del mundo actual desde Guadalajara*. Laura Romero (coordinadora). Págs: 181-226. Editorial de la Universidad de Guadalajara. Guadalajara.
- [13] Rodenbeck, S. (2010) “Residuos sólidos y peligroso”. En H. Frumkin (editor) *Salud Ambiental de lo Global a lo Local*, Págs. 565-592. Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C

[14] Ayuntamiento de Guadalajara (2016) “Respuesta a solicitud de información presentada”. Oficio DTB/4422/2016 del Ayuntamiento de Guadalajara. Documento no publicado.

[15] Ayuntamiento de Zapopan (2016a) “Respuesta a solicitud de información presentada”. Oficio 0900/2016/5581 del Ayuntamiento de Zapopan. Documento no publicado.

[16] El Informador (2014a) *Zapopan espera más de dos millones de fieles por Romería 2014* consultada el 14 de octubre de 2014 disponible en <http://www.informador.com.mx/jalisco/2014/552862/6/zapopan-espera-mas-de-dos-millones-de-fieles-por-romeria-2014.htm>

[17] El Informador (2014b) *Listo, operativo de la Romería 2014 en Guadalajara* consultada 11 octubre de 2014 disponible en <http://www.informador.com.mx/jalisco/2014/553027/6/listo-operativo-de-la-romeria-2014-en-guadalajara.htm>

[18] Diario Unión Jalisco (2014) “COPRISJAL vigilará 2 mil 500 puestos de alimentos durante Romería” consultada 15 de octubre del 2014 disponible en: <http://www.unionjalisco.mx/articulo/2014/10/07/salud/zapopan/coprisjal-vigilara-2-mil-500-puestos-de-alimentos-durante-romeria>

[19] Ayuntamiento de Zapopan (2016b) “El Gobierno de Zapopan se suma a trabajos rumbo a la Romería”, consultado 22 de julio de 2016 disponible en <http://www.zapopan.gob.mx/el-gobierno-de-zapopan-se-suma-a-trabajos-rumbo-a-la-romeria-2016/>

Percepción de las pérdidas económicas en las actividades productivas de los pueblos de la Barranca Jalisco, a causa de la contaminación generada por los sitios de disposición final

¹Beatriz Adriana Venegas Sahagún, ²Juan Alberto Gran Castro

¹ Universidad de Guadalajara – CUCEA, Periférico Norte N° 799, Núcleo Universitario Los Belenes, C.P. 45100, Zapopan, Jalisco, México. (33) 3770 3300 ext. 25275, adriana.venegas@academicos.udg.mx ²Universidad de Guadalajara-CUCBA

Resumen

En el presente artículo se realiza un análisis de percepción de las pérdidas económicas en las comunidades rurales de Huaxtla, Milpillitas y San Lorenzo, en Zapopan, Jalisco, ocasionadas por la contaminación de los cuerpos de agua con lixiviados de los sitios de disposición final Hasar's y Picachos. Para esta investigación se eligió una metodología cualitativa, se realizó trabajo etnográfico que abarcó entrevistas, recorridos de campo y revisión documental. Como resultados se obtuvieron que los habitantes de las comunidades perciben la existencia de pérdidas económicas por actividades agrícolas y ganaderas en un rango de \$50,000 ± \$20,000 pesos anuales. Aunado a lo anterior, se distingue que el actuar del gobierno ha sido indiferente ante esta situación de contaminación de un bien común.

Palabras Clave: *residuos sólidos, sitios de disposición final, percepción, pérdidas económicas.*

1. Introducción

Las actividades económicas en pro del consumo desmedido y promovidas por los procesos industriales altamente contaminantes, han priorizado la ganancia monetaria sobre la conservación de la naturaleza, provocando la destrucción del medio natural de forma gradual. En los últimos 50 años, los seres humanos hemos causado más destrucción, daño y transformación de los ecosistemas que en cualquier otro período de la historia [1].

Los ecosistemas comenzaron a formar parte de la Agenda Pública Internacional a partir del movimiento ambientalista de los años 70's y con el paso del tiempo han cobrado mayor relevancia en el debate sobre el desarrollo y bienestar humano. En el año 2000 se iniciaron las pláticas para poder llevar a cabo una evaluación de los mismos, fue así que en el 2005 se publicó el documento La evaluación de los ecosistemas del milenio, en donde se pone de manifiesto la importancia de evaluar la influencia de los cambios en los servicios de los ecosistemas en relación con los factores sociales, culturales y económicos que influyen en el bienestar humano [2].

En México, los esfuerzos para cuidar y proteger a los ecosistemas surgen con la estrategia de conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), si bien, en 1876 se declaró la primera ANP, son pocas las investigaciones que contemplan los efectos económicos de la contaminación de los ecosistemas, los cuales son la justificación más acertada para la declaración de estas áreas; entre las investigaciones encontradas tenemos la de [3], [4], [5].

Un factor de contaminación importante a estos ecosistemas, el cual es parte del objeto de este estudio, es la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En México, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [6], se recolectan cada día un promedio de 86,343 toneladas de RSU, de los cuales el 7.6% son generados en el Estado de Jalisco. Si bien Jalisco cuenta con 7,350,682 habitantes, tan sólo en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) viven 4,434,878 habitantes [7], siendo responsable de la mayor parte de los residuos generados con un total de 5,856 toneladas diarias al 2013[8].

Lo anterior tiene especial impacto sobre comunidades rurales las cuales se encuentran ubicadas en las periferias de la ciudad, pues el sistema de gestión de residuos en la ZMG ha optado principalmente por la disposición final en sitios lejanos al centro urbano.

El mal manejo de los rellenos sanitarios impacta negativamente la calidad de vida de la población, principalmente de quienes viven alrededor y, a su vez, representan una problemática para alcanzar un desarrollo sustentable en el territorio. Los ecosistemas están siendo afectados por los rellenos sanitarios y su capacidad de resiliencia ha sido rebasada.

El proceso de contaminación y degradación ambiental con efectos negativos en las actividades económicas, es reconocido mayormente por los actores locales que se encuentran inmersos directamente en esta dinámica. De tal modo, la percepción sobre el estado de los ecosistemas representa un elemento importante para la generación de conocimiento empírico y la toma de decisiones en comunidades afectadas por problemas ambientales. Siguiendo a Lezama [9], la percepción de los problemas ambientales deriva de una valoración social y no tan solo de su construcción física.

En esta investigación, se optó por documentar la percepción de los habitantes de tres comunidades de la barranca del río Santiago sobre las pérdidas económicas de la contaminación proveniente de los rellenos sanitarios Picachos y Hasar's. En estas comunidades, Huaxtla, Milpillas y San Lorenzo, ubicadas al norponiente del municipio de Zapopan, en la ZMG, Jalisco, se han visto reflejadas pérdidas de producción agrícola y ganadera, así como la desaparición total de la actividad pesquera, ya que la contaminación impacta principalmente en los cuerpos de agua del territorio y dichas actividades dependen directamente del abastecimiento del recurso hídrico.

1.1 Caso de Estudio: la barranca del río Santiago como macro-sitio de disposición final

El estado de Jalisco se integra por 125 municipios al 2015 y, desde el año 2010, cuenta con tan solo 108 sitios de disposición final de residuos para los 0.893 kilogramos per cápita generados diariamente en la entidad; de estos sitios, 76 son tiraderos a cielo abierto [10]. En la ZMG, la disposición final de residuos se realiza principalmente en los vertederos Picachos, Hasar's y Los Laureles. Los dos primeros, objetos de este estudio, se ubican en el municipio de Zapopan y el último en Tonalá. Para 2013, la cantidad de residuos que ingresaba diariamente a las instalaciones de dichos vertederos fue de 1,395 ton en Picachos, 1,300 ton en Hasar's y 2,690 ton en Los Laureles, lo cual constituye el 96.5% de los residuos generados en la ZMG [8].

Las instalaciones de los tres vertederos se ubican sobre la barranca del río Santiago. Por un lado, Picachos y Hasar's comparten la misma ubicación geográfica, con una extensión aproximada de 100 hectáreas para la disposición final de residuos al norponiente de Zapopan. Particularmente, Picachos es un vertedero de administración pública a cargo del ayuntamiento de Zapopan, el cual recibe los residuos del mismo municipio. Hasar's, en cambio, es una empresa privada y recibe los residuos de Tlaquepaque y recolección contratada. Por otro lado, Los Laureles, trabaja bajo concesión de la empresa CAABSA, en donde se reciben residuos de Guadalajara, Tonalá, Tlajomulco, El Salto y Juanacatlán.

Los tres sitios comenzaron sus operaciones a principios del 2000, cubriendo el servicio de disposición final de la ZMG a la fecha, y haciendo de la barranca del río Santiago un macro-sitio de disposición final de residuos. Desde entonces, las inconsistencias en los procesos operativos de Picachos, Hasar's y Los Laureles han generado contaminación ambiental más allá de los límites de sus predios. Si bien, los vectores de contaminación provenientes de sitios de disposición final de residuos, comúnmente, son el polvo y materiales ligeros arrastrados por el viento, biogás y lixiviados, en el caso de los sitios Picachos y Hasar's, existe una afectación puntual en el recurso hídrico por lixiviados al Arroyo Grande de Milpillas. Esto implican un riesgo a la salud de los pobladores de localidades cercanas (Milpillas, San Lorenzo, Huaxtla,

entre otras) y a sus actividades productivas [11], pues, en muestras de lixiviados de vertederos, generalmente, se han encontrado residuos peligrosos como el plomo, cromo y cianuro [12].

Por otro lado, en las localidades cercanas a los vertederos, los efectos de la contaminación por lixiviados sobre las actividades productivas, han ocasionado la desaparición total de la actividad pesquera. En lo que respecta a la ganadería y la agricultura, han provocado bajas de producción en calidad y cantidad. Finalmente, también han existido afectaciones en el rubro turístico, pues diversos puntos que anteriormente se utilizaban para la recreación, tanto para las mismas personas de las comunidades como para poblaciones cercanas, incluyendo de la Zona Metropolitana de Guadalajara, han sido contaminados [13].

Sumado a las implicaciones socioambientales negativas que han provocado los vertederos de Picachos y Hasar's, la zona ha sufrido por contaminación de disposición final de residuos por poco más de dos décadas ya que, durante 1995 y de 1995 a 2001, operaban los sitios Copala y El Taray respectivamente, tan solo a dos kilómetros de Picachos y Hasar's [14]. A pesar de su condición de ex-vertederos, ambos continúan contaminando debido a la falta de gestión y planeación para el cierre.

1.2 La barranca del río Santiago y sus pueblos

La barranca del río Santiago es una falla geológica por la cual fluye el río Santiago pasando por varios municipios de Jalisco y las cercanías de la ZMG. De acuerdo con Escobar et al. [15] la barranca del río Santiago es el accidente geográfico más importante del occidente del país debido a su gran biodiversidad. El río Santiago pasa por esta barranca, siendo uno de los ríos más importantes del país, el cual realiza un recorrido de más de 500 km desde su nacimiento en el lago de Chapala hasta su desembocadura en el océano Pacífico.

En 2004, el Congreso del Estado de Jalisco decretó la zona de la barranca comprendida en el municipio de Zapopan como Área Natural Protegida bajo la categoría de Área Municipal de Protección Hidrológica; “dicha zona representa un área prioritaria a proteger por los valores ambientales que tiene y los servicios ambientales que presta no sólo al Municipio de Zapopan, sino a toda la zona Metropolitana de Guadalajara” [16]. Con esto se determinó una superficie de 17,729.91 hectáreas que colinda con los municipios de Guadalajara, San Cristobal de la Barranca, Ixtlahuacán del Río, Amatitán, Tequila y la ZMG.

La barranca del río Santiago, es un territorio donde habitan numerosos pueblos que surgieron incluso antes de la formación de la ciudad y su consolidación como zona metropolitana de Guadalajara. Algunos de los principales pueblos son Los Tempizques, Ex-hacienda del Lazo, San Isidro, San Esteban, Tateposco, Los Camachos, Ixcátán, Paso de Guadalupe, Mesa de San Juan, La Soledad, Huaxtla, Milpillas y San Lorenzo. Las últimas cuatro, son mayormente receptoras de la contaminación derivada de los vertederos debido a su cercanía y a que su principal fuente de agua es el río Grande Milpillas. Dicho río recibe las descargas y derrames de lixiviados de manera directa e indirecta a través de río y arroyos que desembocan en él. A su vez, este es tributario del Río Santiago, confabulando en la parte baja de la barranca.

Los pueblos o comunidades de Huaxtla, Milpillas y San Lorenzo se encuentran ubicados entre los vertederos de Picachos y Hasar's y el río Santiago. Estas comunidades son catalogadas como regiones de ámbito rural y con grado de marginación alto. Las comunidades tienen un total de 170 habitantes [7] divididos en 32 familias (Entrevista realizada el 23-06-2016).

La producción agrícola de los pueblos de la barranca, de acuerdo al Consejo de la Asamblea Nacional de Afectados Ambientales [17], se basa en prácticas orgánicas y semi-orgánicas de parcelas de mango barranqueño, café, huamúchiles, ciruelas, guaje, nopal, maíz y frijol para el consumo propio y venta en mercados locales del municipio de Zapopan. A su vez, la ganadería forma parte esencial de las actividades

de sostenimiento de los pueblos. El ganado que se trabaja en la zona es de tipo bovino y se cría con finalidades de venta para consumo.

Se ha determinado, que el principal impacto de la contaminación ambiental reside en el bienestar económico de las personas que habitan la zona, según la percepción de actores clave que viven en Milpillás, Huaxtla y San Lorenzo [18]. Siguiendo el estudio anterior, personas de los pueblos afectados de la barranca, expresan preocupación por la creciente pérdida en la calidad de espacios naturales que anteriormente se utilizaban para la recreación y promoción del turismo de la Barranca. Sumado a esto, también existe el riesgo de impactos en la salud por contaminación del agua, sobre todo en niños y niñas.

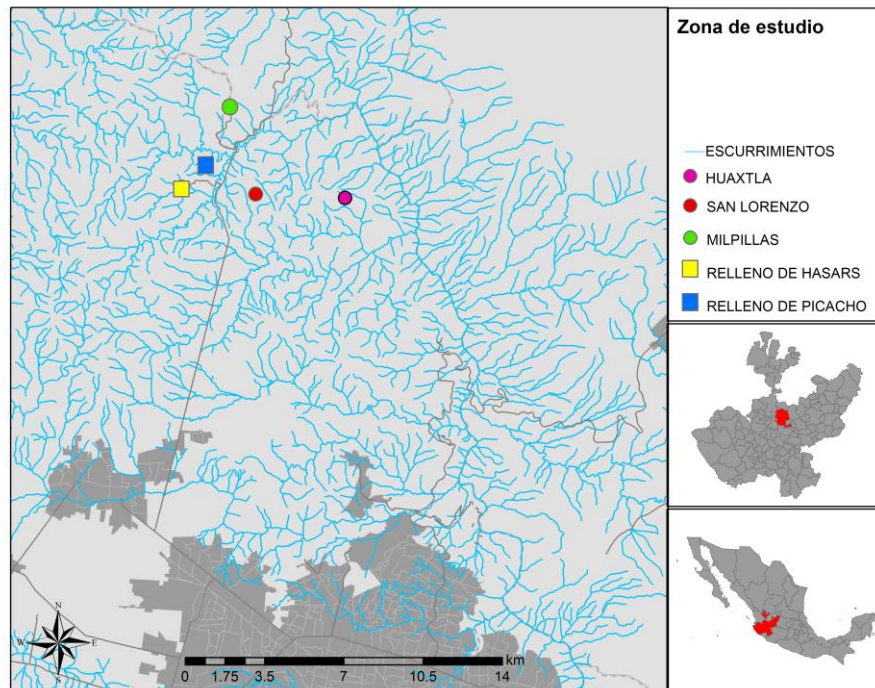


Figura 1. Pueblos de la barranca y rellenos de residuos sólidos urbanos de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia.

2. Metodología

Esta investigación se basó en la metodología cualitativa, realizando trabajo etnográfico en tres comunidades de la barranca del río Santiago, Huaxtla, Milpillás y San Lorenzo, siendo las más afectadas por la contaminación derivada de los sitios de disposición final, Pichachos y Hasar's, aunado al trabajo etnográfico se realizó investigación documental.

El trabajo etnográfico se realizó en el período de mayo de 2015 a agosto de 2016, en este tiempo se realizaron visitas intermitentes en las comunidades barranqueñas y en los alrededores de los sitios de disposición final de los RSU, Picachos y Hasar's, aplicando entrevistas a profundidad con habitantes de la comunidad barranqueña y complementado con recorridos de campo y revisión documental.

Las entrevistas a profundidad se aplicaron a representantes clave de la comunidad y posteriormente a jefes de familia, cabe señalar que cada núcleo familiar está constituido por dos o más familias tradicionales (de cuatro a cinco integrantes cada una). De un total de 32 familias se entrevistaron a 10 representantes de cada

una, así mismo se entrevistaron a cuatro de los líderes de las comunidades. Resulta importante señalar que los entrevistados (jefes y jefas de familia) han permanecido en la comunidad toda su vida, actualmente tienen entre 45 y 70 años. Las entrevistas a profundidad fueron guiadas, teniendo como temas principales los siguientes: tiempo de residencia en la comunidad, principales actividades económicas, percepción del cambio del ecosistema a consecuencia de la instalación de los rellenos sanitarios, pérdida de ganado y producción agrícola por causas de contaminación de agua, enfermedades más recurrentes que se presentan en la familia, historia de las actividades económicas antes y después de la presencia de los rellenos sanitarios.

Así mismo, se entrevistaron a funcionarios del gobierno estatal y del municipio de Zapopan, debido a que están directamente relacionados con los sitios de disposición final. A estos actores se les preguntó sobre la gestión de los RSU, en especial sobre la disposición final y sobre su postura ante la contaminación del río Grande Milpillas.

En la revisión documental, en el año 2016 se solicitaron documentos a la SEMADET y al Ayuntamiento de Zapopan a través del portal de Transparencia del Estado de Jalisco, el sistema INFOMEX. A la SEMADET se le requirieron los Manifiestos de Impacto Ambiental de los sitios de disposición final Hasar's y Picachos y los resultados de análisis de lixiviados de los mismos, con número de folio de la solicitud 02075616. Por su parte, al Ayuntamiento de Zapopan se le pidió el análisis físico-químico y de caracterización de los lixiviados del Relleno Sanitario Picachos, con folio de solicitud 0275016.

3. Resultados etnográficos

Los sitios de disposición final, Hasar's y Picachos se encuentra en un terreno fragmentado, el cual ha sido desmontado para poder cumplir la función de confinar la basura de los habitantes de la ZMG. Tal como mencionan Venegas y Bernache [11], estos sitios se encuentran a tan sólo 0.7 km de la localidad de Milpillas y el cauce del Arroyo Grande de Milpillas cruza el perímetro del sitio; esta situación incumple con la NOM-083-SEMARNAT-2003. En el año 2010, habitantes de las comunidades realizaron análisis de laboratorio sobre la calidad del agua en el Arroyo Grande Milpillas, los resultados mostraron “niveles de cianuros que rebasan los parámetros de las normas oficiales, la presencia de cromo en niveles altos que también superan la normatividad, la demanda química y bioquímica de oxígeno, nitratos, pH, sólidos suspendidos y otros más que también rebasaban los niveles que marcan las normas de descargas de aguas en México” [12].

Tras esto, se solicitó por transparencia los análisis de lixiviados de los rellenos sanitarios. El Ayuntamiento de Zapopan y SEMADET negaron la existencia de estos para Picachos. Por su parte, los análisis de lixiviado del relleno de Hasar's con fecha del 28 de marzo del 2016, realizados por la empresa Apoyo Técnico Industrial, se mostraron dentro de los límites máximos permisibles, de acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Antes de que se contaminaran los ríos, los habitantes de las localidades barranqueñas utilizaban el agua para la agricultura y ganadería sin problema alguno y eran lugares de recreación y esparcimiento. De acuerdo a los entrevistados de Huaxtla, los pobladores no sufrían carencia de agua, y fue por la abundancia de este líquido que sus antecesores llegaron y se instalaron en estos sitios. No obstante, con el paso del tiempo y el incremento de los lixiviados arrojados en los afluentes superficiales, la producción local comenzó a sufrir bajas en términos de calidad y cantidad, el año 2009 fue un parteaguas para las comunidades de la barranca, “los derrames de lixiviados al Arroyo Grande de Milpillas fueron constantes” [12].

En el año 2012, los habitantes de las comunidades de dirigieron a la CEDHJ, y en la queja: 180/12/I, en donde se señala la violación a la salud y al derecho de un ambiente sano, entre las propuestas, que señala la CEDHJ, menciona el monitoreo de lixiviados y el realizar análisis a los mantos acuíferos contiguos a

Picachos, Copala y el Taray; así mismo, se le pide al H. Ayuntamiento de Zapopan y a la SEMADES que cumpla con lo establecido tanto en la ley como en el convenio celebrado con las comunidades.

De acuerdo a los resultados sobre la percepción de población, las pérdidas económicas en la agricultura, ascienden a un rango de 30,000 ± 20,000 pesos anuales por familia, debido a que sus cosechas han disminuido un 30% anual. Si bien, la cifra anterior no es del todo exacta, a raíz de la contaminación ambiental generada desde los sitios de disposición final, los pobladores comenzaron a notar un incremento de plagas de insectos y fauna nociva en sus cultivos, “la aparición de las plagas se dio al mismo tiempo que con la contaminación de los ríos y arroyos de la zona” (Entrevista realizada a un habitante de Huaxtla el 23-06-2016). Con esto, se determinó que la contaminación no solo genera pérdidas económicas en términos de calidad y cantidad de producción, sino en gastos de insumos y materiales que deben adquirirse para erradicar las plagas.

Las jornadas laborales han incrementado para ciertos productores, debido a que deben trabajar mayor tiempo para mantener la producción en términos viables. De igual modo, el ganado requiere mayor cuidado para evitar que beban agua contaminada, sobre todo en tiempo de secas donde el agua de arroyos se estanca y concentra mayor cantidad de lixiviados.

Es por lo anterior que, en cuestiones de ganadería, los habitantes no hablan del precio de cada animal (vaca, yegua, caballo), sin embargo, indican que al año se les muere un promedio de 2 animales por familia. El 30% de las familias cuenta con ganado, cada animal lo venden a un precio entre \$7,000.00 y \$12,000.00, esto es un aproximado de \$67,200.00 pesos anuales (tomando en cuenta el valor más bajo); a su vez, de acuerdo a un habitante de Huaxtla, debido a las pérdidas en la agricultura se debe de comprar pastura para los animales, lo cual antes no se hacía ya que de las mismas cosechas se apartaba alimento para estos.

La salud es otro punto relevante que se ha visto afectado por consecuencia de la contaminación por lixiviados del Arroyo Grande Milpillás. En las entrevistas se preguntaron cuáles eran las enfermedades más recurrentes que se presentaban en la comunidad, en particular, en general se refirieron a las enfermedades estomacales, gastrointestinales y enfermedades en la piel, por lo que los gastos médicos aumentaron. A pesar que las enfermedades por la contaminación de lixiviados no se muestran de manera evidente, ni se expresan como uno de los principales problemas de los pueblos de la barranca, existe un riesgo de sufrir afectaciones a largo plazo.

Por otro lado, resulta notable la conciencia ambiental que existe entre esta población. La reflexión sobre la importancia de preservar un entorno adecuado para las generaciones futuras y los impactos ecosistémicos de la contaminación que afectan más allá de las fronteras municipales, son ideas bastante claras para los afectados. Incluso, uno de los líderes de Huaxtla, al preguntarle sobre las pérdidas económicas que ha traído la contaminación en sus tierras, comentó que las pérdidas son incalculables: “no hay más estudio que la vida, la naturaleza habla”, comentó para referir lo imposible que resulta cuantificar en términos económicos y lo evidente que son las afectaciones en la Barranca del Río Santiago.

Por parte del gobierno estatal y municipal, están conscientes del daño y las afectaciones que generan los lixiviados de los sitios de disposición final a las comunidades, sin embargo, el actuar de estas autoridades no ha sido contundente. La instancia municipal en su administración 2012-2015 comentó que “han trabajado en conjunto con los habitantes de las comunidades desde hace 6 años, y que han realizado acuerdos con los ejidatarios para resolver el problema del mal manejo de los residuos en el sitio de disposición final que traen como consecuencia la contaminación por lixiviados” (Entrevista realizada al Director de Aseo Público de Zapopan el 28-08-2015), lo cual de acuerdo a los habitantes de las comunidades no se ha visto mejorado, si no que ha incrementado.

El gobierno estatal, específicamente la Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente (PROEPA), ha realizado inspecciones tanto al sitio de Picachos como de Hasar's, entre las más recurrentes observaciones en estos sitios fue la inadecuada captación de lixiviados, lo cual ocasionó multas y modificaciones estructurales [19]. Sin embargo, el problema sigue latente, y los habitantes continúan teniendo pérdidas económicas, las cuales no son reconocidas por el gobierno, menciona un habitante de Milpillars "a mí me dijeron que le hiciera análisis a mi vaca, ya que sólo así se podría comprobar que fue por ingerir lixiviados" (Entrevista realizada el 04-03-2016).

4. Conclusiones

En materia de estudios cualitativos sobre la percepción de la pérdida económica ocasionada por contaminación de sitios de disposición final no se encontraron estudios al respecto, si bien, se han realizado investigaciones cuantitativas para analizar pérdidas económicas en el caso de los RSU por medio de métodos de valoración económica, tal como como mencionan Farreras y Lauro [20], existen muy pocos estudios semejantes.

Entre los estudios encontrados sobre valoración económica en materia de RSU está el caso de Agüero [21], en la ciudad de Salta, Argentina, en donde se evalúa el sistema de gestión de residuos sólidos domiciliarios a través de la valoración contingente. De igual modo, en Ibararán et al. [22], realizan dicho esfuerzo en el impacto ambiental del manejo de residuos sólidos municipales en San Pedro Cholula, Puebla, México. Además, se encuentra el texto de la dirección general de ambiente de la Comisión Europea (ECDGE, 2000), en donde se utiliza el costo-beneficio en el estudio de externalidades por la disposición final e incineración de residuos, con la intención de establecer el modo de gestión de residuos óptimo; por su parte Farreras y Lauro [20] realizan una valoración económica de los efectos de la contaminación por vertido de residuos sólidos urbanos, en donde encontraron que para los próximos años se espera una pérdida de bienestar de los ciudadanos del Gran Mendoza por los incrementos en la contaminación por acumulación y entierro de basura, tal como ocurre con las comunidades barranqueñas.

Sin embargo, en esta investigación, por la naturaleza de los habitantes y sus dinámicas de trabajo, en donde las relaciones familiares y vecinales, juegan un rol importante en los ingresos, ya que estos se distribuyen en núcleos familiares los cuales se constituyen por dos o más familias tradicionales (de cuatro a cinco integrantes), se optó por utilizar una metodología cualitativa.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo observar que las actividades económicas no han cambiado totalmente con el paso del tiempo en estas comunidades, las poblaciones se han ido adaptando al cambio del ecosistema. Los pobladores están conscientes de las pérdidas económicas anuales y para ellos resulta de gran preocupación la contaminación a la que se están enfrentando.

Las pérdidas económicas en las actividades productivas en las comunidades son reales y la población está consiente de este problema, ya que año con año se han incrementado sus costos de producción, tanto en la agricultura como en la ganadería, así mismo, ya no realizan actividades pesqueras. Lo anterior aunado al aumento de enfermedades gastrointestinales y dérmicas, ocasionadas por vivir en las cercanías de los rellenos sanitarios, tal como lo han marcado autores como De-Shaoli y Debnath. [23], Sankoh y Tran [24], World Health Organization [25] y Gran y Bernache [18], han causado un deterioro en la calidad de vida de los habitantes, y un impacto negativo a su economía.

Es así que los métodos cualitativos responden al contexto en el que ocurren los hechos, y más en una población en donde el dinero pasa a segundo plano debido a la conciencia ambiental de las comunidades de Huaxtla, Milpillars y San Lorenzo. La población local trata de preservar el dominio de su territorio, en donde el crecimiento económico de la ZMG ha afectado sus actividades y su vida diaria; estos comuneros poseen

un interés innegable por el medio ambiente, respetándolo y adaptándose a su cambio, aunque siempre luchando por sus derechos humanos.

En general, los lenguajes de las pérdidas económicas que utilizan diversos afectados ambientales, insisten que los valores ecológicos no pueden realmente ser expresados en dinero y aluden a otro tipo de terminologías como la protección de los derechos humanos o la nación sagrada del territorio, según sea el caso [26].

No obstante, los métodos de valoración económica resultan inadecuados para lograr capturar en su totalidad la problemática de las afectaciones por contaminación ambiental, en casos como el que aquí se expone. El interés social de una comunidad recae en la necesidad de ser escuchados y de explicar las vivencias de las problemáticas, las cuales son esenciales para la toma de decisiones que permitan generar verdaderas soluciones.

Esta población se enfrenta a una realidad en donde el deterioro de componentes ecológicos que proporcionan bienes y servicios esenciales para la vida y el bienestar es latente. En este caso de estudio las autoridades no han colaborado en beneficio de los afectados, lo cual genera un entorno de conflicto socioambiental. Estos conflictos emergen del desencuentro entre actores en donde el poder e interés económico prevalece ante la preservación ambiental y el respeto por los derechos de los grupos y comunidades vulnerables.

Referencias Bibliográficas

- [1] United Nations Environmental Program (2012). *GEO 5 Global environment outlook. Environment for the future we want.* Texto completo, URL: http://web.unep.org/geo/sites/unep.org/geo/files/documents/geo5_report_full_en_0.pdf. Malta: Progress Press Ltd, Malta. Última consulta 17 de abril de 2018.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment (2005) Informe de síntesis. *Borrador final, Texto complete*, URL: <http://www.millenniumassessment.org>. 43 p.
- [3] Romo Lozano, J. L., López Upton, J., Vargas Hernández, J. J., Ávila Angulo, M. L. (2017). “Economic valuation of the forest biodiversity in Mexico, a review”, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(1), 75-90.
- [4] Perez Verdin, G., Sanjurjo Rivera, E., Galicia, L., Hernandez Diaz, J. C., Hernandez Trejo, V., & Marquez Linares, M. A. (2016). “Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Current status and trends”, *Ecosystem Services*, 21, 6-19.
- [5] Camacho Valdez, V., Ruiz Luna, A., Ghermandi, A., & Nunes, P. A. (2013). “Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico”, *Ocean & Coastal Management*, 78, 1-11.
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2013) Estadística básica sobre medio ambiente. *Boletín de Prensa núm. 121/13*. Aguascalientes: INEGI, 14 p.
- [7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010) “*Censo de Población y Vivienda 2010*”. Texto completo, URL, <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>. Última consulta el 23 de septiembre del 2014
- [8] Bernache, G. (2015). “La gestión de los residuos sólidos: un reto para los gobiernos locales”, *Sociedad y Ambiente*, 1(7), pp. 72-101.

- [9] Lezama, J. L. (2012). “Riesgo Ambiental: de la ideología a su construcción social”, Quid 16. Revista del Área de Estudios Urbanos, (1), 40-53.
- [10] Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG) (2015). “Conociendo Jalisco 2015”. Guadalajara: IIEG, 101 P.
- [11] Venegas Sahagún, B.A. y Bernache Perez, G. (2015) “El riesgo de la pepena y alteración al paisaje en el sitio de disposición final Picachos”, en Soto-Córdoba, S. (Coord). *Memorias VI Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos Sólidos, hacia la carbono neutralidad 2021*. Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica, 634-639 p.
- [12] Bernache Pérez, G. (2012). “El confinamiento de basura urbana y la contaminación de fuentes de agua en México”, Revista del El Colegio de San Luis, 4, pp. 36-53.
- [13] Gran Castro, J. A. (2016) “Los derechos humanos y la contaminación ambiental derivada de los sitios de disposición final de residuos en la ciudad de Guadalajara”. Guadalajara, México. Universidad de Guadalajara. Tesis de licenciatura.
- [14] Bernache Pérez, G. (2011) *Cuando la Basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. México: CIESAS-Occidente, 551p.
- [15] Escobar, A. G., & Huerta, M. D. C. M. (2008). Análisis de las alteraciones geo-físicas y riesgos naturales a consecuencia de la construcción de la presa Arcediano en la Barranca del Río Santiago zona Oblatos-Huentitán, zona metropolitana de Guadalajara, *Sincronía*, 4(2).
- [16] Periódico Oficial del Estado de Jalisco (POEJ) (2004). “Se declara área municipal de protección hidrológica la barranca del río Santiago comprendida en el municipio de Zapopan, Jalisco, Decreto, Texto completo, URL: http://conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/documentos/ANPL/Jal/Barranca-Rio-Santiago.pdf. Última consulta 1 de octubre de 2016.
- [17] Casillas, J. (s.f.). “Pueblos de la barranca del río Santiago. Aproximación a su problemática y experiencia como afectados ambientales”. Texto completo, URL: <https://cronicadesociales.org/2010/05/17/pueblos-de-la-barranca-del-rio-santiago-en-jalisco/>. Última consulta 1 de octubre de 2016.
- [18] Gran Castro, J. A. y Bernache Pérez, G. (2016). “Gestión de residuos sólidos urbanos, capacidades del gobierno municipal y derechos ambientales, *Sociedad y Ambiente*, 1(9), 73-101.
- [19] Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente (PROEPA) (2016) “Base de Datos actos Hasar's-Picachos”. Solicitud INFOMEX 02075616
- [20] Farreras, V., & Lauro, C. (2016). Valoración económica de los efectos de la contaminación por vertido de residuos sólidos urbanos. El caso del aglomerado urbano del Gran Mendoza, Argentina. *Gestión y Ambiente*, 19(2), 211-227.
- [21] Agüero, A. A., Carral, M., Sauad, J. J., & Yazlle, L. L. (2005). Aplicación del método de valoración contingente en la evaluación del sistema de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Salta, Argentina. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 2, 37-44.

- [22] Ibarrarán, M. E., Islas, I., & Mayett, E. (2003). Valoración económica del impacto ambiental del manejo de residuos sólidos municipales: estudio de caso. *Gaceta ecológica*, (67).
- [23] De-Shaoli., & Debnath, B. (2016). “Prevalence of Health Hazards Associated with Solid Waste Disposal-A Case Study of Kolkata, India”, *Procedia Environmental Sciences*, 35, 201-208.
- [24] Sankoh, F. P., Yan, X., & Tran, Q. (2013). “Environmental and health impact of solid waste disposal in developing cities: a case study of granville brook dumpsite, Freetown, Sierra Leone”, *Journal of Environmental Protection*, 4(7), 665-670.
- [25] World Health Organization (2015). *Waste and human health: Evidence and needs*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [26] Martinez Alier, J. (2006). “Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad”, *Polis* 5(13) p. 0.

Información oficial vs. información de campo sobre residuos sólidos urbanos en el centro de México

¹ María del Consuelo Mañón-Salas, ¹ María del Consuelo Hernández-Berriel,

² Diana Gabriela Castro-Frontana, ³ Otoniel Buerostro Delgado

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista Metepec, Edo. de México, México C.P. 52149, (722) 2 08 72 00, consuelomanon@gmail.com

² Escuela Nacional de Ciencias Biológicas/Instituto Politécnico Nacional, Av. Wilfrido Massieu s/n, Col. UP Adolfo López Mateos, C.P. 07738 Ciudad de México

³ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. San Juanito Itzicuaru S/N, Arboledas Valladolid, C.P. 58330 Morelia, Michoacán.

Resumen

En México en 1980 se introdujo el mandato Constitucional (Art.115) para que los municipios asumieran los servicios de limpia y aseo urbano y fue hasta la LGPGIR en 2003 donde se menciona que tienen a su cargo el Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (MIRSU) y que deben contar con Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU). La información de fuentes oficiales no siempre concuerda con lo que existe en cuanto al MIRSU, por lo que el objetivo de este trabajo fue comparar la información oficial con la recopilada en campo mediante entrevistas a las autoridades responsables de los 121 municipios colindantes entre del Estado de México y las Entidades Federativas que lo rodean. Se analizó estadísticamente la información, se migró a una base de datos en PostgreSQL y se procesó con ArcMap. Entre los resultados destacan que el *Promedio de habitantes* por casa en el *Área de Estudio* (AE) es de tres y la media nacional reporta 4 hab/casa; oficialmente ningún presidente municipal del AE tiene grado universitario, mientras que en campo se obtuvo que 38% sí lo tienen; la *Actividad Terciaria* 56 es en promedio superior al 2% del PIB en el AE; 115 de los 121 municipios del AE cuentan con *Servicio de recolección y Disposición final* pero solo 50 tienen *Estudios de generación de RSU*. Las diferencias encontradas evidencian la necesidad de realizar estudios en los municipios, con el fin de implementar PMPGIRSU que ayuden a reducir los TCA.

Palabras Clave: Educación, Manejo, Residuos Sólidos Urbanos

1. Introducción

Actualmente la generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) y su manejo se han convertido en un problema global. Los patrones de consumo, las modificaciones tecnológicas, la demanda de bienes y servicios, el proceso industrializador y el crecimiento poblacional, son algunas causas que pueden explicar tal situación. Las cuales inciden en áreas sociales, políticas, económicas y de salud debido a deficiencias en la operación, falta de comprensión de la problemática desde un enfoque integral, así como la ausencia de programas permanentes de educación y capacitación ambiental [1]. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reporta que en México se generan 102,895.00 t/día de RSU, se recolectan el 83.93%, se depositan en sitios de disposición final 78.54% y se reciclan solo el 9.63% de los generados [2].

En 1980 se introdujo el mandato Constitucional en el artículo 115 para que los municipios asumieran la responsabilidad de brindar los servicios de limpia y aseo urbano, sin que se precisara el tipo de residuos a los cuales debían de circunscribirse; y fue hasta la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada en 2003, donde se menciona en su Artículo 10, fracción I a la IV, que los municipios tienen a su cargo prestar el servicio público de Manejo Integral de los RSU (MIRSU), consistente en: recolección, traslado, tratamiento y su disposición final; mientras que en el Artículo 26 (fracción I al V) de la misma ley establece que las Entidades Federativas y los municipios, en el ámbito de sus competencias respectivas y en coordinación con la Federación, deben elaborar e instrumentar Programas locales para la prevención y gestión integral de los RSU y de residuos de manejo especial [3].

Muchos municipios del territorio Mexicano han demostrado una limitada capacidad para responder a obligaciones tanto legales como de gestión, minimizadas en parte por la heterogeneidad en su extensión territorial, la capacidad económica, la dispersión de sus habitantes y el nivel de estudios de la población, sin embargo también por el interés de las autoridades y la capacitación técnica de los responsables del área ambiental a cargo del MIRSU en los municipios [4]. La información de fuentes oficiales no siempre concuerda con lo que realmente existe sobre el MIRSU en los municipios, por lo que el objetivo de este trabajo fue comparar la información oficial con la recopilada en campo mediante entrevistas a las autoridades responsables de los municipios del *Área de Estudio (AE)*, conformada por los municipios de la periferia del Estado de México y los colindantes las ocho Entidades Federativas que lo rodean; con el fin de precisar factores que inciden con la actual situación del MIRSU y que afectan a sus habitantes [5].

2. Metodología

El AE de este trabajo está definida con base a los objetivos del proyecto de investigación 263315 del Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT- CONACYT 2015, “Ubicación de Rellenos Sanitarios Intermunicipales Futuros en el Estado de México y Estados Aledaños” [6]; integrada por los municipios de la periferia del Estado de México y los municipios vecinos de las Entidades Federativas de Guerrero, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos y Ciudad de México (Cd. Méx.).

2.1. Recopilación de información

En una primera etapa se recopiló información tanto documental como de campo, con el fin de identificar áreas de oportunidad para el MIRSU de cada uno de los 121 municipios del AE. La información documental recopilada comprendió datos estadísticos sobre el ámbito social, económico y medio ambiental [5]; y la información de campo se consiguió gracias al acercamiento con las autoridades municipales y a la aplicación de Cédulas de Entrevista a los responsables del área ambiental.

2.2. Análisis de datos

Una vez recopilada la información documental y de campo; ésta fue procesada, tarea que consistió en la eliminación de datos atípicos, definición de las variables de interés y análisis estadístico de las mismas, para ello se empleó el software estadístico Statgraphics 18 [7]. Posteriormente se procedió a exportarla a una base de datos en PostgreSQL para su procesamiento y para su consulta se hizo uso de ArcMap [8], [9]. Se seleccionaron las variables mostradas en la Tabla 1, categorizándose bajo el paradigma de sustentabilidad en tres clases: Social, Económica y Ambiental.

Tabla 1. Variables analizadas

Social	Económica	Ambiental
• Población Absoluta. • Densidad Población. • Distribución de la población Urbana y Rural. • Grado promedio de escolaridad. Cobertura en educación superior en modalidad escolarizada. • Gobernabilidad.	• Porcentaje del PIB Nacional. • Aportación del PIB por actividades. económicas: Primarias, Secundarias y Terciarias (56 y 61). • Total de ingresos. brutos por estado.	• Programas orientados al MIRSU según nivel de gobierno en municipios con recolección, por entidad federativa. • Población con servicio de recolección y disposición final de residuos (tipo). • Estaciones de transferencia de RSU. • Centros de acopio y cantidad de materiales valorizables recolectados. • Municipios con estudios sobre generación y composición de RSU.

Se comparó la información reportada para las variables con los datos obtenidos en campo, con el fin de conocer su variación; entre las variables se destacan *Promedio de habitantes por casa*, *Número de Presidentes municipales con Educación Superior* y *Estudios de generación de RSU*.

2.3. Conceptualización

Dada la estrecha interrelación que existe entre la población, medio ambiente y desarrollo socioeconómico, la globalización constituye un factor adicional que proporciona mayor complejidad a las relaciones existentes, de ahí la importancia de la *Conceptualización*, por lo que a continuación se hace una breve descripción de las variables analizadas y su grado de influencia en la situación actual de la zona de estudio.

2.3.1. Dispersión de la población

El crecimiento urbano y los estilos de vida en las ciudades, plantea una problemática creciente con impactos severos en el medio ambiente. La dispersión poblacional en pequeñas localidades determina diversos retos en materia de marginación y acceso a mejores condiciones de vida. Se entiende por *Población Absoluta* el número de habitantes de un país, estado, municipio o localidad. El número de habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km^2) conforma la *Población Relativa* o *Densidad de Población* [10].

2.3.2. Nivel educativo

El *Nivel educativo* alcanzado por la población permite conocer la proporción de personas en cada uno de los diferentes niveles de escolaridad, lo que indica el avance educativo en el que se desenvuelven las nuevas generaciones. La desagregación en grupos de edad ayuda a visualizar las diferencias en las estructuras demográficas y valorar aquellos grupos que necesitan mayor atención educativa. La *Cobertura en educación superior modalidad escolarizada* es el porcentaje de la población matriculada en educación superior con respecto a la población en edad típica de cursarla. La *Tasa neta de cobertura en educación media superior* es el porcentaje de la matrícula contenida en el rango de edad típica para un nivel educativo, respecto a la población de ese mismo rango de edad. La *Educación Superior* es un ámbito de profundas transformaciones, con repercusiones en los planos económico, social, político y cultural. La formación de técnicos, profesionales y científicos cada vez más competentes, con una educación de calidad es una condición necesaria para impulsar el desarrollo del país [11].

2.3.3. Población y factores económicos

El Producto Interno Bruto (PIB) es un indicador que ayuda a medir el crecimiento o decadencia de la producción de bienes y servicios de las empresas de cada país. El concepto de *Rezago Social* en México se cuantifica a partir de un índice que permite ordenar entidades federativas, municipios y localidades de mayor a menor grado de *Rezago Social* en un momento del tiempo; es una medida ponderada que incorpora indicadores de carencias sociales (educación, salud, servicios básicos, calidad y espacios en la vivienda, y activos en el hogar).

El *Porcentaje de población con carencia por rezago educativo* es la población que tiene de tres a quince años, no cuenta con educación básica obligatoria y no asiste a un centro de educación formal. El *Porcentaje de población en situación de pobreza extrema* corresponde a la población que padece tres o más carencias sociales y cuyo ingreso es inferior a la línea de bienestar mínimo [12].

2.3.4. Población y medio ambiente

De las diversas interacciones entre población y el medio ambiente, interesan en particular las que impactan negativamente en el MIRSU a nivel de entidad federativa y municipal. Las variables consideradas para describir el MIRSU del municipio fueron las mostradas en la tabla 1; además de los *Procesos reportados por entidad* y los *Programas orientados al MIRSU* según nivel de gobierno en municipios con recolección y en materia de procuración de justicia ambiental, según fuente de financiamiento y tipo de asociación [12], [13].

2.3.5. Gobernabilidad y población

La *Gobernabilidad* se define como el estado de equilibrio dinámico entre el nivel de las demandas sociales y la capacidad del sistema político para responder a ellas de manera legítima y eficaz, dirigidas especialmente al MIRSU. Se consideraron variables como *Presidentes municipales* por *Partido político*, por *Género*, por *Nivel de estudios* y con *Especialidad en el área del medio ambiente*. Así como la cuantificación de los *Municipios con Reglamentos* relacionados con el MIRSU. Una buena *Gobernanza* promueve la equidad, la participación, el pluralismo, la transparencia, la responsabilidad y el estado de derecho [14].

3 Resultados

México se encuentra organizado como una República representativa, democrática y federal; dividida políticamente en 32 Entidades Federativas. En la figura 1 se presenta la división de México, incluyendo las extensiones territoriales de los Estados en km² y el número de municipios que integran el AE, los cuales se representan con puntos negros. Las nueve Entidades Federativas cubren el 11.31% del territorio Nacional, siendo la Cd.Méx. la de menor área y Guerrero la de mayor área del grupo (3.24% de la superficie total) [15].

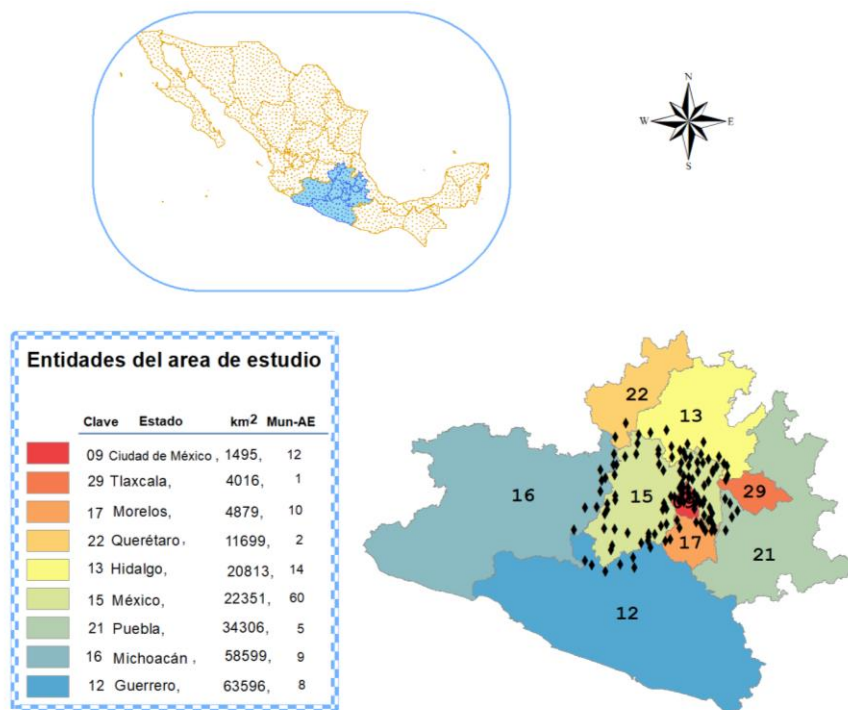


Figura 1. Municipios y entidades federativas que conforman el área de estudio. Fuente: [12]

3.1. Población

Para 2010 se reportó una población nacional de 112,336,538 habitantes (hab), de los cuales el 49% fueron hombres y el 51% mujeres, con una proyección para 2020 de 127, 091, 642 hab y una tasa bruta de natalidad de 19,710 hab, con tendencia a disminuir en el 2020 a 17,530 hab. La población de las *Entidades Federativas* y de los municipios del AE para ese año representaron el 40.05% y el 16.59% del total nacional respectivamente. En la tabla 2 se observa que el Estado de México es la Entidad Federativa con mayor población y representa el 13.51% a nivel nacional; mientras la Cd. Méx. es la segunda más poblada y tiene

menor área territorial [12], [13].

Tabla 2. Distribución de la población del Área de Estudio

Entidades Federativas (EF)	Número de Municipios en la EF y en el AE	^a Área territorial de la EF del País (%)	^b Población de la EF en 2010 (hab)	Población del país en 2010 (%)	^c Población de la EF en 2015 (hab)	^b Población del AE en 2010 (hab)	^c Población del AE en 2015 (hab)
Cd. Méx.	16 / 12	0.08	8,851,080	7.88	8,918,653	6,898,387	4,670,337
Guerrero	81 / 8	3.24	3,388,768	3.02	3,533,251	156,798	161,154
Hidalgo	84 / 14	1.06	2,665,018	2.37	2,858,359	516,056	590,693
Edo. de México	125 / 60	1.14	15,175,862	13.51	16,187,608	8,865,279	9,552,629
Michoacán	113 / 9	2.98	4,351,037	3.87	4,584,471	307,181	318,733
Morelos	33 / 10	0.25	1,777,227	1.58	1,903,811	536,094	555,199
Puebla	217 / 5	1.75	5,779,829	5.15	6,168,883	156,199	175,036
Querétaro	18 / 2	0.60	1,827,937	1.63	2,038,372	303,896	329,667
Tlaxcala	60 / 1	0.20	1,169,936	1.04	1,272,847	45,149	48 385

Fuentes: ^a[5], ^b[13], ^c[14]

En la figura 2 se puede observar una relación entre el *Número de viviendas habitadas* con respecto a la *Densidad de población*, donde el Estado de México, la Cd.Méx. y Puebla son las Entidades Federativas más densamente pobladas, debido a su ubicación geográfica en el centro del país. De la información recopilada en campo se observó que el *Promedio de habitantes por casa* es de 3, mientras que la media nacional reportada es de 4 hab/casa [16]; ésto es de suma importancia para estimar con mayor certidumbre la generación “*per capita*” de RSU.

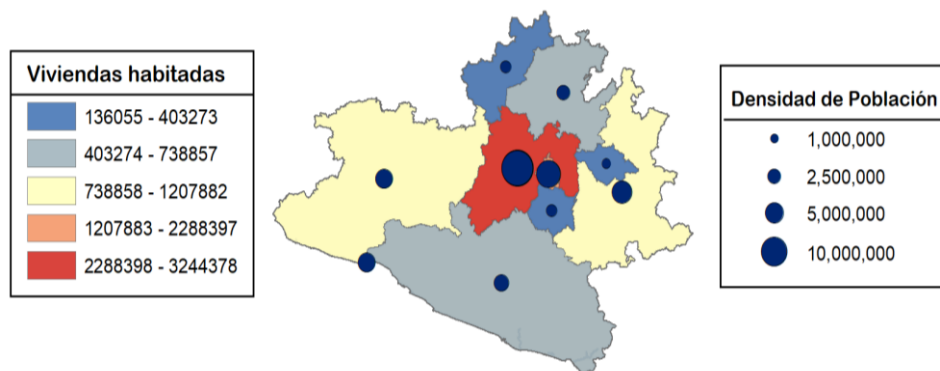


Figura 2. Viviendas habitadas Vs densidad de Población por entidad. Fuente:[13]

Se muestra en la figura 3 que los municipios más densamente poblados del AE se encuentran situados en la Cd.Méx. y Estado de México, mientras que los municipios con menor población están en los estados de Guerrero, Michoacán, Hidalgo, Querétaro y Tlaxcala.

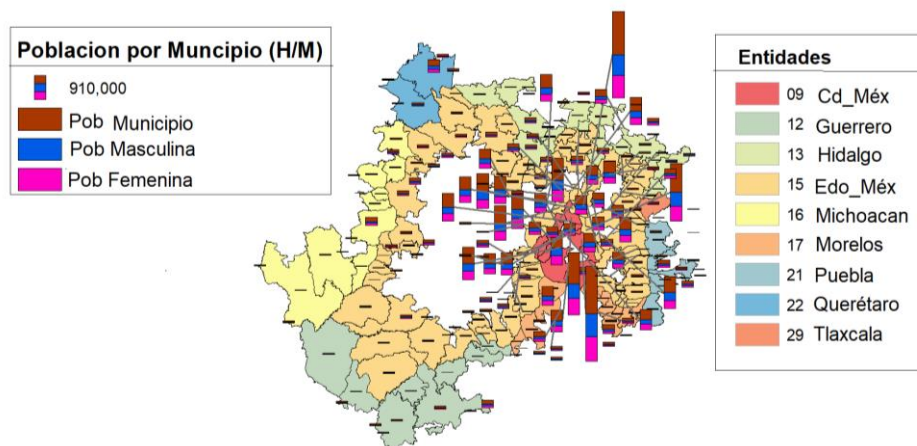


Figura 3 Población Municipal dividida por género (Femenina y Masculina). Fuente: [12]

Existe un evidente aglutinamiento de la población urbana en la Cd. Méx. y municipios vecinos del Estado de México, sin embargo la población rural con mayor número se ubica en los municipios del Estado de México que colindan con Hidalgo, Guerrero y Puebla (Figura 4).

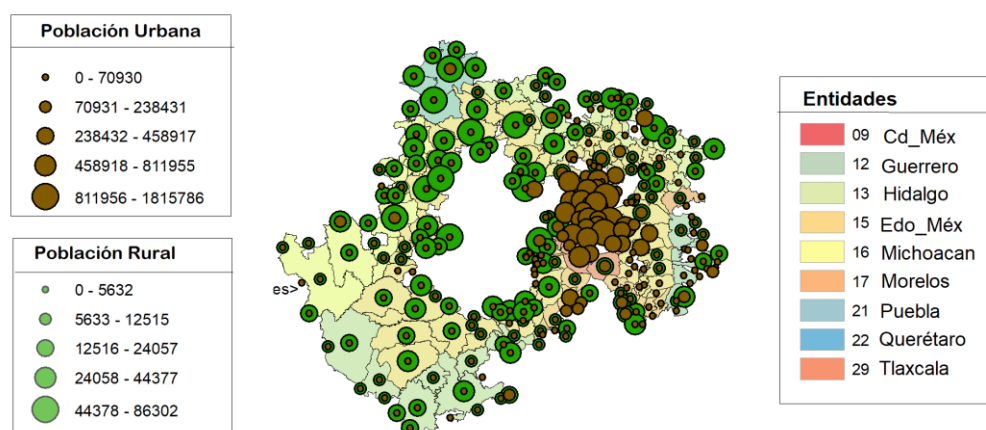


Figura 4. Distribución de la Población rural y urbana en la zona de estudio. Fuente: [10]

3.2 Educación

Cabe mencionar que los valores numéricos de *Grado de escolaridad* mostrados en la Tabla 3 corresponden a los años de estudio de los habitantes, donde 6 es para Primaria, 9 para Secundaria, 11 para Preparatoria y mayor a 11 es para Educación Superior. En el rubro de educación destaca la Cd. Méx., debido a que reporta 10.5 para 2010 y 11.1 para 2016, que son equivalentes al nivel Medio Superior (Secundaria y Preparatoria); siguiéndole para 2010 en segundo lugar el Estado de México y en tercero Morelos y Querétaro; para el 2016 estuvieron en segundo lugar el Estado de México y Querétaro.

Para los municipios del AE puede observarse que en 2010 el *Grado de escolaridad* tuvo valores inferiores a los de sus Entidades Federativas respectivas, lo cual indica que en estos municipios hubo menor atención escolar que en los otros de su estado (Tabla 3). Debido a que se carece de información a nivel municipal para 2016, no fue posible realizar este análisis.

En cuanto a Educación Superior, de acuerdo a lo reportado por el INEGI [2017], de los 748 municipios en las nueve Entidades Federativas del AE, en 708 de éstos su Presidente actual no cuenta con licenciatura; en

la Cd.Méx., Hidalgo y Morelos ninguno de sus alcaldes del último periodo administrativo tiene licenciatura; sobresalen el Estado de México con 24.8% y Querétaro con 11.1%, que corresponden a 31 Presidentes con Educación Superior de los 125 municipios del primero y 2 de los 18 municipios del segundo; y ninguno de los 121 alcaldes de los municipios del AE tiene grado universitario. Al comparar la información oficial con lo recabado en campo al aplicar la Cédula de Entrevista, positivamente se encontró que 46 de los 121 Presidentes cuentan con una licenciatura (Tabla 3); es decir el 38%; del cuál las profesiones que sobresalieron fueron Licenciado, Médico, Ingeniero, Profesor y Contador (Figura 5).

Tabla 3. Información de escolaridad nivel medio y superior del área de estudio.

Entidad Federativa (EF)	Grado de escolaridad EF (años) 2010 ^a / 2016 ^b	Grado de escolaridad AE 2010 ^a (años)	Cobertura de Educación Superior EF 2016 ^b (%)	Número de Presidentes municipales con Licenciatura		
				EF (%) ^c	AE (%) ^d	AE de ^d CE (%)
Cd.Méx.	10.5 / 11.1	10.2	70	0 / 16 (0.0)	0 / 12	0 / 12 (0.0)
Guerrero	7.2 / 7.9	6.2	19	3 / 81 (3.7)	0 / 8	4 / 8 (50.0)
Hidalgo	8.1 / 8.9	8.2	35	0 / 84 (0.0)	0 / 14	4 / 14 (28.6)
Edo. de México	9.1 / 9.6	7.0	27	31 / 125 (24.8)	0 / 60	28 / 60 (46.7)
Michoacán	7.4 / 8.0	6.1	24	1 / 113 (0.9)	0 / 9	5 / 9 (55.6)
Morelos	8.9 / 9.5	7.8	33	0 / 33 (0.0)	0 / 10	3 / 10 (30.0)
Puebla	8.0 / 8.6	6.9	36	1 / 217 (0.5)	0 / 5	0 / 5 (0.0)
Querétaro	8.9 / 9.6	7.3	35	2 / 18 (11.1)	0 / 2	1 / 2 (50.0)
Tlaxcala	8.8 / 9.4	8.4	27	1 / 60 (1.7)	0 / 1	1 / 1 (100.0)

Fuente: ^a[5a],^b[11a],^c[10a],^d(Cedula de entrevista)

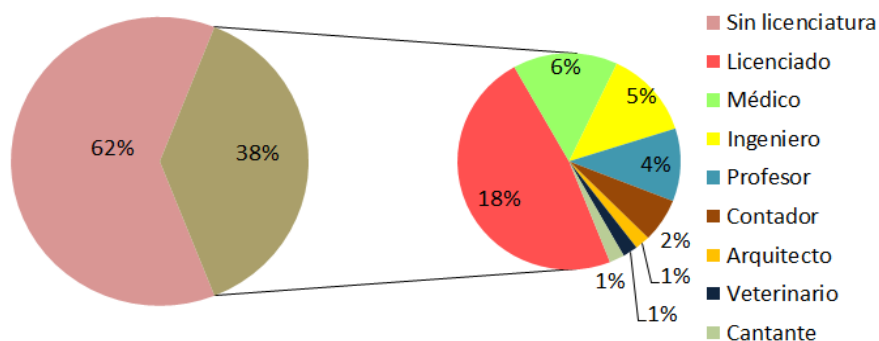


Figura 5. Presidentes municipales sin y con licenciatura

En la figura 6 se muestran que en los municipios con mayor *Densidad de población* presentaron un mayor grado de *Escolaridad*; tal fue el caso para municipios colindantes entre el Estado de México, Puebla e Hidalgo; mientras que los vecinos con Michoacán presentaron el grado más bajo de *Escolaridad* en 2010.

Si bien la información de la tabla 3 y las figuras 5 y 6 muestran el bajo nivel educativo de la población de los municipios del AE que son periféricos en sus estados, también evidencian que se tienen pocos Presidentes municipales con preparación profesional, así como el bajo interés u oportunidad que existe en las municipalidades, para que personas con Educación Superior participen como alcaldes, lo cual es preocupante.

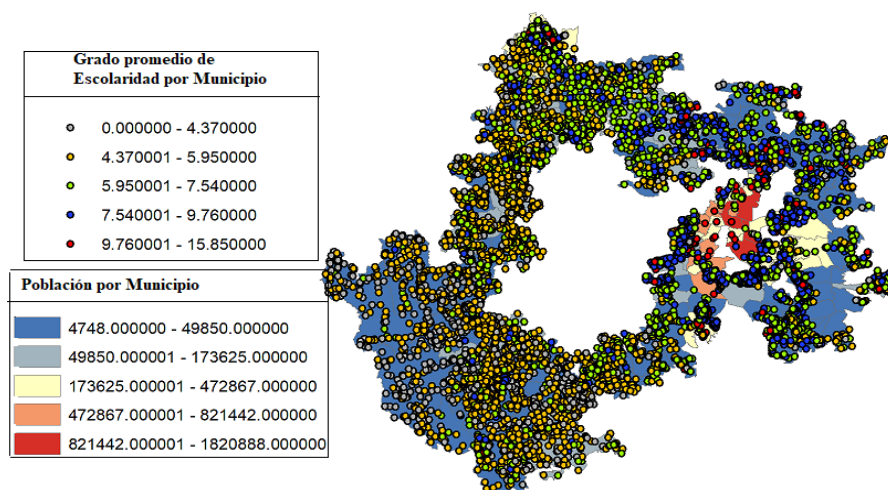


Figura 6. Grado de estudio por Municipios. Fuente:[11].

.3.3. Factores Económicos

En el caso de México las *Actividades Terciarias* presentan las mayores aportaciones al PIB; de las cuales las actividades identificadas como 56 que corresponden a “Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación” y 61 que se refieren a “Servicios educativos”, están relacionadas con el MIRSU. Las Entidades Federativas con un mayor aporte al PIB Nacional en la actividad 56 son Cd.Méx. y Estado de México; y en la actividad 61 son Guerrero y Michoacán (Tabla 4) [17].

Tabla 4. Aportaciones al PIB Nacional en el Área de Estudio

Entidad Federativa	Aportación al PIB Actividades Económicas ^a (%)			PIB Nacional 2016	Actividad Terciaria (56)	Actividad Terciaria (61)
	Primaria	Secundaria	Terciaria			
Cd.Méx.	0.05	10.31	89.64	16.97	9.81	3.31
Guerrero	5.63	18.38	75.99	1.43	1.16	7.27
Hidalgo	4.11	33.30	62.59	1.57	1.19	6.02
Edo. México	1.53	25.93	72.54	8.91	2.33	5.31
Michoacán	13.65	16.85	69.50	2.45	1.36	6.89
Morelos	2.96	32.35	64.69	1.15	1.87	5.36
Puebla	4.09	35.16	60.75	3.36	1.86	5.70
Querétaro	2.39	39.98	57.62	2.33	1.96	3.26
Tlaxcala	3.34	34.43	62.23	0.58	1.49	6.54

Fuente: [17]

En la figura 7 se presentan marcados con puntos negros los municipios del AE, encontrando que los municipios colindantes de Puebla y Tlaxcala con el Estado de México (color rojo) son los que poseen los más altos porcentajes de *Nivel de pobreza extrema*, ésto coincide con el *Ingreso Bruto* de Tlaxcala pero no con el de Puebla.

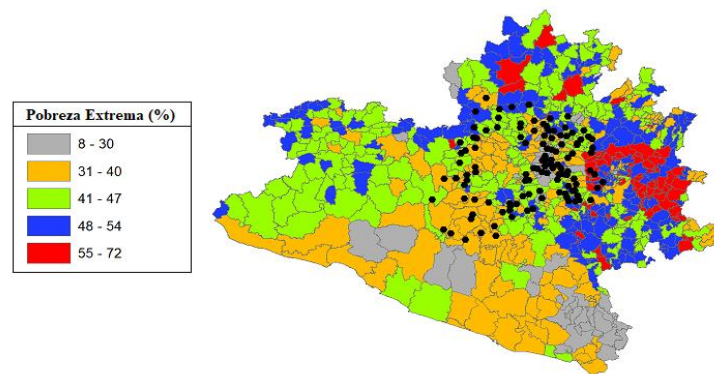


Figura 7. Porcentaje de pobreza extrema en el área de estudio. Fuente: [5].

3.4. Medio Ambiente

La tabla 5 resume resultados de variables ambientales reportadas por INEGI para el 2015 y la variable económica *Ingresos Brutos* para estimar el porcentaje de *Recursos aplicados a Programas*, donde puede observarse cierta relación entre esta variable y los números de *Programas de MIRSU* y *Estudios de generación de RSU*. Destacan el Estado de México con los mayores *Ingresos Brutos* y *Número de Estaciones de Transferencia*, Hidalgo que fue el que más aplicó *Recursos a Programas Ambientales*, Michoacán que elaboró un mayor *Número de Programas* de MIRSU y la Cd.Méx. que llevó a cabo el mayor *Número de Estudios de Generación de RSU* y reportó el mayor *Número de Centros de Acopio*, mientras que Puebla presentó el mayor *Número de Municipios con Cobertura en Servicio de Recolección y Disposición Final* [14], [15].

Tabla 5. Variables ambientales de Entidades Federativas del Área de Estudio en 2015

Entidad Federativa	Ingresos Brutos (Millones de pesos) ^c	Recursos aplicados a Programas (Miles de pesos) ^c	Ingresos Brutos aplicados a Programas (%) ^c	Número de Municipios con				
				Programas de MIRSU ^a	Servicio de recolección y Disposición final ^a	Estaciones de transferencia ^a	Centros de acopio ^a	Estudios de generación de RSU ^a
Cd.Méx. ^b	173,721.60	7,080	0.004	9	16 / 16	12	14	16
Guerrero	55,580.40	500	0.001	11	81 / 81	1	2	1
Hidalgo	46,138.52	47,047	0.102	26	84 / 84	2	8	12
Estado de México	246,144.88	3,249	0.001	23	123 / 125	13	6	2
Michoacán	62,740.72	43,779	0.070	35	113 / 113	2	13	10
Morelos	28,242.23	288	0.001	7	33 / 33	10	4	1
Puebla	84,600.37	4,595	0.005	14	214 / 217	8	5	4
Querétaro	30,788.98	NR	NR	8	18 / 18	3	5	3
Tlaxcala	21,522.59	4,400	0.020	0	60 / 60	0	2	1

Fuente: ^a[14], ^b[16] ^c[17]. NR, No reportado

En la tabla 6 se presenta la generación de los RSU y de manejo especial (se mencionan solo RSU por razones de espacio). Las Entidades Federativas del AE generaron el 43.6% del total nacional (115,350.0 t/día) en el 2012 y la generación de los municipios del AE fue de manera proporcional a su número, exceptuando a los de la Cd.Méx. para los que no se reportó información.

Tabla 6. Variables ambientales de Entidades Federativas y municipios del Área de Estudio

Entidad Federativa (EF)	Generación de RSU en 2012 en EF (t/día) ^a	Generación de RSU en 2012 en AE (t/día) ^a	Sitios de Disposición Final, en EF ^a , RESA / SNC (%)	Sitios de Disposición Final, en AE ^b , RESA / STC / TCA	Estudios Gestión integral de RSU en AE Si / No ^b	Reglamento sobre RSU en AE Si / No ^b
Cd.Méx.	13,560.0	NR	0 / 0 (0.0)	0 / 0 / 2	6 / 6	2 / 10
Guerrero	2,775.0	72.5	2 / 78 (98.8)	0 / 1 / 7	2 / 6	4 / 4
Hidalgo	2,100.0	413.3	7 / 71 (92.9)	6 / 1 / 6	2 / 12	2 / 12
Estado de México	18,625.0	8,921.8	28 / 61 (71.2)	0 / 4 / 20	8 / 52	20 / 40
Michoacán	3,510.0	63.5	7 / 103 (97.3)	2 / 1 / 1	3 / 6	5 / 4
Morelos	1,730.0	492.9	4 / 14 (54.5)	6 / 0 / 2	4 / 6	3 / 7
Puebla	5,190.0	2,168.8	8 / 84 (42.4)	0 / 0 / 0	0 / 5	1 / 4
Querétaro	1,825.0	252.6	9 / 7 (88.9)	2 / 0 / 0	1 / 1	2 / 0
Tlaxcala	930.0	45.0	1 / 3 (6.7)	0 / 0 / 0	0 / 1	0 / 1

Fuente: ^a[14], ^bCédula de Entrevista en 2017.

Los resultados de las Cédulas de Entrevista mostraron que en 2017 solo el 21% de los 121 municipios del AE contaba con *Estudios sobre la Generación de los RSU*, el 32% tenía un *Reglamento para el MIRSU* (Tabla 6), el 19% manejaba una contabilidad separada para el MIRSU y el 44% no tenía un presupuesto asignado para esta área. Con respecto a los *Sitios de disposición final*; Guerrero, Michoacán e Hidalgo presentaron prácticamente un sitio en cada uno de sus municipios, sin embargo solo el 13.6% corresponden a RESA; los municipios del AE que cuentan con RESA son solo Hidalgo, Morelos, Michoacán y Querétaro; y se encontró discrepancia para la Cd.Méx., debido a que de acuerdo con la información de la Cédula de entrevista tiene dos TCA en su territorio.

3.5. Gobernabilidad

La mayor amenaza que enfrenta la *Gobernanza* viene de la corrupción, la violencia y la pobreza, que conlleva el debilitamiento de la transparencia, la seguridad, la participación y las libertades fundamentales. De los datos analizados se verificó que el Partido Revolucionario Institucional (PRI) es el que ha tenido mayor representatividad a nivel municipal. Entidades Federativas como Querétaro, Morelos están por arriba del 80%, y destacan el Estado de México e Hidalgo con un 100% de representación (Figura. 7). En estas últimas elecciones (2016-2017), se observó una tendencia hacia las Coaliciones, ocupando con ellas más del 50% de los cargos municipales; en esta situación se encuentra la Cd.Méx. (Figura 8).

De las nueve Entidades que se analizaron, solo el 25% de los municipios tienen una cuenta de correo oficial y el 93% dispone de una página Web, sin embargo las fechas de actualización varían entre el 2014 al 2017 y solo el 8% fueron actualizadas en 2017.

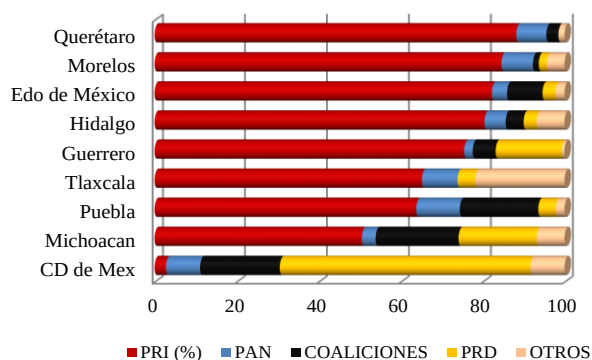


Figura 7. Partidos políticos en municipios por Entidad Federativa.

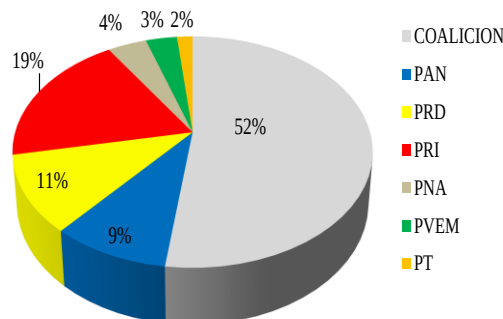


Figura 8. Partidos políticos que gobiernan municipios del AE en último periodo.

4. Conclusiones

El *Grado de escolaridad* de la población entre 2010 y 2016 no superó el nivel Medio Superior; y con excepción de la Cd.Méx. se detectó una relación inversa entre esta variable y el *Número de sitios de disposición final no controlados* en las Entidades Federativas; mientras que el *Número de sitios de disposición final no controlados* tiene una relación directa con el *Grado de pobreza extrema*.

La relación entre los *Recursos aplicados a Programas* y los números de *Programas de MIRSU* y *Estudios de generación de RSU* en las Entidades Federativas del AE, es indicio de que no todos los recursos se aplican realmente para lo que fueron autorizados.

Entre lo reportado oficialmente y lo recabado mediante la Cédula de entrevista, se detectaron diferencias en más de una de las variables sociales, ambientales y económicas; lo que evidencía la necesidad de realizar un mayor número de estudios en campo a nivel municipal, con el fin de contar con información confiable para la implementación de Programas que ayuden a reducir los TCA.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT- CONACYT 2015 con el proyecto 263315. Los autores agradecen a las autoridades de los municipios del Área de Estudio por las facilidades brindadas, a SEMARNAT y CONACYT por el financiamiento y al Instituto Tecnológico de Toluca por todo el apoyo recibido.

Referencias Bibliográficas

- [1] Jaramillo J. (1999). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Secretaria de Salud y Asistencia, SSA.
- [2] SEMARNAT (2017). Información sobre residuos sólidos urbanos. En línea <<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>> Recuperado el 10/01/2017.
- [3] LGPGIR (2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. En línea <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/4140/1/reg_lgpgir.pdf> Recuperado el 26/02/18.
- [4] Aguilar-Virgen Q., Taboada-González P. y Ojeda-Benítez S. (2013). Seasonal analysis of the generation and composition of solid waste: potential use – a case study. Environ Monit Assess. 185, 4633-4645.

- [5] INEGI (2016) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Compendio de Estadísticas. En línea <<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/registros/economicas/finanzas/>> Recuperado el 27/02/18.
- [6] Mañón-Salas. M.C, Hernández-Berriel M. C., De la Rosa-Gómez I., Olay – Romero E. Santana – Rodríguez D. (2017). Decisión Multicriterio; selección de municipios periféricos Norte y Sur del Estado de México con Sitios de Disposición. VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Libro de Actas. Cantabria, España. En línea < <https://redisa.unican.es/doc/actas-simposio.pdf>> Recuperado el 26/02/18.
- [7] Statgraphics Technologies, Inc. (2018) En línea <<https://www.statgraphics.net/>> Recuperado el 16/03/18.
- [8] PostgreSQL (2018). Documentation 10: psql En línea <<https://www.postgresql.org/docs/current/static/app-psql.html>> Recuperado el 16/03/18.
- [9] Esri (2018) ArcMap. En línea <<http://learn.arcgis.com/es/projects/get-started-with-arcmap/>> Recuperado: 16/03/18.
- [10] INEGI (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegaciones 2015. En línea <<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/censosgobierno/municipal/cnqmd/2015/>> Recuperado el 27/02/18.
- [11] ANUIES (2018). Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. <<http://www.anui.es/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>> Recuperado el 26/03/2018.
- [12] SEDESOL (2013). Secretaría de Desarrollo Social. Catálogo de poblaciones. En línea <<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/>> Recuperado el 27/02/18.
- [13] CONAPO (2014). Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la Población 2010 – 2015. En línea <<http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>> Recuperado el 27/02/18.
- [14] INEGI (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Compendio de Estadísticas Ambientales. En línea <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2015/index_2015.html> Recuperado el 27/02/18
- [15] INEGI (2017) Comunicado de prensa Núm. 273/17, Ciudad de México. En línea <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/enh/enh2017_06.pdf> Recuperado el 9/03/2018
- [16] INEGI (2016). Encuesta Nacional de los hogares 2015 En línea <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2016/especiales/especiales2016_06_05.pdf> Recuperado el 19/03/2018
- [17] INEGI (2018). PIB y cuentas Nacionales. En línea <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/ee/default.aspx>> Recuperado el 19/03/2018.

Separación de residuos y participación ciudadana. El caso del Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos Ayuquila Llanos

¹Zeida Igna Contreras Villalpando, ²Gerardo Bernache Pérez, y ³Rodrigo Hernández Juárez

¹COZCA Consultores, Mutualismo 117-C, Colonia Los Arquitos, Autlán de Navarro, Jalisco. México 48900

Correo electrónico: zeidamba@gmail.com tel: 33-1246-9838

²CIESAS Occidente, Ave. España 1359, Col. Moderna, Guadalajara, Jal. México 44190

³ COZCA Consultores, Mutualismo 117-C, Colonia Los Arquitos, Autlán de Navarro, Jalisco. México 48900

Resumen

Este trabajo se desarrolló en cinco municipios que se ubican en la zona suroeste del estado de Jalisco. Estas municipalidades forman parte de la asociación municipal Junta Intermunicipal del Río Ayuquila y están organizados en el Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos Ayuquila Llanos. Los objetivos de este trabajo fueron tres. Primero, realizar un diagnóstico del manejo de los residuos en los hogares a partir de una encuesta con 1,371 casos en siete localidades. Segundo, desarrollar acciones de educación ambiental como son visitas domiciliarias, charlas escolares, y pinta de mensajes en bardas. Tercero, promover el compostaje de residuos orgánicos que el principal tipo de residuos que se generan en la zona. Este trabajo se realizó como un servicio profesional, durante el último cuatrimestre de 2017 y el primer cuatrimestre de 2018, a partir de una Convocatoria de la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila para fortalecer su Programa de Educación para la Sustentabilidad. En la encuesta se obtiene que los habitantes reportan una buena disposición para participar en la separación de residuos (73%). Respecto a las actividades de educación ambiental, los resultados indican que los habitantes reaccionan bien a la comunicación y la educación oportunas y que éstas deben ser constantes para poder mantener un buen nivel de participación. Se impartieron 19 talleres de lombrí composta a diferentes grupos, lo cual fue muy bien recibido por los participantes.

Palabras Clave: *compostaje, educación ambiental, gestión intermunicipal, residuos sólidos urbanos.*

1. Introducción

El manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU) es un reto para los ayuntamientos, en particular para aquellos que tienen poco presupuesto y personal, ya que las tareas de recolección, transporte y disposición final no pueden realizarse de manera adecuada. Más aún la educación ambiental para la gestión integral de los RSU y su valorización quedan relegadas a un plano secundario. En Jalisco han surgido y se han desarrollado las Juntas Intermunicipales de Medio Ambiente que son instancias que “*brindan apoyo técnico a los municipios para la elaboración, gestión e implementación de los proyectos y programas de medio ambiente*” [1]. Son ocho las juntas o asociaciones intermunicipales.

1. Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (AIPROMADES).
2. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Altos Sur (JIAS).
3. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente de la Costa Sur (JICOSUR).
4. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Media del Río Ayuquila (JIRA).
5. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Coahuayana (JIRCO).
6. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente de Sierra Occidental y Costa (JISOC).

7. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Región Valles (JIMAV).
8. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Región Norte (JINOR).

El asociacionismo intermunicipal estado de Jalisco surgió en la región de la costa sur, en los municipios del Grullo y Autlán, a partir de una serie de problemas en sitios de disposición final que se vieron afectados por inundaciones del Río Ayuquila a principios de 1995. Grupos de académicos y ambientalistas de la zona propusieron organizar a los 10 municipios de la región para manejar mejor sus residuos, en particular la disposición final, con el fin de evitar desastres ambientales como el experimentado por el arrastre de cientos de toneladas de basura por la crecida del río.

Los diez municipios que conforman la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila (JIRA) cuentan con una población de unos 150 mil habitantes y generaban casi 130 toneladas diarias de RSU [2]. La Tabla 1, a continuación, presenta la producción por cada uno de los municipios.

Tabla 1. Producción de Residuos Municipales [2]

<i>Municipios</i>	<i>Residuos Sólidos (kg)</i>
Unión de Tula	16,000
Ejutla	1,130
Autlán de Navarro	56,000
El Grullo	20,080
El Limón	8,800
Tuxcacuesco	1,400
Tonaya	4,500
San Gabriel	13,000
Tolimán	6,000
Zapotitlán de Vadillo	3,000
Subtotal	129,910

La JIRA tiene dos niveles de operación, por una parte establece los lineamientos generales, las políticas públicas y programas ambientales de la región. Por otra parte, apoya a los municipios con organismos operadores del manejo de residuos denominados Sistemas Intermunicipales de Manejo de Residuos (SIMARs) que se involucran en la gestión de recursos, desarrollo de infraestructura y mejora del servicio de aseo público en los municipios.

La creación de organismos intermunicipales como los SIMAR han contribuido considerablemente a la mejora de los sistemas de gestión de residuos, sin embargo, esto no ha sido suficiente, volviendo necesaria la implementación de estrategias participativas para encontrar soluciones a largo plazo, la instauración de mecanismos de cobro por el sistema de recolección de residuos y de sanciones para fomentar las buenas prácticas entre la población.

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) de Jalisco, los SIMARs son Organismos Públicos Descentralizados que:

fueron diseñados como modelos intermunicipales que operan el servicio público de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos de los municipios que los conforman, acompañados de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco, en la gestión de sus recursos federales, para lograr el desarrollo integral del territorio de

su competencia. Obedeciendo al precepto legal artículo 115 constitucional, que permite la asociación de los municipios para el tema de residuos. [1].

Actualmente operan seis SIMARs en la zona sur y occidente del estado de Jalisco, a saber: 1) Ayuquila Llanos; 2) Ayuquila Valles; 3) Lagunas; 4) Sierra Sur; 5) Sur Sureste; y 6) Sureste.

En materia de gobernanza ambiental a nivel municipal, el Estado de Jalisco ha alentado la formación de Juntas Intermunicipales de Medio Ambiente (JIMA) y de Sistemas Intermunicipales de Manejo de Residuos (SIMAR). Esto con la intención de fortalecer las capacidades operativas y de gestión en aquellos municipios que por sí solos difícilmente pueden lograr un manejo adecuado de su territorio en materia ambiental.

La producción de RSU en los municipios del estado de Jalisco se reporta como 984 gramos por persona diarios, mientras que en el conjunto de 10 municipios que conforman la JIRA, la producción promedio por habitante se ubica en 866 gramos por día.

Los municipios con una población mayor a 30 mil habitantes suelen tener una problemática más aguda en relación al manejo de residuos, su producción diaria se encuentra en el rango de las 26 toneladas de residuos que deben recolectar, transportar y disponer de acuerdo a la normatividad ambiental vigente.

El servicio público municipal sigue siendo gratuito en la mayoría de los casos, lo cual no permite contar con un presupuesto anual suficiente para realizar un proceso de calidad y con respeto a los ecosistemas locales. Un municipio que brinde un servicio eficiente debe contar con una infraestructura, vehículos, personal, presupuesto operativo y un sitio adecuado para disposición final.

En principio la responsabilidad de los municipios está en el manejo de los RSU, sin embargo, en la actualidad la generación de residuos a nivel local incluye Residuos de Manejo Especial, Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, Residuos de Medicamentos y Fármacos, así como Residuos de Envases de Agroquímicos. Estos diversos tipos no son responsabilidad de los ayuntamientos, pero no tienen otra alternativa que enfrentar, como puedan, su manejo ya que las autoridades estatales y federales no cuentan con personal operativo propiamente para el manejo de residuos de su competencia.

Los ayuntamientos enfrentan actualmente varias problemáticas relacionadas con los residuos: producción en grandes cantidades de RSU, un presupuesto insuficiente, proliferación de otros tipos de residuos especiales y contaminantes, poca valorización y aprovechamiento de los materiales, disposición final que no cumple con la normatividad ambiental, y vectores de contaminación con impacto en ecosistemas locales.

En este estudio se realizó trabajo de campo en la zona de influencia de la JIRA, en particular en los cinco municipios que conforman del Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos (SIMAR) Ayuquila-Llano [4]. El propósito fue realizar un diagnóstico de gestión de residuos y participación ciudadana en la separación de residuos orgánicos y fortalecer el programa de gestión de RSU en cinco cabeceras municipales y dos localidades del SIMAR Ayuquila-Llano. El Programa de Recolección Traslado y Tratamiento de Orgánicos (ReTTO) es impulsado por la JIRA y se enfoca en que las familias separen los residuos orgánicos y los entreguen separados en la recolección con el fin de valorizarlos en la producción de composta y el reciclaje de aluminio, cartón y envases plásticos de PET.

El fortalecimiento de la participación social se impulsó con actividades de educación ambiental y con capacitación para el manejo del componente orgánico de los residuos para producir composta (lombricomposta) a partir del uso de lombriz roja de California.

2. Metodología

La estrategia de investigación-intervención se conforma de cinco actividades: aplicar una encuesta para el diagnóstico; pláticas informativas a familias; charlas escolares; pintura de bardas; y capacitación para producir lombricomposta.

Se empezó con el diseño y se administró una encuesta a familias sobre sus patrones de producción de residuos, su manejo dentro de la vivienda, sus hábitos de separación, su cultura ambiental en materia de residuos y la participación en el programa de recolección separada. Se realizó un diagnóstico del manejo de los residuos en los hogares a partir de una encuesta con 1,371 casos en cinco municipios. Se enfocó principalmente a las familias residentes de las cabeceras municipales y, en dos casos, se incluyeron localidades relevantes de municipios de Zapotitlán y Toluimán.

Dado que fue un servicio profesional para la JIRA, ésta junto con los departamentos de ecología de los municipios, definieron los criterios para la distribución de las encuestas en los barrios, colonias y localidades que pudieran ser más representativas de la generación de RSU y su participación baja en el programa de recolección separada. La Tabla 2 muestra el número de viviendas habitadas según el último reporte oficial del INEGI en el 2015 [3], en otra columna se presenta el número de encuestas que se realizaron en cada municipio.

Tabla 2. Municipios en la región Ayuquila-Llanos de Jalisco

Municipios y localidades	Viviendas	Encuestas
San Gabriel	4,220	404
Zapotitlán y San José del Carmen	1,792	308
Toluimán y Copala	2,559	322
Tuxcacuesco	1,129	137
Tonaya	1,702	220
TOTAL	11,402	1,371

Como parte de la intervención para promover la participación ciudadana en el programa municipal de recolección separada de orgánicos del programa ReTTO, el equipo de trabajo realizó pláticas breves en los hogares con las mismas 1,371 familias que participaron en la encuesta. También se impartieron 48 charlas escolares sobre el manejo y reciclaje de sus RSU en escuelas públicas de educación básica (pre escolar, primaria, secundaria y bachillerato). Y se realizó la promoción del programa municipal ReTTO, mediante la pintura de bardas en sitios públicos con mayor afluencia de personas.

Otra parte de la intervención se centró en la capacitación de grupos de personas para el manejo de residuos sólidos orgánicos del hogar. A partir de la separación de los residuos orgánicos y obtención de composta, mediante el uso de una lombricomposta casera, de fácil manejo y elaboración. Que pueda ser utilizada para el manejo de la fracción orgánica de los residuos de las viviendas. Se realizaron 19 talleres en los cinco municipios, se instruyó a las personas interesadas en los conceptos, técnicas y procesos de la lombricomposta, se les entregó un manual para construir una lombricompostera casera y un pie de cría de lombriz roja de California (*Eisenia foetida foetida*).

3. Resultados y discusión

En primer lugar, presentaremos los resultados de la encuesta. Respecto al programa municipal de recolección separada de residuos, un total de 76% de los respondientes afirmaron conocer el programa, aunque ninguno de los encuestados pudo identificar el nombre del programa (ReTTO).

El 73% de las personas respondió que realiza una separación de residuos en su hogar, así mismo reportó que el principal tipo de residuos que generan son orgánicos (38%). En segundo lugar, reportan los residuos plásticos con un 31%.

Tres de cada cuatro personas encuestadas pudieron identificar los días de la semana asignados para la recolección de cada tipo de residuos (orgánico, inorgánico y sanitario). Aunque la mitad de las personas tuvo dificultad para identificar los tipos de residuos englobados en la categoría de sanitarios (49%).

Por otra parte, el 46% de las personas encuestadas señaló que el principal beneficio de la separación de residuos es la reducción de la contaminación. Mientras que el 35% hizo referencia al beneficio de tener su pueblo o su ciudad limpia. Las mujeres son el miembro del hogar que más realiza la separación de residuos en el hogar. Más de la mitad de las personas manifestaron estar dispuestas a continuar participando en otros programas o proyectos ambientales (52%) que se promuevan en su municipio.

En general las respuestas de las personas encuestadas apuntan a un muy buen nivel de participación y de conciencia ambiental. Aunque en la práctica, la participación real en los programas es menor a la reportada en la encuesta, por lo que se requiere que la JIRA y los funcionarios municipales mantengan una buena campaña de comunicación y motivación para participar en los programas. Se tiene cierta confusión en el rubro de residuos sanitarios, ya que las personas encuestadas manifestaron que no les quedaba claro qué era y qué no era sanitario. También algunas personas reportaron que vecinos se esperan hasta el sábado para tirar toda su basura mezclada, ya que en este día se recolecta todo tipo de residuos. De esta manera se cuenta con una opción para no participar en la recolección separada que se realiza de lunes a viernes.

En lo que respecta a las actividades de promoción de la cultura y educación ambiental, la principal actividad fue la Plática Informativa que se realizó con las 1,371 familias que participaron en la encuesta, el principal objetivo fue aclarar dudas y reforzar la información respecto al programa, su operación y sus beneficios ambientales. La plática empezaba con la definición de basura y de residuos sólidos para diferenciar el desperdicio de la basura y contrastar con los residuos que son materiales aprovechables; además de la problemática ambiental que se genera por una inadecuada gestión de los RSU. También se presentó en mayor detalle el programa ReTTO y la recolección separada, la valorización de residuos que realiza el ayuntamiento con los materiales separados y el beneficio ambiental que resulta de la separación de residuos.

Se realizaron Charlas Escolares con el tema de educación ambiental centrada en la gestión integral de residuos sólidos. Las escuelas seleccionadas fueron de educación básica (jardín de niños, primaria, secundaria y preparatoria). Un total de 48 escuelas, con unos 2,500 alumnos y más de 100 profesores participaron en esta actividad. La Tabla 3 presenta la distribución de escuelas por municipio.

Tabla 3. Charlas de educación ambiental en escuelas públicas

Municipio	Número de charlas
San Gabriel	10
Zapotitlán de Vadillo	13
Tolimán	8
Tuxcacuesco	7
Tonaya	10
TOTAL	48

Las Charlas se enfocaron a concientizar a los alumnos de la producción de basura, del consumismo y de los problemas de contaminación asociados con la disposición de basura. También se les presentó un resumen de la Norma Ambiental Estatal NAE-SEMADES-007/2008 que establece la obligatoriedad de separar los residuos sólidos urbanos en el estado de Jalisco.

Para facilitar la identificación de los tres tipos de residuos que se recolectan separados en el programa ReTTO, se realizó una actividad con los estudiantes. Se colocó un conjunto de residuos del hogar limpios en el piso y se les pidió a los estudiantes pasar a elegir un residuo y colocarlo en uno de los tres contenedores para residuos orgánicos, inorgánicos y sanitarios. Esta dinámica de grupo ayudó a aclarar dudas sobre la clasificación de los residuos y les da seguridad a los estudiantes para participar en la separación de residuos en sus casas. Al menos la mitad de los planteles escolares tiene sus contenedores de residuos para realizar

la separación en la escuela. Aunque la mayoría de los profesores no manifiestan una participación activa en el fomento de la separación de los residuos.

Como actividad de difusión del programa ReTTO, se pintaron cuatro grandes bardas en espacios públicos con mensajes alusivos a la promoción del programa municipal y los beneficios ambientales de la separación de residuos sólidos. Estos espacios fueron otorgados por cuatro de los cinco ayuntamientos participantes. Se espera que estos mensajes, ubicados en áreas centrales donde tienen una gran visibilidad para la población local, sirvan para mantener informada a la población y motivarla para participar en el programa de separación ReTTO.

Por último, se llevaron a cabo 19 talleres de capacitación en la técnica de lombricomposteo en hogares para los cinco municipios, la Tabla 4 presenta el número de talleres por localidad. Esto es particularmente importante ya que se estima que la producción de residuos orgánicos en esta región está entre el 60% y 70% del total de los residuos sólidos urbanos.

Tabla 4. Talleres de lombricomposteo para valorizar residuos orgánicos

Municipio	Número de talleres
San Gabriel	3
Zapotitlán de Vadillo	4
Tolimán	2
Tuxcacuesco	5
Tonaya	5
TOTAL	19

Estos talleres tuvieron una alta participación de estudiantes y miembros de la comunidad. En el taller se instruyó a los participantes en el proceso de la elaboración de una lombricompostera casera con materiales reciclados y la técnica de producir lombricomposta a partir de una carga de residuos orgánicos y la actividad de la lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida foetida*). Se enseñó la forma de criar y dar mantenimiento a las lombrices, y el aprovechamiento de los productos obtenidos como el humus de lombriz y sus lixiviados. A los participantes se les entregó un manual para que pudieran consultar detalles del proceso para producir la lombricomposta. En una escuela secundaria del municipio de San Gabriel, el Director se interesó mucho y considera incluir este taller como una asignatura opcional para los alumnos, además propuso construir una compostera en las instalaciones de la escuela.

4. Conclusiones

Los resultados de esta investigación nos indican que la educación ambiental y la promoción de la participación ciudadana en programas como los de Recolección, Traslado, Tratamiento de Orgánicos (ReTTO) deben ser actividades permanentes, de otra forma la participación tiende a disminuir paulatinamente.

Por lo tanto, una conclusión es que los esfuerzos de educación ambiental y promoción del manejo sustentable de los RSU en los municipios del SIMAR Ayquila-Llano deben continuarse y fortalecerse. Se aprecia que los ciudadanos tienen un interés en continuar participando programas de separación de RSU y en la valorización del componente orgánico.

El programa ReTTO no tiene un componente de supervisión y seguimiento a la participación de los hogares, por lo que no se corrige o se trabaja con los hogares que no participan en los programas de separación y que tienen conductas inadecuadas en la disposición de sus residuos. La supervisión y el seguimiento del

cumplimiento de la separación y la realización de la adecuada separación son un componente muy importante para mantener y consolidar el programa ReTTO.

El contacto y la comunicación de los investigadores con el personal encargado de la recolección, transportación y traslado de los RSU nos indicó que el personal no tiene la capacitación adecuada para cumplir cabalmente con su parte del programa de separación. Por lo que es importante mantener un programa de supervisión y capacitación al personal, supervisión para identificar puntos débiles en el desempeño del personal y capacitación para darles información pertinente y fortalecer su desempeño adecuado.

El uso de camiones que no cuentan con compartimentos bien diferenciados es algo que señalan los ciudadanos, muchos mencionaron que sería mejor tener contenedores específicos para cada tipo de residuos y poder disponer de sus residuos de una forma más ágil durante el curso de la recolección semanal.

Las autoridades municipales refieren que el sistema de manejo de los RSU podría mejorar si tuvieran un presupuesto más adecuado para el servicio, por lo que proponen la instauración de mecanismos de cobro por el sistema de recolección de residuos para poder mejorar el servicio y las condiciones del personal de limpia municipal.

Por último, es importante impulsar la participación de actores sociales que tienen liderazgo en la comunidad para consolidar el programa de separación. Se recomienda que la JIRA y los municipios desarrollen actividades de sensibilización para promover la participación activa de funcionarios municipales, profesores, párrocos y líderes sociales que ayuden a difundir y fomentar de manera continua el programa de separación de residuos y el proyecto de producción de composta con el uso de lombrices rojas californianas.

Agradecimientos

Se agradece a la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila (JIRA) el apoyo para realizar la investigación y la intervención en educación y capacitación ambiental. También se reconoce que este trabajo fue realizado por COZCA Consultores y su equipo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (2018) “Juntas Intermunicipales”. Consultado en Internet el 10 de febrero de 2018. <https://semadet.jalisco.gob.mx/gobernanza-ambiental/juntas-intermunicipales>
- [2] JIRA (Junta Intermunicipal del Río Ayuquila), 2010. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión de la Cuenca Baja del Río Ayuquila. Consultado en internet en la página: <http://jira.org.mx/index.php#>. 4 diciembre 2010
- [3] INEGI (2015) *Panorama sociodemográfico de Jalisco 2015. Encuesta intercensal 2015*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Consultado en internet. 12 de mayo 2018. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/panorama/702825082239.pdf
- [4] Contreras Villalpando, Z. I., Hernández Juárez, R., Tobar, A., y Vázquez, A. (2018) “Acciones para el Fortalecimiento del programa de Separación de Residuos Sólidos en los municipios que conforman la JIRA en su Región Llano. Informe Final”. Manuscrito no publicado. Cozca Consultores. Autlán.
- [5] SEMADET (2017) Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Jalisco. Secretaria del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. Gobierno del Estado de Jalisco. Guadalajara.
- [6] JIRA (Junta Intermunicipal del Río Ayuquila) (2011) *La separación de residuos sólidos en mi municipio*. Editorial Arlequín, Guadalajara.

SECCION 8

TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

Degradación de biosólidos mediante compostaje acelerado, considerando diferentes tasas de aireación y agentes de carga

¹Jesús Guadalupe Mendoza Delgado*, ¹Isaías de la Rosa Gómez, ¹María del Consuelo Mañón Salas,
¹María del Carmen Carreño de León, ¹María del Consuelo Hernández Berriel, ¹Beatriz Juárez Robles

¹ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Toluca, Avenida Tecnológico S/N, Colonia Agrícola Bella Vista, C.P. 52149 Metepec, Estado de México, 01 722 208 7200, extensión (3630).

Correo electrónico: * jmendozad@toluca.tecnm.mx

Resumen

Se evaluó la degradación de biosólidos de una planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de origen municipal. Considerando diferentes tasas de arcilla y frecuencia de aireación con el fin de lograr un compost que sirva como mejorador de suelos, obteniendo una relación Carbono/Nitrógeno (C/N) entre 8 a 14. Se prepararon cinco pilas estáticas de 100 kg por duplicado, usando 8% de lama y las siguientes proporciones de biosólido y arcilla respectivamente 62 y 30% (P1), 67 y 25% (P2), 72 y 20% (P3), 77 y 15% (P4) y 82 y 10% (P5), la frecuencia de aireación utilizada fue cada 48 horas. De las tasas evaluadas, la mejor prueba fue la P4. Considerando esta prueba, se prepararon tres pilas (P6, P7 y P8) de 100 kg cada una con 77% de biosólido, 15% de arcilla y 8% de lama, utilizando una frecuencia de aireación de 24, 48 y 72 horas. Las mejores condiciones de calidad y de proceso se observaron en la P7, con una relación C/N entre 7 y 18 y un tiempo de compostaje de 13 días. El compost obtenido de ambas pruebas se encuentra catalogado como excelente de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 y se alcanzaron temperaturas arriba de 55°C, adecuadas para la eliminación de microorganismos patógenos de acuerdo a la NTEA-006-RS-2006.

Palabras Clave: *Arcilla, Biosólidos, PTAR, RSO*

1. Introducción

El desarrollo de las naciones produce el fenómeno del urbanismo, trayendo consigo problemas tan grandes como la generación continua y progresiva de todo tipo de residuos, sólidos, líquidos y gaseosos. La producción de biosólidos a partir del tratamiento de aguas residuales no es nueva en el mundo, ofreciendo opciones comerciales a partir de su transformación en fertilizantes agrícolas [1].

La producción de biosólidos de aguas residuales municipales se estima en 640 millones de toneladas al año en base seca [2]. Se espera que esta cantidad se incremente en los próximos años por el crecimiento poblacional. Para procesar tecnológicamente el agua residual, existe un programa que tiene por objetivo la construcción de grandes plantas de tratamiento, siendo la principal de ellas la implementación de esta en la Ciudad de México, actualmente en una fase avanzada de construcción, esperando un incremento en la generación de biosólidos [3].

Durante el año 2014, operaron en el país 2,337 plantas, las cuales procesaron 111.3 m³/s, es decir el 52.8% de los 211.0 m³/s recolectados a través de los sistemas de alcantarillado. En el año 2014, la industria trató 65.6 m³/s de aguas residuales, en 2,639 plantas en operación a nivel nacional. En el Estado de México se cuenta con 226 plantas en operación de las cuales tienen la capacidad de tratar 2.79 m³/s [4].

El compostaje es un método eficiente en la valorización de biosólidos ya que permite su aprovechamiento, el cual tienen un impacto positivo en la conservación de los ecosistemas terrestres [5].

2. Metodología

El estudio se realizó en la planta piloto de compostaje y en el Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) del Instituto Tecnológico de Toluca.

2.1 Acondicionamiento de biosólidos, arcilla y lama

Los biosólidos se obtuvieron de una PTAR de origen municipal, ubicada en el valle de Toluca, encontrándose completamente oxidados, de aspecto semisólido y de color negro, con 80 % de humedad. Los pasos para su acondicionamiento fueron:

a) Deshidratación: Este proceso se realizó térmicamente por medio de radiación solar colocando una capa de aproximadamente 2 cm de espesor sobre una película de polietileno de color negro, aireando manualmente con una frecuencia de cada 24 horas hasta obtener una humedad en base húmeda (Hbh) de $35\% \pm 5\%$ y un material amorfo aglomerado.

b) Triturado y cribado. Se utilizó un molino de martillos marca Ingar para reducir el tamaño de partícula, a 2 mm de diámetro utilizando una malla integrada al molino.

La arcilla fue obtenida de minas localizada en el municipio de Calimaya, Estado de México, se realizó una separación del material mediante una criba malla 2.0, eliminando impurezas como piedras, plásticos, terrones y vidrios, y obteniendo uniformidad en el tamaño de grano.

La lama utilizada fue de origen equino; se eliminó manualmente material extraño de gran tamaño como piedras, plásticos, entre otros. Se le realizaron análisis de calidad determinando materia orgánica (MO), carbono orgánico total (COT), nitrógeno (N), relación C/N, humedad y pH, con el objeto de conocer el aporte en dichos componentes al proceso.

2.2. Proceso de compostaje

- a) Preparación de pilas: Se planteó estudiar el proceso de degradación acelerada para las pilas con la composición de la Tabla 1.

Tabla 1. Proporción de la composición de las pruebas

Prueba	Biosólido	Arcilla	Lama
P1	62%	30%	8%
P2	67%	25%	8%
P3	72%	20%	8%
P4	77%	15%	8%
P5	82%	10%	8%

- b) Aireación y humidificación: La aireación y la humidificación se realizaron de forma manual, con una frecuencia de cada 48 horas; para la humidificación se aplicó agua uniformemente hasta eliminar desprendimiento de polvos y obtener una humedad del $40\pm 5\%$.

- c) Control y seguimiento del proceso: Con el fin de monitorear y controlar el proceso se realizó la medición diaria de las variables: temperatura, pH y humedad. La temperatura se midió *in situ* en nueve punto equidistantes, utilizando un termómetro digital, se consideraron las medias aritméticas de los valores registrados para graficar los perfiles de temperatura. Para las determinaciones de humedad y pH, a todas las pilas se les tomaron muestras compuesta de acuerdo a las NOM-004-SEMARNAT-2002 y la NTEA-006-SMA-RS-2006 [8], [9].
- d) Análisis de calidad: El proceso de compostaje finalizó cuando las temperaturas de las pilas llegaron a valores cercanos a la temperatura ambiente o menor a 25°C de forma constante y el valor del pH se encontró entre valores de 7 y 8. Con el fin de evaluar la calidad de la composta se efectuaron determinaciones analíticas conforme a la normatividad mexicana, con la metodología mencionada en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Variables de respuesta fisicoquímica en el proceso

Variable	Unidad	Método de Medición	Normatividad
Fisicoquímicos			N/A
Humedad	% Hbh	Termogravimétrico (Analizador electrónico)	NMX-AA-007-SCFI-2013 Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba
pH	---	En solución acuosa	NMX-FF-109-SCF-2008 Lombricomposta. Especificaciones y método de prueba.
MO. COT	%	Método Walkley y Black modificado	NMX-AA-'21-SEMARNAT-2000 Especificación de suelo, estudio, muestreo y análisis.
NTK	%	Digestión-destilación de Kjeldhal	NMX-FF-109-SCF-2008 Lombricomposta. Especificaciones y método de prueba.
Relación C/N	----	NA Cálculo matemático	NMX-AA-067-1985. Determinación de la relación C/N
Fósforo, Potasio y Sodio	%	Espectrofotometría de absorción atómica	NTEA-006-SMA-RS-2006 Que establece los requisitos para la mejora del suelo elaborados a partir de residuos orgánicos.
Metales pesados: Pb, Cd y Cr	mg/kg en bs	Absorción atómica	
Microbiológicos			
Coliformes fecales	UFC/g	Filtración por membrana	NOM-006-SMA-RS-2006. Que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelo elaborados a partir de residuos orgánicos NTEA-006-SMA-RS-2006
Huevos helminto	HH/g bs	Bailenger modificado	

Fuente: [10], [11], [12], [9]

3. Resultados

Se observaron los cambios que presentaron las pilas de compostaje, como es el color, olor, tamaño y textura; se monitorearon las variables de control de proceso (% humedad, temperatura, pH) y finalmente mediante la realización de los análisis de calidad (relación C/N, COT, NTK, P, K, Ca, Cu, Zn, Cd, Pb y Ni) se observó la estabilidad del producto final así como la concordancia y el cumplimiento con la normatividad mexicana vigente.

3.1. Preparación de biosólidos, arcilla y lama

Los biosólidos secos presentaron una forma amorfa; después del triturado y cribado se obtuvo un granulado y polvos. Se llevó a cabo la toma de muestras compuestas tomadas en base a la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos, para conocer su calidad. En la Tabla 4, se presentan los análisis practicados a los biosólidos.

Tabla 4. Análisis fisicoquímicos y biológicos de biosólidos

Parámetro	MO (%)	COT (%)	N (%)	C/N (%)	K/Na (%)	Humedad (%)	pH	Microbiología	
								CF	HH
Biosólidos	20.38	11.82	1.99	5.91	5.0	10±3	7.8	930 (UFC/ mL)	<1(NHH/g)

Los resultados microbiológicos de biosólidos, de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002 se encuentran catalogados como clase A y como excelentes (para usos urbanos con contacto directo con el público durante su aplicación, usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas). En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis de metales pesados. Como se observa en la Tabla, conforme al comparativo de estos parámetros con los resultados de los análisis del biosólido se encuentra catalogado como un lodo excelente.

Tabla 5. Concentración inicial de metales pesados en biosólidos

PARÁMETRO	RESULTADO mg/kg	LÍMITE MÁXIMOS PERMISIBLES NOM-004-SEMARNAT-2002 mg/ kg	
		EXCELENTE	BUENO
Cadmio	< 0.05	39	85
Cromo	< 0.05	1 200	3 000
Cobre	65.09	1 500	4 300
Plomo	< 0.1	300	840
Mercurio	< 0.001	17	57
Níquel	9.29	420	420
Zinc	297.06	2 800	7 500

3.2. Proceso de compostaje

En las Figura 1 se muestran los perfiles de temperatura del ensayo E1, reportando los promedios de las réplicas de cada proporción, para estas pruebas se utilizó una frecuencia de aireación cada 48 horas.

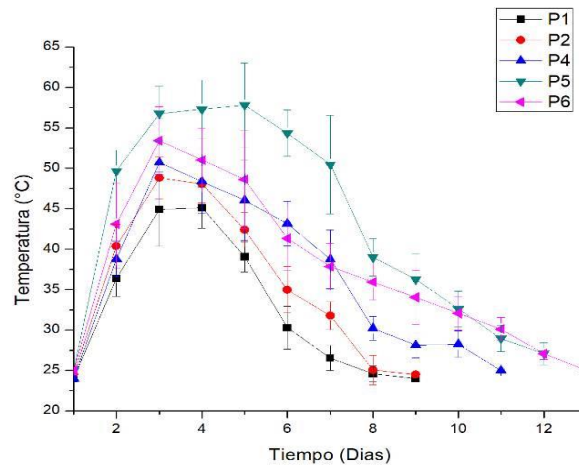


Figura 1. Perfiles de temperatura prueba E1

Como se muestra en la Figura 1, las pruebas alcanzaron temperaturas por encima de los 45°C en todos los casos. La prueba P1 registró una temperatura máxima 45°C durante dos días en la fase termofílica; la prueba P2 alcanzó una temperatura máxima de 48.7°C, manteniendo temperaturas mayores a 45°C durante dos días con una media de 48.4°C en la fase termofílica; la prueba P3 durante dos días mantuvo valores superiores a 45°C, con una temperatura máxima de 50.7°C, en la fase termofílica, con una media de 48.3°C. La prueba P4 alcanzó temperaturas mayores a 55°C durante tres días con una media de 57.3°C y a temperaturas mayores a 45°C durante seis días, estando de acuerdo a los indicado en la NTEA-006-SMA-RS-2006 la cual especifica temperaturas mayores a 45°C durante 12 días consecutivos ó bien temperaturas mayores a 55°C durante tres días consecutivos; esta prueba presentó las mejores condiciones de proceso. Para el caso de la prueba P5 se mantuvo en temperaturas mayores a 45°C durante tres días, alcanzando dos días de temperaturas superiores a 50°C con una media de 52.2 °C y temperaturas termofílicas de tres días con una media de 51°C.

La Figura 2 muestra que los valores de pH tienden a estar entre 6.0 y 7.6 al inicio, posteriormente después de tres días, los niveles de pH se elevan hasta valores de 8.0 como consecuencia de la actividad microbiana [13] [14], permaneciendo en estos valores durante la fase termófila, en esta etapa los valores más altos de pH fueron de 7.8 a 8.0. A partir del día 7, el pH descendió en las pilas P1, P2 y P5 a valores de 6.8; en general las pilas al finalizar el proceso de compostaje se encontraron dentro de los rangos de neutralidad.

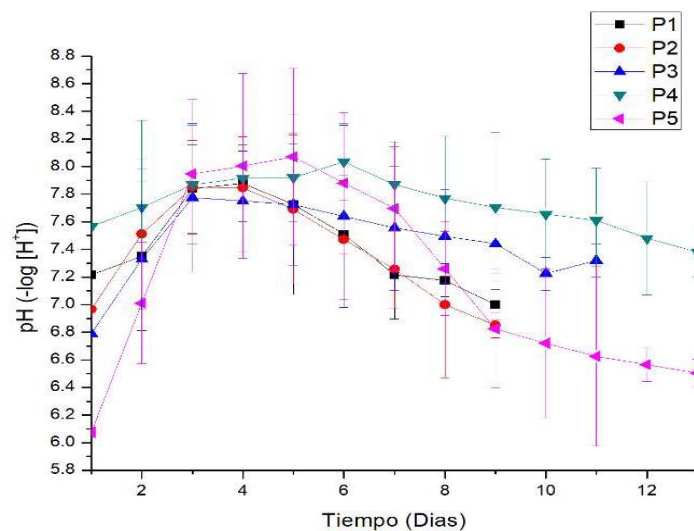


Figura 2. Perfiles de pH prueba E1

Con las observaciones de las pruebas de perfiles de temperatura y pH se considera que la prueba P4 que tiene una composición de 77% biosólidos, 15% arcilla y 8 % lama, presenta las mejores condiciones de proceso para la degradación del biosólido.

La Figura 3 muestra los perfiles de temperatura que presentaron las pilas considerando la variación de la frecuencia de aireación; cada 24, 48 y 72 horas

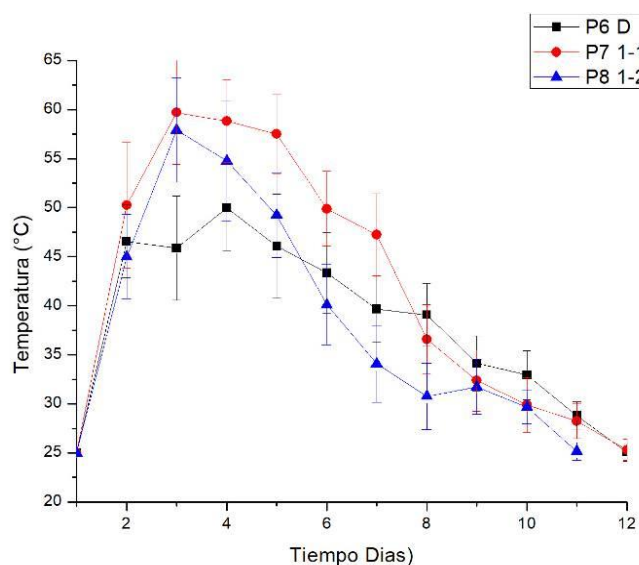


Figura 3. Perfiles de temperatura prueba E2

Las pilas de la prueba P6 presentaron temperaturas mayores a 45°C durante 3 días y una temperatura máxima de 49.9°C en el cuarto día y finalizando el proceso de compostaje en 12 días. Para la pila P7 registró una temperatura máxima de 59.5°C al tercer día y seis días en la fase termófila con una media de 53.9°C, para

la pila P8 presento una temperatura máxima de 57.9°C al tercer día, y tres días consecutivos en la fase termófila con una media de 53.9°C. El proceso de compostaje finalizó en 12 días en las pilas P6 y P8, mientras que para la pila P7 termino en 11 días. Las pilas de la prueba 7 fueron las mejores en cuanto a las condiciones de proceso, alcanzando la temperatura más alta de 59.5 °C con una frecuencia de aireación de cada 48 horas [13] [14] [15]. En general, las pruebas de temperatura presentadas se encuentran dentro de los valores reportados por Juárez [13], en los primeros días de degradación y con composiciones similares de biosólidos, arcilla y lama.

La Tabla 6 muestra un comparativo de las tres pruebas en cuanto al inicio y final de los parámetros de COT y NTK, observando que la pila P7 presenta la mayor disminución en cuanto al NTK y la segunda disminución para COT, debido a que la variación en la frecuencia de aireación tiene por objetivo lograr una mayor degradación, se muestra que la P7 cumple con la mejor condición de degradación, dado que la relación C/N está en función del contenido de NTK la P7 presentó el mejor valor.

Tabla 6. Comparativo en el proceso de degradación prueba E2

PARAMETRO	COT INICIO (%)	COT FINAL (%)	NTK INICIO (%)	NTK FINAL (%)	C/N INICIO (%)	C/N FINAL (%)
P6	11.73	9.73	1.59	1.23	7.34	7.84
P7	11.47	9.41	1.51	1.08	7.56	8.65
P8	11.27	8.83	1.54	1.15	7.28	7.66

A continuación, se presentan en la Figura 4 los perfiles de pH para los ensayos E2, en general, las tres pilas presentan valores similares de 7.5 al inicio del proceso, la pila P6 alcanzó un pH maximo de 7.95 al tercer día y finalizo con un valor de 7.2, la pila P7 alcanzo valores de pH de 8.1 durante dos dias. La pila P8 presento un valor maximo de 8.5, lo cual se le atribuye a la mineralizacion de compuestos organicos nitrogenados, al finalizar el proceso de compostaje las pilas presentaron un pH practicamente neutro, estos intervalos de pH que se presentan en todas las pruebas son similares a los reportados por Ballesteros [14], quien reporto valores maximos en 8.5 y posterior a la fase termofila valores entre 7.4 y 7.2.

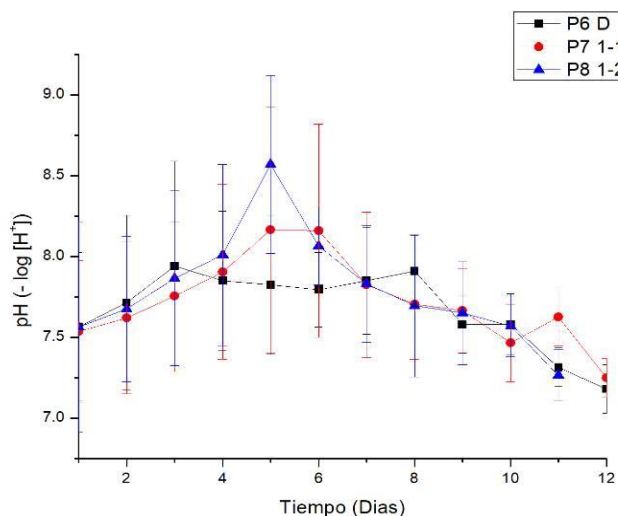


Figura 5. Perfiles de pH prueba E2

3.3 Análisis de Calidad

En la presente investigación, se consideraron los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: MO, COT, relación C/N, la relación K/Na y el NPK, que van dirigidos a evaluar el nivel de impurezas y contaminantes y coliformes fecales. La finalidad de estos parámetros es verificar el contenido de Materia Orgánica, los nutrientes presentes en el producto final, la presencia de metales pesados y microorganismos patógenos.

- a) Análisis Microbiológico: Los biosólidos antes del compostaje presentan bacterias y microorganismos patógenos [16], para evaluar la calidad de estos ensayos se determinaron Coliformes Fecales (CF), con la finalidad de demostrar la inocuidad del producto final. En la Tabla 7 se muestra el resultado del análisis y la comparación con la normatividad correspondiente: NOM-004-SEMARNAT-2002 y la NTEA-006-SMA-RS-2006.

Tabla 7. Análisis microbiológico de CF

Parámetro	Muestra	Unidades	Resultado	NOM-004-SEMARNAT-2002			NTEA-006-SMA-RS-2006 ≤ 1 000
				Clase A < 1000	Clase B < 1000	Clase C < 2 000 000	
COLIFORMES FECALES	P1	UFC/gr en base seca	0	x	-	-	x
	P2		0	x	-	-	x
	P3		320	x	-	-	x
	P4		0	x	-	-	x
	P5		4	x	-	-	x
	P6		100	x	-	-	x
	P7		0	x	-	-	x
	P8		40	x	-	-	x

Fuente: [12], [9]

Los resultados análisis microbiológicos mostraron crecimiento de colonias color verde metálico para el caso de CT y color azul para el caso de CF, en las pruebas donde se presentan colonias como la P3 y P5, a pesar de ser una cuenta microbiana menor, no presenta temperaturas mayores a 55°C y debido al tiempo de degradación no es posible mantener 12 días a 45°C, el mismo caso para la P6 y en la prueba P8 faltó un día de proceso a 55°C.

En base a la NOM-004-SEMARNAT-2002 las compostas resultantes con excepción de todas las pruebas se encuentran dentro de especificación y catalogadas como clase A (para usos urbanos con contacto directo durante su aplicación y los establecidos para Clase B y C).

Para la NTEA-006SMA-RS-2006 se encuentran dentro del límite establecido $\leq 1\,000$ UFC/gr en base seca de acuerdo con ésta norma catalogada como mejorador de suelo. Hasta el momento los ensayos cumplen con la NOM-004-SEMARNAT-2002 y la norma NTEA-006-SMA-RS-2006.

3.4 Análisis fisicoquímicos

Los resultados de los análisis fisicoquímicos se muestran en la Tabla 8 comparados con la normatividad mexicana aplicable, en la primer prueba se observa que las mejores pruebas fueron la P3 y P4 donde el porcentaje de COT fue de 9.02% y 10.05% respectivamente. En las pruebas de aireación la mejor fue la P7 con 9.41% de COT y 1.08% de NTK y 8.71 de relación C/N. El objetivo de la prueba fue determinar la

frecuencia de aireación que presentara la mayor degradación posible durante el proceso de compostaje y la P7 es quien presenta el menor porcentaje de NTK.

Tabla 8. Caracterización de las pilas de compostaje

Norma		NTEA-006-SMA-RS-2006		NMX-FF-109-SCFI-2007	NTEA-006-SMA-RS-2006	
Parámetro		MO (%)	COT (%)	N (%)	C/N (%)	pH
Especificación		>15	NA*	1-4%	< 12%	6.5-8.0
Prueba	P1	10.39	6.02	0.32	18.35	7
	P2	10.32	5.98	0.48	12.43	6.85
	P3	11.97	6.94	0.54	12.75	7.32
	P4	15.55	9.02	0.77	11.69	7.38
	P5	17.34	10.05	0.64	15.63	6.5
	P6	16.78	9.73	1.23	7.91	7.18
	P7	16.23	9.41	1.08	8.71	7.25
	P8	15.23	8.83	1.15	7.67	7.26

Fuente: [9], [12], [10]

*NA: No aplica (No se tiene límite establecido en la norma citada).

4. Conclusiones

El proceso de compostaje se logró obtener en un tiempo de 9 a 13 días, considerando que las diferentes tasas de arcilla y biosólido, la variación de la tasa de aireación y el acondicionamiento previo de los materiales aceleran el proceso de compostaje.

De los ensayos realizados, la prueba E1, con la proporción de materiales de 77% biosólidos, 15% arcilla y 8% lama, se obtuvieron los mejores resultados en cuanto al control de las variables de proceso y en la calidad del producto. El proceso de esta prueba finalizo en 13 días.

Para la prueba de aireación, utilizando las mejores proporciones de materiales de la prueba de tasa de arcilla: 77% de biosólidos, 15% de arcilla y 8% de lama, los mejores resultados se obtuvieron con una frecuencia de aireación de cada 48 horas, ya que presentar mayor degradación de NTK, lo cual favorece a la obtención de una relación C/N más alta. El proceso de esta prueba finalizo en 12 días.

En comparación de las pruebas llevadas a cabo, la mejor prueba en cuanto a resultados de calidad fue la prueba de tasa de 15 % de arcilla, ya que presenta las temperaturas más altas de 55°C durante tres días consecutivos, que dio como resultado la eliminación de CF, se obtuvo una relación C/N de 11.69 y 1.04 de NPK.

Referencias Bibliográficas

[1] Vélez Zuluaga, Juan Alberto. (2007). Los Biosólidos: ¿una solución o un problema? Universidad de Medellín. *Producción + Limpia*. Vol. 2. No. 2.

[2] SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2008). Programa Nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2009-2012. México, D. F. p. 174.

[3] De la Peña, M., Ducci, J., Zamora, V. (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5931/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20en%20M%C3%A9xico.pdf?sequence=4>

- [4] CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2015). Estadística del Agua en México. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015.pdf>
- [5] Boulter J.I., Boland G.J. & Trevors J.T. (2000). Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. Review. World Journal of Microbiology & Biotechnology 16: pp 115-134.
- [6] Kiely G. (1999). Tratamientos de Residuos Sólidos. En: Ingeniería Ambiental. Ed. A. García. Mc Graw Hill interamericana de España, S.A.U. España, pp 843-931.
- [7] EPA (United States Environmental Protection Agency). (1993). Standards for the use of Disposal of sewage sludge. Final Rules. 40 CFR. Part. 503. Environmental Protection Agency Washington, D.C. <http://www.epa.gov/region8/water/biosolids/pdf/handbook1.pdf>
- [8] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2000). Norma Mexicana NMX-AA-021-SEMARNAT-2000. Especificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/documents/html>
- [9] SMA (Secretaría del Medio Ambiente). (2006). Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006 que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelo elaborados a partir de residuos orgánicos. <http://www.edomex.gob.mx/legistelfon/doc/pdf/gct/2009/may211.PD>
- [10] SCFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). (2008). Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Lombricomposta. Especificaciones y método de prueba. Norma Oficial Mexicana modificada a Norma Mexicana, de acuerdo al decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) de fecha 10 de junio de 2008 http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5044562&fecha=10/06/2008
- [11] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2000). Norma Mexicana NMX-AA-021-SEMARNAT-2000. México. Especificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/documents/html>
- [12] SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-. Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/documents/html/lodos.html>
- [13] Juárez Robles, Beatriz. (2014). Obtención de composta a partir de biosólidos y residuos sólidos orgánicos con una relación carbono nitrógeno entre 4 y 8, y en tiempo menor a 3 meses. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Toluca, México.
- [14] Ballesteros Trujillo, Marisol. (2016). Elaboración de un mejorador de suelos a partir de residuos orgánicos, lixiviados y biosólidos. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Toluca, México.
- [15] Franco Archundia, Fabián. (2013). Composteo de lodos residuales utilizando arcilla como sustrato de inóculo. Tesis de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Toluca, México.
- [16] Fernandes, F. & de Souza, S. (2001). Capítulo 2: Estabilização de lodo de esgoto. p. 29-55. En: Andreoli, C. Resíduos sólidos do saneamento: processamento e disposição final. ABES y PROSAB, Río de Janeiro, Brasil.

Actualización y manufactura de una trituradora prediseñada para residuos de neumáticos

¹Jahaziel Alcantar Sánchez, ²Carlos Adán Villarreal Lerma, ³Claudia Estela Saldaña Durán, ⁴Sergio Becerra Anzaldo, ⁵Sarah Ruth Messina Fernández,

¹ Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura S/N, Col. Centro C.P. 63000 Tepic, Nayarit, Tel (311)2118800 Ext. 8821; e-mail: carlosadan1995@gmail.com

Resumen

El mundo sufre actualmente altos índices de contaminación por diversas causas, una de ellas son los desechos de las llantas neumáticas. Desde la invención del neumático, han tomado cada vez más participación en la vida humana, multiplicando su producción y por ende también se ha aumentado la cantidad de neumáticos desechados en los tiraderos de los residuos sólidos.

El neumático está compuesto principalmente de caucho sintético derivado de los hidrocarburos por lo que son altamente contaminantes si estos son desechados sin ningún tratamiento.

Con el propósito de contribuir con la reducción de las enormes cantidades de desechos neumáticos se propone bajo diseño ingenieril una máquina trituradora de neumáticos conformada por un motor de 20HP y un reductor de velocidad de 40:1, que entrega un torque de 842kg-m a una transmisión por cadena que transmite el movimiento a un eje motriz que a su vez se sincroniza con otro eje inducido por un par de engranes. Las cuchillas encargadas de triturar están acopladas al par de flechas, estas cuchillas de material 1045 están rediseñadas con un revestimiento de soldadura H10 para aumentar su dureza.

La finalidad de este proyecto es obtener un producto de trozo de caucho que podrá ser utilizado como materia prima para la elaboración de materiales de construcción, sistemas aislantes, alfombras entre otros más, consiguiendo reducir, reutilizar y conservar el material, minimizando la contaminación ambiental, no siendo necesaria su incineración o sepultación anticipada para deshacerse de él.

Palabras Clave: *Reciclaje, Trituradora, Neumáticos, Contaminación Ambiental.*

1. Introducción

El neumático desde su invención hasta el día de hoy ha sido un elemento de mucha importancia y utilidad de la vida cotidiana del hombre. Sin embargo por la composición del neumático es riesgosamente contaminante si se quema o se entierra.

Actualmente se vive en un mundo industrializado donde la ciudadanía, industrias, las pequeñas, medianas y grandes empresas emplean y desechan millones de neumáticos al año. En México la cultura social en muchos casos deja en segundo término el impacto ambiental. Causando que los neumáticos sean desechados sin ningún sistema de gestión, consiguientemente los neumáticos ocupan considerables espacios contaminando el medio ambiente.

Generalmente cuando un neumático termina su ciclo de vida útil es desechado para ser incinerado o sepultado, contaminando de manera grave el suelo, aire y mantos acuíferos.

La fabricación masiva de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, es causa de uno de los problemas ambientales más grandes que existen en el planeta. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado (medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión). [1]

Se estima que en todo el mundo, mas de mil millones de neumaticos de desecho se general anualmente. Por ello estos pateriales se ven acumulados en los rios, mares y suelos contaminando tambien el aire y perjudicando a quien viven a su alrededor. [2]

En los últimos cinco años la producción total de llantas en México ha crecido casi 82% al pasar de 13,847,000 unidades en 2009 a 25,116,000 unidades en 2013 [3]. En el estado de Nayarit residían 1,181,050 habitantes en el 2015, con una tasa de crecimiento anual de 1.61% . Por lo tanto en el año 2018 la cifra estimada es de 1,238,095 habitantes (fuente propia en base a los datos proporcionados por). En el año 2015 en el estado de Nayarit el número de vehículos motorizados fue de 387,063 unidades. Por lo tanto en el 2018 la cifra será 405,758 vehículos (fuente propia en base a los datos proporcionados) [4]. El promedio de vida de cada neumático es aproximadamente de 5 años desde el montaje en el vehículo o 10 años desde su fabricación [5], por lo que en Nayarit se desechan 324,606 neumáticos cada año (fuente propia en base en los datos proporcionados por [4]). Actualmente en la capital del estado de Nayarit (Tepic) se concentra el 44% de vehículos registrados en este estado , por lo que en esta capital se desechan 142,826 de neumáticos cada año (fuente propia en base a los datos proporcionados [4]).

Con las cifras obtenidas anteriormente se concluye que es alarmante el desecho de los neumáticos ya que estos están compuestos principalmente por caucho sintético derivado de los hidrocarburos, por lo tanto son altamente contaminantes si se desechan sin ningún tratamiento poniendo en riesgo la salud de los seres vivos.

Con el propósito de contribuir con la reducción de las enormes cantidades de desechos neumáticos se propone una máquina trituradora de neumáticos cuya finalidad es obtener un producto de trozo de caucho que podrá ser utilizado como materia prima para la elaboración de materiales de construcción, sistemas aislantes, alfombras entre otros más.

2. Metodología

La trituradora de neumáticos que será rediseñada, cuenta con 20 cuchillas de 4 afilados de corte cada una, un par de ejes que soportan y transmiten el par torsional, 1 reductores de velocidad de 40:1, 1 motor de 20HP y su estructura de ensamble.

Dicha máquina trituradora de neumáticos será ajustada a las necesidades que conllevan la trituración del neumático, y construida con el método de diseño (DFM) , este es un método completo de producción de bienes que integra el proceso de diseño con materiales, métodos de manufactura, planeación de procesos, ensamble, prueba y aseguramiento de la calidad. Esta metodología requiere que los diseñadores entiendan cabalmente las características, capacidades y limitaciones de los materiales, los procesos de manufactura y las operaciones, la maquinaria y el equipo relativo. También incluye características como variedad en el desempeño de las máquinas, precisión dimensional, acabado superficial de la pieza de trabajo y el tiempo de proceso [6].

Los procesos de manufactura que se llevarán a cabo para la elaboración de la trituradora de neumáticos son desarrollados a continuación.

2.1 Procesos de formado y moldeo.

Laminado, forjado, extrusión, estirado o trefilado, formado de lámina, metalurgia de polvos y moldeo.

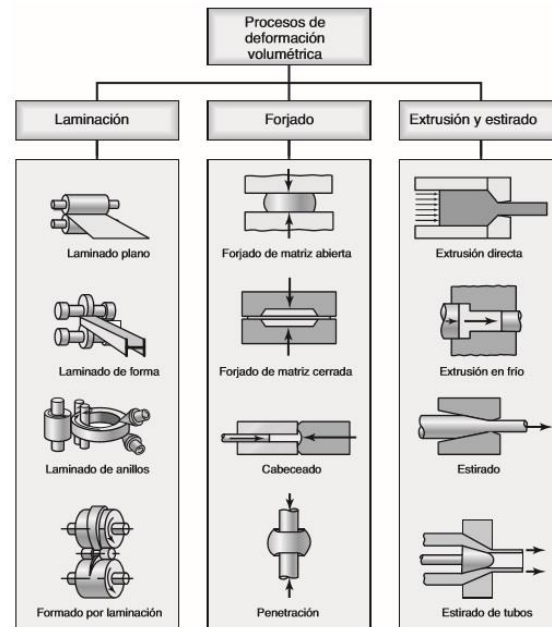


Figura. 1 Esquema de diversos procesos de deformación volumétrica [6]

2.2 Maquinado

El maquinado es un término general que describe un grupo de procesos cuyo propósito es la remoción de material y la modificación de las superficies de una pieza de trabajo, después de haber sido producida por diversos métodos. Donde el maquinado consiste en varios tipos importantes de procesos de remoción de material tales como:

- Corte: que por lo común comprende herramientas de corte de un solo filo o de filos múltiples, cada uno con una forma claramente definida.
- Procesos abrasivos: como el rectificado y los procesos relacionados con este.
- Procesos avanzados de maquinado: que utilizan métodos eléctricos, químicos térmicos, hidrodinámicos y láser para cumplir su tarea.

Estas operaciones son realizadas por equipos mecánicos llamados maquinas herramientas.

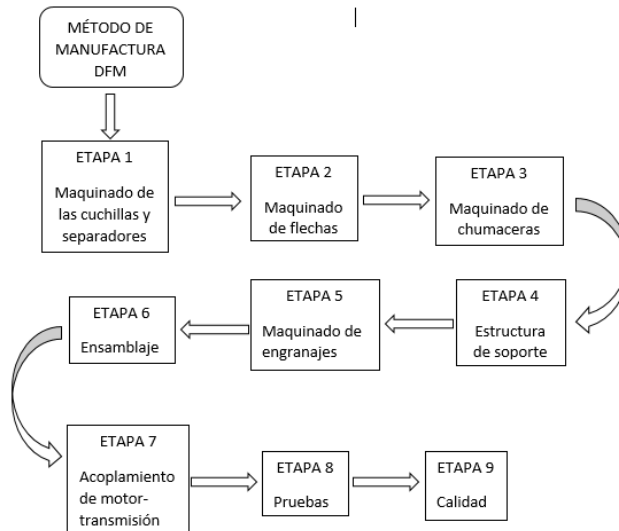


Figura. 2 Proceso de manufacturado de la máquina trituradora de neumáticos.

En la figura. 2 se muestra la secuencia de etapas que se siguieron para el maquinado de la máquina trituradora de neumáticos.

Etapa 1: el diseño de la cuchilla se determino utilizando el corte ortogonal y las ecuaciones de Merchant y el manufacturado se llevo acabado mediante procesos de cilindrado, mandrinado, cepillado, refrentado, oxicorte, biselado, revestimiento de soldadura por arco H10 de los rotores y finalmente el esmerilado para darle el filo a las cuchillas.

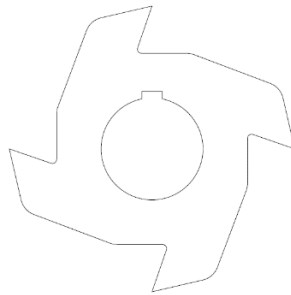


Figura. 3 Cuchilla rediseñada

Etapa 2: en el manufacturado bajo diseño de las flechas motriz e inducida se utilizaron los procesos de cilindrado, tronzado, roscado y fresado.

Etapa 3: para el proceso de manufacturado de las chumaceras se aplicaron los procesos de cilindrado, mandrinado, taladrado, machueliado y tronzado.

Etapa 4: la estructura de soporte de la máquina, los cuales son el cajón donde se acoplan las flechas, las chumaceras y las cuchillas, la tolva de alimentación y de expulsión, y finalmente la base donde se montan todas las partes de la máquina.

Etapa 5: el manufacturado de los engranas se realizó en un material de acero 4140 capaz de soportar los esfuerzos producidos por el triturado del neumático. Estos engranes se maquinaron con los procesos de cilindrado, careado y fresado.

Etapa 6: los componentes mecánicos móviles y fijos, fueron ubicados en su lugar correspondiente, las cuchillas ensambladas en el par de flechas junto con sus respectivos separadores, las chumaceras junto con sus rodamientos se ajustaron a las flechas y al cajón, donde el cajón finalmente se unió con la base.



Figura. 4 Ensamblaje de los componentes mecánicos.

Etapa 7: en esta etapa se instalaron en la estructura el motor y el reductor para proceder a colocar la transmisión flexible que consto de 4 bandas 5v que van desde la polea del motor a la polea de entrada del reductor, y la cadena de la Catarina de la salida del reductor de velocidad a la Catarina de la flecha motriz.



Figura. 5 Máquina trituradora de neumáticos.

Etapa 6 y 7, en estas etapas principalmente en la etapa de prueba, se estima que la trituradora de neumáticos, triture aproximadamente de 100 llantas por hora generando un todo de caucho de tamaño aproximado de 5 pulgadas de longitud.

3. Conclusiones

En el desarrollo de este presente trabajo se logró rediseñar y manufacturar una máquina trituradora de neumáticos con una de las metodologías de manufactura, tomando en cuenta los requerimientos mínimos de ingeniería que garanticen el buen funcionamiento del equipo, así mismo garantizando la seguridad de la operación y durabilidad.

Todos y cada uno de los componentes mecánicos de la trituradora de neumáticos fueron calculados y/o seleccionados siguiendo los procedimientos estándar de los proveedores considerados para tal efecto.

Los elementos que están sujetos a cargas estáticas y dinámicas fueron simulados y revisados para el análisis de fatiga y falla por corte.

La máquina trituradora consta de 20 cuchillas, 2 flechas, un par de engranajes que su funcionalidad será la sincronización y transmisión de potencia a las flechas, un reductor de velocidad para una potencia de 20HP de relación de 40:1, una transmisión flexible por bandas y cadenas y un motor eléctrico a 440V de 20HP. Este diseño economizó el diseño anterior en casi un 50%.

El producto final del neumático triturado, podrá ser utilizado para otros fines específicos.

3.1 Recomendaciones.

Para que el neumático pueda ser triturado por la máquina trituradora, este debe ser introducido sin su aro metálico ubicado en la ceja del neumático.

Debido al alto par torsional generado por el motor eléctrico y las transmisiones rígidas y flexibles obligan a un máximo cuidado en la introducción del material hacia la máquina por ende se recomienda no introducir objetos metálicos que puedan dañar las cuchillas y estas mismas que pueden dañar todo el sistema mecánico.

Referencias Bibliográficas

[1] Castro G. (2007) Reutilización, reciclado y disposición final de neumático. *Departamento de ingeniería mecánica*. FIUBA.

[2] Trujillo I.M. y De la Torre Chaouvin (2015). “Modelo de deconvolución para la cuantificación de los componentes del caucho vulcanizado presente en los neumáticos fuera de uso”. *Revista Politécnica*. 36(2), p. 73.

[3] Marketing T., (2017). Industria llantera mexicana. En línea <<http://testamarketing.com/2017/04/19/industria-llantera-mexicana/>> Recuperado el 28/11/2017.

[4] SEMARNAT; PROAire; SEDERMA. (2017). Programa de gestión para mejorar la calidad de aire del estado de Nayarit. En línea <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249577/ProAire_Nayarit.pdf> Recuperado el 29/11/2017.

[5] Team Weblogs, (2014). La edad de los neumáticos y su caducidad, mitos y realidades. En línea <<https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/la-edad-de-los-neumaticos-y-su-caducidad-mitos-y-realidades>> Recuperado el 7/10/17.

[6] S. kalpakjian y Schmid S.R., (2008). Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Quinta edición. Pearson. México.

[7] Mott L. Robert, (2006). Diseño de elementos de máquina. Cuarta edición. Pearson. México.

Plan de manejo de residuos sólidos urbanos en la escuela secundaria general No. 20 “Rafael Ramírez”, Tepetzotlán, Estado de México.

¹ Luis Angel Barbosa Ramírez, ² América Selene Fernández García, ³ Alethia Vázquez Morillas

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Del. Azcapotzalco, C.P. 02200, México, D. F. Tel. 5318-2196, correo: al2133036425@alumnos.azc.uam.mx

Resumen

En este proyecto se elaboró un plan de manejo de residuos sólidos urbanos (PMRSU) para la Escuela Secundaria General No.20 “Rafael Ramírez”. Para tal efecto se realizaron estudios de generación, peso volumétrico y composición en subproductos de acuerdo a los procedimientos de las normas mexicanas, NMX-AA-019-1985 y NMX-AA-022-1985.

Se realizaron 2 muestreos, en donde se registraron los pesos de los residuos generados en un periodo de 5 días. En la primera semana se generaron 158.25 kg y en la segunda, que coincidió con la festividad de día de muertos, la generación aumentó 17%. La generación *per cápita* fue de 31 g/día*persona. El valor obtenido de peso volumétrico fue de 46.31 kg /m³, por el tipo de residuos que predominaron en el plantel (residuos blancos).

Los residuos que se encontraron en mayor proporción fueron; papel (18%), alimento (13%), cartón (9%) y papel de baño (6%). Considerando estos resultados, la infraestructura y las opciones de mercado alrededor de la institución se seleccionaron los residuos de papel, cartón y PET para incluir en el PMRSU. Las propuestas del PMRSU fueron: la elaboración del “Programa de separación de residuos”, el programa de acopio “Librérate” y la creación del “Centro de acopio escolar”.

El cumplimiento y desarrollo adecuado del proyecto dependerá del interés y de la participación de la comunidad escolar. Estas acciones beneficiarán tanto a la comunidad escolar como a su entorno, al constituir un ejemplo para instituciones similares.

Palabras clave: *Sistema de manejo integral, residuos sólidos, institución educativa.*

1. Introducción

El incremento de la industrialización que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo XX, produjo un alza en la demanda de materias primas para satisfacer el consumo de bienes y servicios de un crecimiento demográfico con estilos de vida consumistas y una cultura demandante de “usar y tirar”, en consecuencia, provocó una mayor generación de residuos, así como problemas asociados a su disposición adecuada [1].

El conocimiento del comportamiento de los residuos, las fuentes de generación, las cantidades, los requisitos legales, así como el manejo adecuado para disminuir la contaminación, contribuye en gran parte a mejorar la calidad del ambiente. Para que esto sea posible se requiere de herramientas que no sólo sean útiles, sino que estén reguladas bajo la legislación correspondiente. Una de las herramientas más importantes para el control de la generación de residuos son los planes de manejo integral, que están regulados por la NOM-161-SEMARNAT-2011 [2] y la LGPGIR [3]. Estos dos instrumentos legales delimitan los residuos que pueden considerarse como residuos de manejo especial y que deben desarrollar planes de manejo específicos.

La ESG Rafael Ramírez se ubica en el municipio de Tepetzotlán, Estado de México. Es una institución que no cuenta con un sistema de recolección y separación que permita realizar un manejo adecuado de los residuos. Asociado a este conflicto, se realiza un servicio de recolección semanal que es insuficiente para la generación de RSU de las 1128 personas que componen la institución, entre estudiantes, personal académico y administrativo. La mejor forma de resolver el problema de gestión de residuos de la ESG es mediante la planeación y ejecución de un plan de manejo, en el que se proponen estrategias de minimización y valorización de los mismos. El presente proyecto busca cumplir con dicho objetivo.

2. Metodología

El desarrollo del proyecto abarcó los meses de septiembre a diciembre, correspondientes al trimestre 17-O de la UAM- Azcapotzalco. La figura 1 muestra de forma breve los pasos que se siguieron para la elaboración.

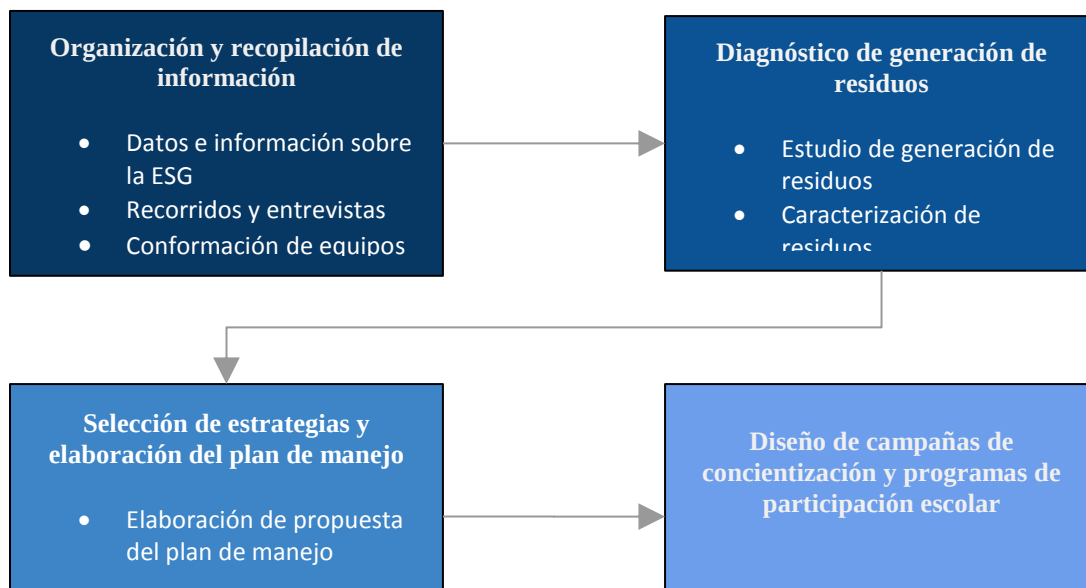


Figura 1. Diagrama de flujo del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron diferentes actividades dentro de las etapas ilustradas en la Figura 1, mismas que se describen a continuación:

2.1 Primera etapa: organización y recopilación de información

- ❖ Se investigaron los antecedentes de la ESG sobre la gestión de sus residuos sólidos, para esto, se entrevistó a los directivos de la escuela quienes brindaron la información necesaria para iniciar el proyecto.
- ❖ Se identificaron y coordinaron los equipos de trabajo de los actores involucrados en la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) en la ESG con los autores del proyecto, mediante una junta en la que se planteó la forma de trabajo durante el desarrollo del proyecto y se resolvieron dudas acerca del mismo.
- ❖ Se recopilaban datos y se evaluó la situación actual del manejo de sus RSU, por medio de entrevistas a los encargados del aseo, visitas y recorridos que permitieron conocer el ciclo de los residuos dentro de la ESG, como muestran las figuras 2 y 3.



Figura 2. Instalaciones: almacén temporal de residuos



Figura 3. Instalaciones: almacén temporal de residuos

- ❖ Se evaluó la información obtenida de las entrevistas realizadas al director de la escuela y al jefe de personal de aseo y se identificaron los aspectos económicos, sociales y culturales de la ESG.

2.2 Segunda etapa: diagnóstico de generación de residuos

- ❖ Se asignó el taller de física de la ESG como área de trabajo para desarrollar las actividades necesarias del proyecto.

- ❖ Se realizaron 2 muestreos, cada uno en un período de 5 días, para determinar la generación total y *per cápita* correspondiente a la comunidad de la ESG. El primer estudio se realizó del 09/10/2017 al 13/10/2017 y el segundo del 6/11/2017 al 10/11/2017. El trabajo consistió en registrar los pesos de los residuos sólidos generados durante los días de muestreo, para esto se utilizó una báscula con capacidad de 200 kg modelo NEP 150TN (Figuras 4 y 5). Se muestreó de 7:00 a.m. a 7:40 p.m.



Figura 4. Báscula con capacidad de 200 Kg



Figura 5. Pesaje de bolsas con residuos

- ❖ Se eligieron los residuos generados el 11 de octubre de 2017 para el primer estudio de generación y se obtuvo una muestra de 30.92 kg. Para el segundo estudio se utilizaron los residuos del 7 de noviembre de 2017 y se trabajó con una muestra de 42.76 Kg; de acuerdo con las especificaciones de la NMX-AA-015-1985 [4], no fue necesario aplicar el método de cuarteo en ningún caso (Figura 6).



Figura 6. Preparación de la muestra de RSU

- ❖ Se obtuvo el peso volumétrico de las muestras siguiendo el procedimiento establecido en la NMX-AA-019-1985 [5]. En esta determinación se empleó un tambo de plástico con capacidad de 200L y se registró el peso del recipiente vacío y sus dimensiones. Se llenó con los residuos del estudio de generación, teniendo cuidado de no presionarlos con la finalidad de no alterar los datos de densidad que se obtendrían, como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Determinación de peso volumétrico

- ❖ Se seleccionaron y cuantificaron los subproductos de los residuos en las categorías que se muestran en la tabla 1, de acuerdo a la NMX-AA-022-1985 [6] y se registraron los datos.

Tabla1. Categorías para selección y cuantificación de subproductos

Clasificación	Subproductos
Orgánicos	Alimentos
	Poda
Papel y cartón	Papel
	Cartón
	Multicapas: Tetrapak®
Plásticos	Bolsas de plástico
	Envolturas de dulces
	PET
	Unicel
	Polietileno de alta densidad (PEAD): envases de yogurt para beber y leche.
	Bolsas metalizadas
	Otros plásticos
Vidrio	Vidrio
Metales	Aluminio (latas y papel)
	Otros metales
Sanitarios	Papel de baño
	Toallas sanitarias
Varios	Madera
	Textiles
	Otros (Útiles)
Residuos peligrosos	Medicamentos, pilas, residuos contaminados con pinturas o aceites, jeringas.
Residuos finos	Finos
	Sobrante
Otros Papeles	Otros Papeles

- ❖ Se analizaron los resultados obtenidos en los métodos realizados (estudio de generación, peso volumétrico y caracterización). Para tal efecto se utilizaron hojas de cálculo y los resultados anteriores se graficaron para facilitar su interpretación.

Para la determinación de peso volumétrico se usó la siguiente ecuación establecida en la NMX-AA-019-

1985 [4]:

$$P_v = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Dónde:

PV = peso volumétrico en kg/m³

P= peso bruto de los residuos sólidos menos tara en kg

V= volumen del recipiente en m³

La determinación de la composición de subproductos se obtuvo con la ecuación que establece la NMX-AA-022-1985 [6]:

$$P_s = \frac{G_1 \times 100}{G} \quad (2)$$

Dónde

P_s = Porcentaje del subproducto considerado.

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

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kg).

2.3 Tercera etapa: selección de estrategias y elaboración del plan de manejo

- ❖ Con base en los resultados de los estudios realizados se seleccionaron estrategias para los residuos susceptibles de valorización y minimización, considerando la infraestructura y las condiciones de la ESG.
- ❖ Se elaboró la propuesta del plan de manejo de acuerdo con los requisitos legales aplicables en el Estado de México.

3. Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados que se obtuvieron por etapa, de acuerdo a la metodología anterior.

3.1 Primera etapa: organización y recopilación de la información

El plantel está compuesto por 2 autoridades, 1069 alumnos, 57 profesores y trabajadores. Al realizar los recorridos por las instalaciones se identificaron las diferentes áreas que componen el plantel, así como el flujo de los residuos: generación, recolección y disposición final. Los problemas detectados son los siguientes:

- ❖ Ausencia de recipientes en las zonas comunes.
- ❖ Falta de cultura y malos hábitos: los estudiantes arrojan sus residuos al suelo.

- ❖ Presencia de animales: los perros sacan los residuos de los contenedores en el área destinada para almacenamiento temporal.

3.2 Segunda etapa: diagnóstico de generación de residuos

Para interpretar los datos obtenidos en los diferentes estudios, se realizó el promedio de dichos resultados, mismos que se presentan en la tabla 2. La generación semanal de RSU fue de 172.93 kg, con un valor promedio de generación diaria de 34.59 kg; con este dato y considerando las 1128 personas que componen la institución resulta una generación per cápita de 0.031 kg / día persona. Este valor se aproxima a los datos de generación de instituciones como la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), en donde se generan 0.044 kg / día persona y en la figura 8 se muestra el comportamiento de la generación durante la semana.

Tabla 2. Resultados promedio de los estudios de generación

Primer estudio		Segundo estudio		Promedio
Fecha	Generación (kg)	Fecha	Generación (kg)	Generación (kg)
09/10/2017	33.01	06/11/2017	33.68	33.345
10/10/2017	33.75	07/11/2017	42.76	38.255
11/10/2017	30.92	08/11/2017	38.62	34.77
12/10/2017	27.57	09/11/2017	36.76	32.165
13/10/2017	34.3	10/11/2017	34.49	34.395
Información adicional				
Generación semanal (kg)	159.55	186.31		172.93
Promedio diario (kg)	31.91	37.26		34.59
Generación per cápita (kg/día* persona)	0.028	0.033		0.031
Desviación estándar (kg)	2.7	3.63		3.19

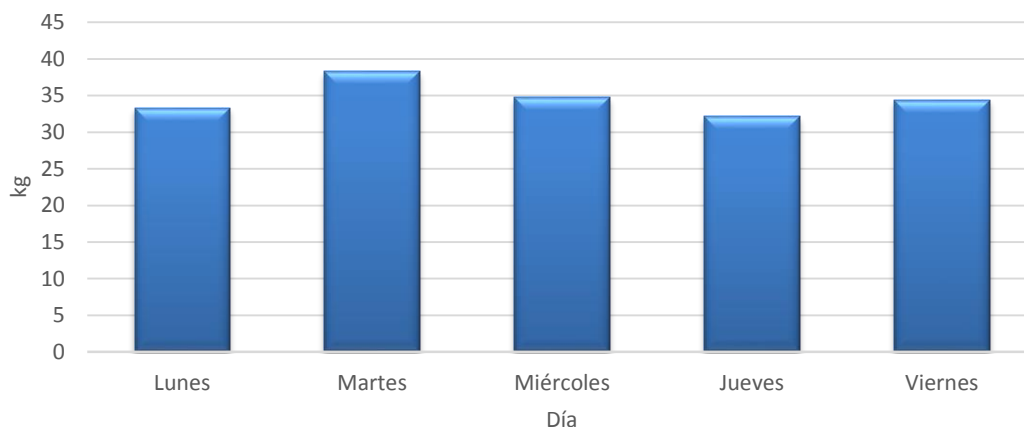


Figura 8. Promedio de la generación semanal de RSU

La figura 9 muestra el promedio semanal de generación de RSU de los dos estudios representados por áreas de generación, de éstas la mayor concentración de RSU generados corresponde a los salones de clase con el 59%, le sigue el patio cívico con el 11% y las oficinas con el 9%; el comportamiento es similar al encontrado en cada estudio de generación.

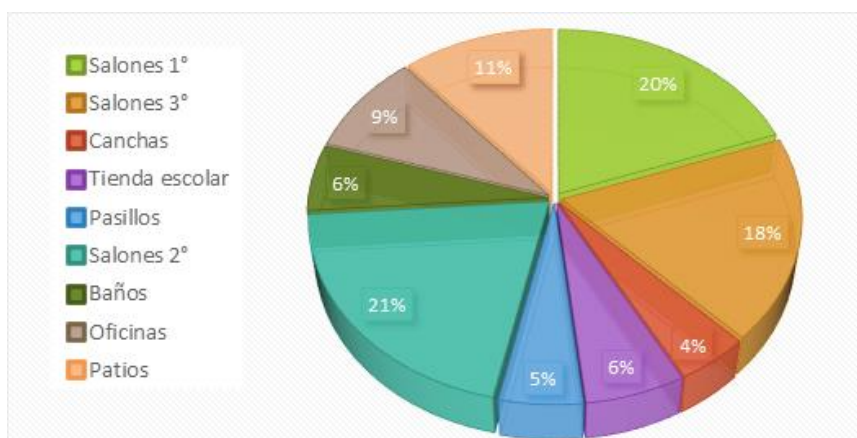


Figura 9. Promedio de la generación semanal de RSU por área en la ESG

El promedio de las dos clasificaciones en subproductos que se realizaron se presenta en la figura 10. Se obtuvo que las 4 categorías seleccionadas como relevantes por la cantidad de generación, representan los residuos que se pueden aprovechar para beneficio de la ESG.

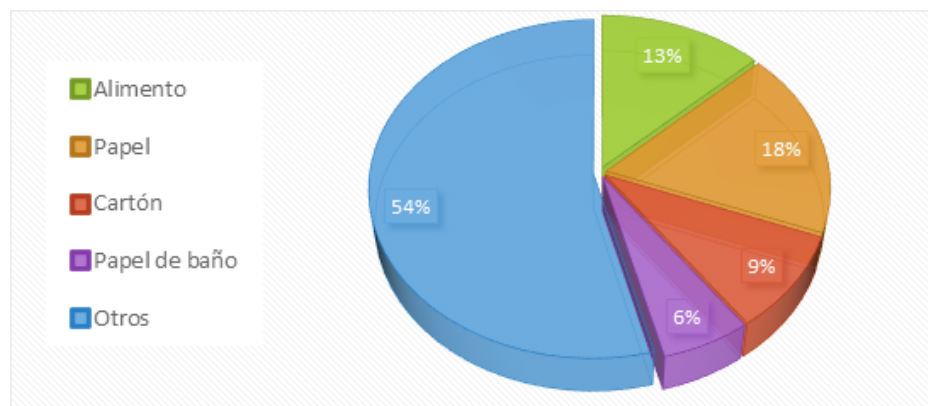


Figura 10. Composición en subproductos: promedio.

El peso volumétrico promedio de ambos estudios fue de 46.31 kg/ m³. Este valor es aceptable por la composición y el tipo de residuos que predominan en la institución (residuos blancos).

Los residuos que se seleccionaron para someter al plan de manejo son: papel, cartón y PET. Además de ser los RSU que se generan en mayor proporción dentro de la institución, son residuos altamente aprovechables y valorizables.

3.3 Tercera etapa: diseño de campañas de concientización y programas de participación escolar

Las siguientes propuestas (tabla 3 y tabla 4) se diseñaron para contribuir en el logro de objetivos del proyecto y plan de manejo, y se adaptaron a la infraestructura de la ESG.

Tabla 3. *Propuestas de participación escolar para el desarrollo del proyecto*

Programas de participación escolar	
La participación escolar tiene como objetivo involucrar a toda la comunidad en las actividades propuestas en el PMRSU, para la correcta gestión de sus residuos.	
Estrategia	Objetivo
Programa de separación de residuos	Separar y aprovechar los materiales susceptibles de valorización: PET, papel y cartón. Acopiar el papel, cartón y PET generados en la institución, para su posterior comercialización
	Alimentos: Elaborar composta con los residuos alimenticios y de poda.
Conformación de un Comité	Coordinar, desarrollar, evaluar y dar seguimiento al plan de manejo.
Centro de acopio escolar	Involucrar a la comunidad escolar en la separación y disposición final de los residuos generados en casa y fomentar la participación en sus hogares.
Librérate	Contribuir al buen desarrollo del programa de separación; desechar papeles, cuadernos y libros que considere innecesarios, al finalizar cada ciclo escolar.

Tabla 4. *Propuestas de concientización y difusión para el desarrollo del proyecto*

Campañas de concientización y difusión
El objetivo de diseñar campañas de difusión es dar a conocer la información sobre el PMRSU, las formas de participación y la importancia y beneficios del adecuado manejo de residuos en la institución.

Estrategia	Objetivo
Redes sociales	Compartir y actualizar información relacionada al manejo integral de RSU en la institución y educación ambiental.
Juntas grupales	Involucrar a los padres de familia en las estrategias de minimización y el PMRSU.
Carteles e infografías	Concientizar a la comunidad escolar de los problemas ambientales ocasionados por los residuos
Cero uncel	Sustituir el uncel que utilizan los puestos de comida dentro del plantel.

4. Conclusiones

Este proyecto tuvo como objetivo elaborar la propuesta del plan de manejo de residuos sólidos urbanos (PMRU) para la Escuela Secundaria General No. 20 “Rafael Ramírez” (ESG), con la finalidad de contribuir con un manejo integral de los RSU generados en el plantel utilizando las herramientas y conocimientos adquiridos a lo largo de la licenciatura.

La ESG es una institución que alberga más de 1000 personas diarias por 12 horas continuas de trabajo, esto quiere decir que, durante el desarrollo de sus actividades, generan una cantidad significativa de residuos. De éstos existen algunos que pueden ser susceptibles de valorización, como el PET, papel, cartón y aluminio; sin embargo, la comunidad escolar no conoce los beneficios ambientales de una disposición final adecuada, y por lo tanto no se implementan estrategias y actividades que ayuden a minimizar y aprovechar estos residuos.

Se realizaron dos estudios de generación en las instalaciones de la ESG para determinar el tipo, la cantidad total y per cápita de residuos. El diagnóstico fue la base para plantear las estrategias de valorización y minimización, campañas de difusión con la información necesaria para promover buenas prácticas de operación e identificar las áreas de oportunidad, permitiendo que la comunidad se involucre en el desarrollo del PMRSU propuesto.

Los resultados de los estudios de campo permitieron observar cómo influyen las tradiciones y costumbres en la generación y composición de los residuos. El segundo estudio se realizó una semana después de la celebración de día de muertos y presentó un aumento en la generación total semanal del 17%, al compararse con los resultados del primer estudio.

Los residuos que se generaron en mayor cantidad fueron los de alimento, papel y cartón, estos últimos dos se seleccionaron como objeto del plan de manejo y se incorporaron los residuos de PET, debido al amplio mercado de reciclaje que se encuentra a los alrededores de la ESG.

La minimización de RSU es un concepto que se busca incorporar a la ESG, mediante acciones que permitan cambiar hábitos de consumo y eliminar residuos que terminan en los sitios de disposición final, como el uncel.

El cumplimiento y desarrollo adecuado del proyecto dependerá del interés y de la participación de la comunidad escolar. Los beneficios ambientales que se pueden obtener a partir de la gestión de RSU son relevantes, al hablar de una institución con matrícula de más de 1000 estudiantes. Estos beneficios además

irán en aumento al servir como ejemplo para que las mismas autoridades gubernamentales y educativas de la localidad implementen su propio PMRSU.

Referencias bibliográficas

- [1] SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2007). *Gestión Ambiental en México*. En línea <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/Gestion_Ambiental.pdf> Recuperado el 18/09/2017.
- [2] SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). NOM-161-SEMARNAT-2011 “*Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo*”, DOF, 1 de febrero, México, D.F.
- [3] SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, DOF, 8 de octubre, México, D.F.
- [4] SCFI, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1992a). NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos-Muestreo – Método de cuarteo. Secretaría de desarrollo Urbano y ecología. Publicada en el DOF de 6 de noviembre de 1992.
- [5] SCFI, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1992b). NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales –Peso volumétrico "in situ". Secretaría de desarrollo Urbano y ecología. Publicada en el DOF de 6 de noviembre de 1992.
- [6] SCFI, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1992). NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Selección y cuantificación de subproductos. Secretaría de desarrollo Urbano y ecología. Publicada en el DOF de 6 de noviembre de 1992.

Plan de manejo de residuos sólidos urbanos en la escuela secundaria general No. 20 “Rafael Ramírez”, Tepetzotlán, Estado de México

¹ Luis Angel Barbosa Ramírez, ² América Selene Fernández García, ³ Alethia Vázquez Morillas

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Del. Azcapotzalco, C.P. 02200, México, D. F. Tel. 5318-2196, correo: al2133036425@alumnos.azc.uam.mx

Resumen

En este proyecto se elaboró un plan de manejo de residuos sólidos urbanos (PMRSU) para la Escuela Secundaria General No.20 “Rafael Ramírez”. Para tal efecto se realizaron estudios de generación, peso volumétrico y composición en subproductos de acuerdo a los procedimientos de las normas mexicanas, NMX-AA-019-1985 y NMX-AA-022-1985. Se realizaron dos muestreos, en donde se registraron los pesos de los residuos generados en un periodo de cinco días. En la primera semana se generaron 158.25 kg y en la segunda, que coincidió con la festividad de día de muertos, la generación aumentó 17%. La generación *per cápita* fue de 31 g/día*persona. El valor obtenido de peso volumétrico fue de 46.31 kg /m³, por el tipo de residuos que predominaron en el plantel (residuos blancos). Los residuos que se encontraron en mayor proporción fueron; papel (18%), alimento (13%), cartón (9%) y papel de baño (6%). Considerando estos resultados, la infraestructura y las opciones de mercado alrededor de la institución se seleccionaron los residuos de papel, cartón y PET para incluir en el PMRSU. Las propuestas del PMRSU fueron: la elaboración del “Programa de separación de residuos”, el programa de acopio “Libérate” y la creación del “Centro de acopio escolar”. El cumplimiento y desarrollo adecuado del proyecto dependerá del interés y de la participación de la comunidad escolar. Estas acciones beneficiarán tanto a la comunidad escolar como a su entorno, al constituir un ejemplo para instituciones similares.

Palabras clave: *Sistema de manejo integral, residuos sólidos, institución educativa.*

1. Introducción

El incremento de la industrialización que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo XX, produjo un alza en la demanda de materias primas para satisfacer el consumo de bienes y servicios de un crecimiento demográfico con estilos de vida consumistas y una cultura demandante de “usar y tirar”, en consecuencia, provocó una mayor generación de residuos, así como problemas asociados a su disposición adecuada [1].

El conocimiento del comportamiento de los residuos, las fuentes de generación, las cantidades, los requisitos legales, así como el manejo adecuado para disminuir la contaminación, contribuye en gran parte a mejorar la calidad del ambiente. Para que esto sea posible se requiere de herramientas que no sólo sean útiles, sino que estén reguladas bajo la legislación correspondiente. Una de las herramientas más importantes para el control de la generación de residuos son los planes de manejo integral, que están regulados por la NOM-161-SEMARNAT-2011 [2] y la LGPGIR [3]. Estos dos instrumentos legales delimitan los residuos que pueden considerarse como residuos de manejo especial y que deben desarrollar planes de manejo específicos.

La ESG Rafael Ramírez se ubica en el municipio de Tepetzotlán, Estado de México. Es una institución que no cuenta con un sistema de recolección y separación que permita realizar un manejo adecuado de los residuos. Asociado a este conflicto, se realiza un servicio de recolección semanal que es insuficiente para la generación de RSU de las 1128 personas que componen la institución, entre estudiantes, personal académico y administrativo. La mejor forma de resolver el problema de gestión de residuos de la ESG es mediante la planeación y ejecución de un plan de manejo, en el que se proponen estrategias de minimización y valorización de los mismos. El presente proyecto busca cumplir con dicho objetivo.

2. Metodología

El desarrollo del proyecto abarcó los meses de septiembre a diciembre, correspondientes al trimestre 17-O de la UAM- Azcapotzalco. La figura 1 muestra de forma breve los pasos que se siguieron para la elaboración.

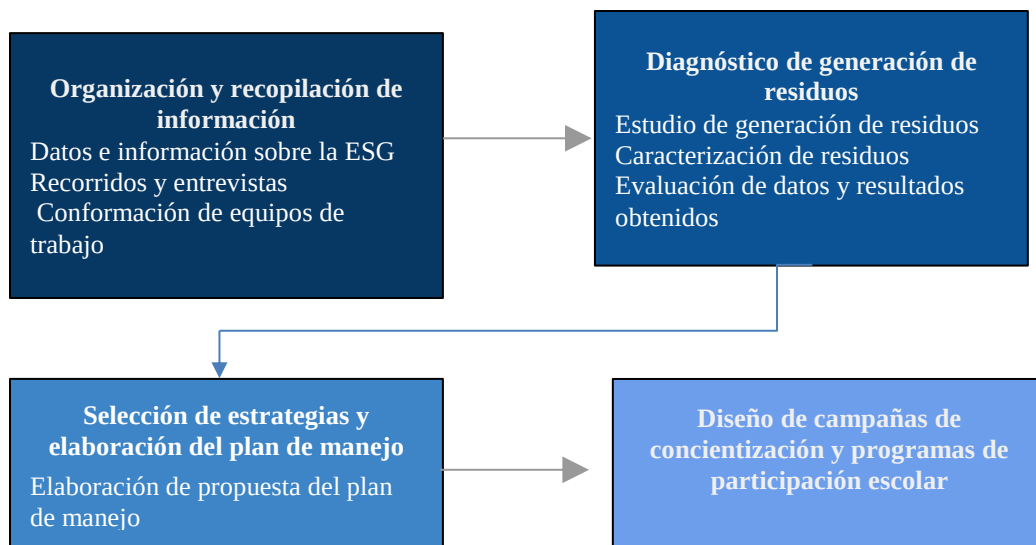


Figura 1. Diagrama de flujo del proyecto. Fuente: elaboración propia

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron diferentes actividades dentro de las etapas ilustradas en la Figura 1, mismas que se describen a continuación:

2.1 Primera etapa: organización y recopilación de información

- ❖ Se investigaron los antecedentes de la ESG sobre la gestión de sus residuos sólidos, para esto, se entrevistó a los directivos de la escuela quienes brindaron la información necesaria para iniciar el proyecto.
- ❖ Se identificaron y coordinaron los equipos de trabajo de los actores involucrados en la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) en la ESG con los autores del proyecto, mediante una junta en la que se planteó la forma de trabajo durante el desarrollo del proyecto y se resolvieron dudas acerca del mismo.
- ❖ Se recopilaron datos y se evaluó la situación actual del manejo de sus RSU, por medio de entrevistas a los encargados del aseo, visitas y recorridos que permitieron conocer el ciclo de los residuos dentro de la ESG, como muestran las figuras 2 y 3.



Figura 2. Instalaciones: almacén temporal de residuos



Figura 3. Instalaciones: almacén temporal de residuos

- ❖ Se evaluó la información obtenida de las entrevistas realizadas al director de la escuela y al jefe de personal de aseo y se identificaron los aspectos económicos, sociales y culturales de la ESG.

2.2 Segunda etapa: diagnóstico de generación de residuos

- ❖ Se asignó el taller de física de la ESG como área de trabajo para desarrollar las actividades necesarias del proyecto.
- ❖ Se realizaron 2 muestreos, cada uno en un período de 5 días, para determinar la generación total y *per cápita* correspondiente a la comunidad de la ESG. El primer estudio se realizó del 09/10/2017 al 13/10/2017 y el segundo del 6/11/2017 al 10/11/2017. El trabajo consistió en registrar los pesos de los residuos sólidos generados durante los días de muestreo, para esto se utilizó una báscula con capacidad de 200 kg modelo NEP 150TN (Figuras 4 y 5). Se muestreó de 7:00 a.m. a 7:40 p.m.



Figura 4. Báscula con capacidad de 200 Kg



Figura 5. Pesaje de bolsas con residuos

- ❖ Se eligieron los residuos generados el 11 de octubre de 2017 para el primer estudio de generación y se obtuvo una muestra de 30.92 kg. Para el segundo estudio se utilizaron los residuos del 7 de noviembre de 2017 y se trabajó con una muestra de 42.76 Kg; de acuerdo con las especificaciones de la NMX-AA-015-1985 [4], no fue necesario aplicar el método de cuarteo en ningún caso (Figura 6).



Figura 6. Preparación de la muestra de RSU

- ❖ Se obtuvo el peso volumétrico de las muestras siguiendo el procedimiento establecido en la NMX-AA-019-1985 [5]. En esta determinación se empleó un tambo de plástico con capacidad de 200L y se registró el peso del recipiente vacío y sus dimensiones. Se llenó con los residuos del estudio de generación, teniendo cuidado de no presionarlos con la finalidad de no alterar los datos de densidad que se obtendrían, como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Determinación de peso volumétrico

- ❖ Se seleccionaron y cuantificaron los subproductos de los residuos en las categorías que se muestran en la tabla 1, de acuerdo a la NMX-AA-022-1985 [6] y se registraron los datos.

Tabla1. Categorías para selección y cuantificación de subproductos

Clasificación	Subproductos
Orgánicos	Alimentos
	Poda
Papel y cartón	Papel
	Cartón
	Multicapas: Tetrapak®
Plásticos	Bolsas de plástico
	Envolturas de dulces
	PET
	Unicel
	Polietileno de alta densidad (PEAD): envases de yogurt para beber y leche.
	Bolsas metalizadas
	Otros plásticos
Vidrio	Vidrio
Metales	Aluminio (latas y papel)
	Otros metales
Sanitarios	Papel de baño
	Toallas sanitarias
Varios	Madera
	Textiles
	Otros (Útiles)
Residuos peligrosos	Medicamentos, pilas, residuos contaminados con pinturas o aceites, jeringas.
Residuos finos	Finos
	Sobrante
Otros Papeles	Otros Papeles

- ❖ Se analizaron los resultados obtenidos en los métodos realizados (estudio de generación, peso volumétrico y caracterización). Para tal efecto se utilizaron hojas de cálculo y los resultados anteriores se graficaron para facilitar su interpretación.

Para la determinación de peso volumétrico se usó la siguiente ecuación establecida en la NMX-AA-019-1985 [4]:

$$Pv = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Dónde:

PV = peso volumétrico en kg/m³

P= peso bruto de los residuos sólidos menos tara en kg

V= volumen del recipiente en m³

La determinación de la composición de subproductos se obtuvo con la ecuación que establece la NMX-AA-022-1985 [6]:

$$P_s = \frac{G_1 \times 100}{G} \quad (2)$$

Dónde

P_s = Porcentaje del subproducto considerado.

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

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kg).

2.3 Tercera etapa: selección de estrategias y elaboración del plan de manejo

- ❖ Con base en los resultados de los estudios realizados se seleccionaron estrategias para los residuos susceptibles de valorización y minimización, considerando la infraestructura y las condiciones de la ESG.
- ❖ Se elaboró la propuesta del plan de manejo de acuerdo con los requisitos legales aplicables en el Estado de México.

3. Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados que se obtuvieron por etapa, de acuerdo a la metodología anterior.

3.1 Primera etapa: organización y recopilación de la información

El plantel está compuesto por 2 autoridades, 1069 alumnos, 57 profesores y trabajadores. Al realizar los recorridos por las instalaciones se identificaron las diferentes áreas que componen el plantel, así como el flujo de los residuos: generación, recolección y disposición final. Los problemas detectados son los siguientes:

- ❖ Ausencia de recipientes en las zonas comunes.
- ❖ Falta de cultura y malos hábitos: los estudiantes arrojan sus residuos al suelo.
- ❖ Presencia de animales: los perros sacan los residuos de los contenedores en el área destinada para almacenamiento temporal.

3.2 Segunda etapa: diagnóstico de generación de residuos

Para interpretar los datos obtenidos en los diferentes estudios, se realizó el promedio de dichos resultados, mismos que se presentan en la tabla 2. La generación semanal de RSU fue de 172.93 kg, con un valor promedio de generación diaria de 34.59 kg; con este dato y considerando las 1128 personas que componen la institución resulta una generación per cápita de 0.031 kg / día persona. Este valor se aproxima a los datos de generación de instituciones como la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), en donde se generan 0.044 kg / día persona y en la figura 8 se muestra el comportamiento de la generación durante la semana.

Tabla 2. Resultados promedio de los estudios de generación

Primer estudio		Segundo estudio		Promedio
Fecha	Generación (kg)	Fecha	Generación (kg)	Generación (kg)
09/10/2017	33.01	06/11/2017	33.68	33.345
10/10/2017	33.75	07/11/2017	42.76	38.255
11/10/2017	30.92	08/11/2017	38.62	34.77
12/10/2017	27.57	09/11/2017	36.76	32.165
13/10/2017	34.3	10/11/2017	34.49	34.395
Información adicional				
Generación semanal (kg)	159.55	186.31		172.93
Promedio diario (kg)	31.91	37.26		34.59
Generación per cápita (kg/día* persona)	0.028	0.033		0.031
Desviación estándar (kg)	2.7	3.63		3.19

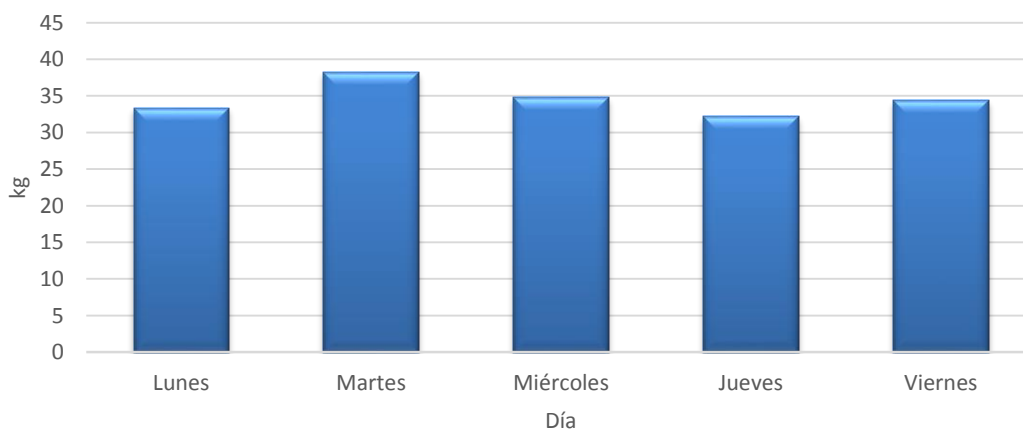


Figura 8. Promedio de la generación semanal de RSU

La figura 9 muestra el promedio semanal de generación de RSU de los dos estudios representados por áreas de generación, de éstas la mayor concentración de RSU generados corresponde a los salones de clase con el 59%, le sigue el patio cívico con el 11% y las oficinas con el 9%; el comportamiento es similar al encontrado en cada estudio de generación.

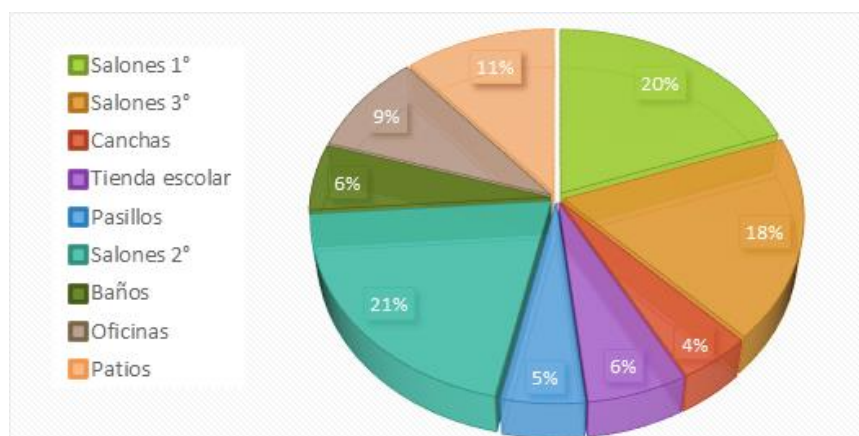


Figura 9. Promedio de la generación semanal de RSU por área en la ESG

El promedio de las dos clasificaciones en subproductos que se realizaron se presenta en la figura 10. Se obtuvo que las 4 categorías seleccionadas como relevantes por la cantidad de generación, representan los residuos que se pueden aprovechar para beneficio de la ESG.

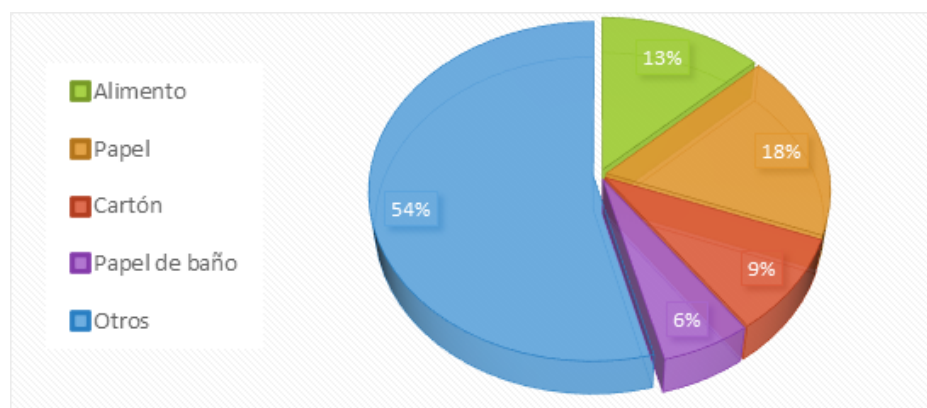


Figura 10. Composición en subproductos: promedio.

El peso volumétrico promedio de ambos estudios fue de 46.31 kg/ m³. Este valor es aceptable por la composición y el tipo de residuos que predominan en la institución (residuos blancos).

Los residuos que se seleccionaron para someter al plan de manejo son: papel, cartón y PET. Además de ser los RSU que se generan en mayor proporción dentro de la institución, son residuos altamente aprovechables y valorizables.

3.3 Tercera etapa: diseño de campañas de concientización y programas de participación escolar

Las siguientes propuestas (tabla 3 y tabla 4) se diseñaron para contribuir en el logro de objetivos del proyecto y plan de manejo, y se adaptaron a la infraestructura de la ESG.

Tabla 3. *Propuestas de participación escolar para el desarrollo del proyecto*

Programas de participación escolar	
La participación escolar tiene como objetivo involucrar a toda la comunidad en las actividades propuestas en el PMRSU, para la correcta gestión de sus residuos.	
Estrategia	Objetivo
Programa de separación de residuos	Separar y aprovechar los materiales susceptibles de valorización: PET, papel y cartón. Acopiar el papel, cartón y PET generados en la institución, para su posterior comercialización
	Alimentos: Elaborar composta con los residuos alimenticios y de poda.
Conformación de un Comité	Coordinar, desarrollar, evaluar y dar seguimiento al plan de manejo.
Centro de acopio escolar	Involucrar a la comunidad escolar en la separación y disposición final de los residuos generados en casa y fomentar la participación en sus hogares.
Libérate	Contribuir al buen desarrollo del programa de separación; desechar papeles, cuadernos y libros que considere innecesarios, al finalizar cada ciclo escolar.

Tabla 4. *Propuestas de concientización y difusión para el desarrollo del proyecto*

Campañas de concientización y difusión	
El objetivo de diseñar campañas de difusión es dar a conocer la información sobre el PMRSU, las formas de participación y la importancia y beneficios del adecuado manejo de residuos en la institución.	
Estrategia	Objetivo
Redes sociales	Compartir y actualizar información relacionada al manejo integral de RSU en la institución y educación ambiental.
Juntas grupales	Involucrar a los padres de familia en las estrategias de minimización y el PMRSU.
Carteles e infografías	Concientizar a la comunidad escolar de los problemas ambientales ocasionados por los residuos
Cero uncel	Sustituir el uncel que utilizan los puestos de comida dentro del plantel.

4. Conclusiones

Este proyecto tuvo como objetivo elaborar la propuesta del plan de manejo de residuos sólidos urbanos (PMRU) para la Escuela Secundaria General No. 20 “Rafael Ramírez” (ESG), con la finalidad de contribuir con un manejo integral de los RSU generados en el plantel utilizando las herramientas y conocimientos adquiridos a lo largo de la licenciatura.

La ESG es una institución que alberga más de 1000 personas diarias por 12 horas continuas de trabajo, esto quiere decir que, durante el desarrollo de sus actividades, generan una cantidad significativa de residuos. De éstos existen algunos que pueden ser susceptibles de valorización, como el PET, papel, cartón y aluminio; sin embargo, la comunidad escolar no conoce los beneficios ambientales de una disposición final adecuada, y por lo tanto no se implementan estrategias y actividades que ayuden a minimizar y aprovechar estos residuos.

Se realizaron dos estudios de generación en las instalaciones de la ESG para determinar el tipo, la cantidad total y per cápita de residuos. El diagnóstico fue la base para plantear las estrategias de valorización y minimización, campañas de difusión con la información necesaria para promover buenas prácticas de operación e identificar las áreas de oportunidad, permitiendo que la comunidad se involucre en el desarrollo del PMRSU propuesto.

Los resultados de los estudios de campo permitieron observar cómo influyen las tradiciones y costumbres en la generación y composición de los residuos. El segundo estudio se realizó una semana después de la celebración de día de muertos y presentó un aumento en la generación total semanal del 17%, al compararse con los resultados del primer estudio.

Los residuos que se generaron en mayor cantidad fueron los de alimento, papel y cartón, estos últimos dos se seleccionaron como objeto del plan de manejo y se incorporaron los residuos de PET, debido al amplio mercado de reciclaje que se encuentra a los alrededores de la ESG.

La minimización de RSU es un concepto que se busca incorporar a la ESG, mediante acciones que permitan cambiar hábitos de consumo y eliminar residuos que terminan en los sitios de disposición final, como el unicel.

El cumplimiento y desarrollo adecuado del proyecto dependerá del interés y de la participación de la comunidad escolar. Los beneficios ambientales que se pueden obtener a partir de la gestión de RSU son relevantes, al hablar de una institución con matrícula de más de 1000 estudiantes. Estos beneficios además irán en aumento al servir como ejemplo para que las mismas autoridades gubernamentales y educativas de la localidad implementen su propio PMRSU.

Referencias bibliográficas

- [7] SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2007). *Gestión Ambiental en México*. En línea <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/Gestion_Ambiental.pdf> Recuperado el 18/09/2017.
- [8] SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). NOM-161-SEMARNAT-2011 “*Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo*”, DOF, 1 de febrero, México, D.F.
- [9] SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, DOF, 8 de octubre, México, D.F.

- [10] SCFI, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1992a). NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos-Muestreo – Método de cuarteo. Secretaría de desarrollo Urbano y ecología. Publicada en el DOF de 6 de noviembre de 1992.
- [11] SCFI, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1992b). NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales –Peso volumétrico "in situ". Secretaría de desarrollo Urbano y ecología. Publicada en el DOF de 6 de noviembre de 1992.
- [12] SCFI, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1992). NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente - Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Selección y cuantificación de subproductos. Secretaría de desarrollo Urbano y ecología. Publicada en el DOF de 6 de noviembre de 1992.

Educación Ambiental y Manejo Integral de Residuos Sólidos en Educación Básica

¹Pilar A. García, ²Jorge Lugo, ²Rocio Vaca, ²Pedro del Aguila

¹Tesista de licenciatura en biología. ²Investigador de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, carretera Toluca - Ixtlahuaca km 15.5, Estado de México, CP 50200 delaguila.1959@gmail.com

Resumen

Es necesario que en las instituciones educativas los estudiantes adquieran conocimientos sobre la importancia del medio natural, valores ambientales y maneras de cuidar su entorno, por lo que este trabajo tiene como objetivo impartir un curso con temas complementarios al programa de Ciencias Naturales en educación básica, para crear una conciencia ambiental relacionada al aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos (RSO). Se contó con una muestra del 225 de estudiantes dividido en dos grupos: 118 (5^{to} grado) y 107 (6^{to} grado) evaluados mediante una actividad de separación de RSO, pero solo al primer grupo se le capacitó por 15 horas. Este curso se impartió en la “Escuela Primaria José Ma. Morelos y Pavón” ubicada en San Cayetano Morelos, Toluca, Estado de México. Se aplicó un cuestionario a la población escolar para evaluar la limpieza y responsabilidad ambiental antes y después del curso. La recopilación de la información se procesó estadísticamente. Los resultados evidenciaron que alumnos de 5^{to} grado realizaron una mejor separación de los RSO probablemente por el curso previo, en comparación con los alumnos de 6^{to} grado, además se cumplió con la clasificación y manejo de los RSO en donde se clasificaron en: 7.5% de bolsas de plástico, 11% orgánicos, 12 % botellas de plástico, 23% papel bond y 46% inorgánicos; al final se vendieron 115.5 kg a lo largo de 2 meses generando un ingreso de \$245.00, beneficiando de manera sustentable a la comunidad escolar, su economía y al cuidado ambiental.

Palabras Clave: educación ambiental, educación básica, residuos sólidos orgánicos, sustentabilidad, valores.

1. Introducción

Vivimos en un mundo sumergido en el consumismo generando una gran cantidad de RSO [2], así mismo, la falta de separación de los RSO, y una mala administración de los vertederos municipales puede ser causa de diversos problemas ambientales y poner en riesgo la seguridad de la población; ya que estos incluyen residuos sanitarios, los cuales al ser mezclados con otro tipo de residuos como los orgánicos, se genera un sustrato fértil para hongos, bacterias y otros organismos dañinos a la salud humana [6]; de tal forma que, no contar con un plan de manejo y un sitio de disposición final adecuados para los RSO, causa la contaminación del suelo, el agua y el aire; lo cual se traduce en un elevado deterioro ambiental; por lo que es de gran importancia hacer uso de la educación ambiental (EA), como una herramienta hacia el desarrollo sustentable, el cual se definió en 1987 durante el informe “*Nuestro futuro común*”, también conocido como “*Informe Brundtland*”, como aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades; para que esto sea posible, debe existir una relación equilibrada entre la sociedad, el medio ambiente y la economía [11].

En 1992 se reafirmó la educación como fundamento de la sustentabilidad mediante el compromiso *Agenda 21* de la Cumbre de Río con un nuevo paradigma, “la educación desempeña un papel importante para reorientar nuestras pautas de acción y contribuir a la transformación progresiva de las formas de utilizar los recursos y de las interrelaciones personales desde criterios de sustentabilidad ecológica y equidad social” [7], así mismo la Ley General de Educación, en su última reforma (2017) establece en el artículo 7 fracción XI. Inculcar los conceptos y principios fundamentales de la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable, la prevención del cambio climático, así como la valoración de la protección y conservación del medio ambiente como elementos esenciales para el desenvolvimiento armónico e integral del individuo y la sociedad. Por lo

cual, la escuela no debe ser un lugar en el que solo se adquieran conocimientos, sino debe ser el lugar que contribuya a formar la personalidad, preparando a los estudiantes para la convivencia en una sociedad con valores ambientales [3], es así que el proceso pedagógico debe ser interpretado desde puntos fundamentales como la promoción de la vida, fomentando el cuidado del ambiente, generando un equilibrio dinámico que consiste en crear una sabiduría integral sobre la naturaleza y la ética, para representar un cambio de mentalidad, conceptos y valores ambientales [5]. Por lo que el presente trabajo tiene como propósito desarrollar un curso con temas complementarios al programa de Ciencias Naturales en educación básica, con el fin de crear una conciencia ambiental y de aprovechamiento de los RSO a través de un programa de manejo de RSO.

2. Metodología

Se revisó la información sobre los temas de contaminación ambiental, cuidado ambiental y sustentabilidad contenida en los libros de texto gratuito de primaria alta (4^{to}, 5^{to} y 6^{to} grado) [8], [9], [10], al notar algunas carencias en la información, se diseñó un curso teórico práctico de EA [11] con los siguientes temas: 1. Ecosistemas (*tipos de ecosistemas, características principales y su principal función*), 2. El agua (*¿de dónde viene el agua que tomamos?, ¿cómo se contamina el agua con nuestras actividades cotidianas?, ¿qué podemos hacer para dejar de contaminar el agua?*), 3. El suelo (*¿cómo se forma el suelo?, usos del suelo, ¿cómo se degrada y se contamina el suelo con nuestras actividades diarias?, ¿qué podemos hacer para no contaminar el suelo?*, 3 Rs, *aprovechamiento de RSO y compostaje*), 4. El aire (*¿qué es y de qué se compone el aire?, importancia de los árboles en la producción de O₂, el ciclo del carbono, ¿cómo se contamina el aire con las actividades humanas frecuentes?, ¿qué podemos hacer para no contaminar el aire?*), 5. Valores relacionados al cuidado ambiental, costumbres y tradiciones.

Igualmente, se diseñó un cuestionario [4] para evaluar los hábitos de limpieza y valores ambientales, el cual se aplicó a los alumnos de primaria alta antes de comenzar con las sesiones del curso anteriormente descrito.

Para conocer el tamaño de los contenedores a utilizar se midió el peso de los RSO generados por los grupos de 5^{to} y 6^{to} grado escolar a lo largo de cinco días hábiles antes de comenzar con el curso, respondiendo a las preguntas: ¿qué se genera?, ¿en dónde se genera?, ¿qué cantidad se genera? [1], con la intención de diseñar un plan de manejo y caracterizar los RSO generados por ambos grupos.

Posteriormente se colocaron botes clasificadores de basura en ambos grupos de estudio con los siguientes colores y clasificaciones: 1 bote gris para residuos no reciclables (unicel, TetraPak, popotes, desechables (cubiertos, vasos y platos), papel higiénico, bolsas de plástico con aluminio y cualquier otro producto que no pertenezca a ninguna de las otras clasificaciones), 1 bote naranja para bolsas de plástico sin aluminio, 1 bote verde para residuos orgánicos o compostables (restos de comida, madera, viruta de lápices, restos de jardinerías), 1 bote azul para papel bond y cartón, y 1 bote blanco para botellas de plástico y latas de hierro o aluminio. Esta clasificación de diseño con base a los productos recibidos en los lugares de compra venta de residuos con volúmenes bajos.

Se impartieron los temas de EA a los alumnos de 5^{to} grado durante 15 días consecutivos en sesiones de 1 hora teórica-práctica, así mismo, se les enseñó a separar los RSO; se les proporcionaron botes con las clasificaciones descritas arriba a los alumnos de 5^{to} y 6^{to} al mismo tiempo, pero solo a los grupos de 5^{to} se les proporcionó la información de forma inmediata.

Una vez concluidas las sesiones de EA en los salones de 5^{to}, se impartió una sesión de 1 h a los alumnos de 4^{to} y 6^{to} grado, enseñándoles a separar los residuos sólidos, sin embargo los alumnos de 4^{to} no contaron con botes para clasificar los RSO por lo tanto se descartaron. Los RSO generados y separados por los grupos de 5^{to} y 6^{to} grado fueron vendidos una vez por semana durante dos meses siguiendo el plan de manejo propuesto por Armijo de la Vega en el 2007 [1].

2.1 Diseño Estadístico

La estadística para el manejo de los datos de los cuestionarios fue de tipo descriptiva, elaborando gráficos con porcentajes para conocer las tendencias en las diferencias en el auto criterio de los estudiantes de acuerdo a sus hábitos de limpieza y valores ambientales.

3. Resultados

Los resultados obtenidos de las preguntas 1, 5, 6, y 8 del cuestionario aplicados antes y después del curso se muestran en las figuras 1-8, siendo estas las más representativas del estudio.

En la Figura 1 se observa que antes del curso poco más del 70% de los alumnos de 4^{to} y, arriba del 80% de los alumnos de 5^{to} y 6^{to} grado aseguran siempre tirar la basura en un bote, incluso cuando no hay bote la guardan hasta encontrar uno; mientras que solo arriba del 6% asegura depositar los residuos en el suelo si no hay un bote de basura cerca. Para la Figura 2 se indica que después del curso, más del 60% de los estudiantes de 4^{to} y 6^{to}, y menos del 50% de los alumnos de 5^{to} grado aseguran siempre tira la basura en un bote, incluso cuando no hay bote la guardan hasta encontrar uno, por otro lado el 26.9% dice dejar la basura en el piso en caso de no contar con un bote cerca, y el 23% afirma casi nunca depositan la basura en los contenedores adecuados.

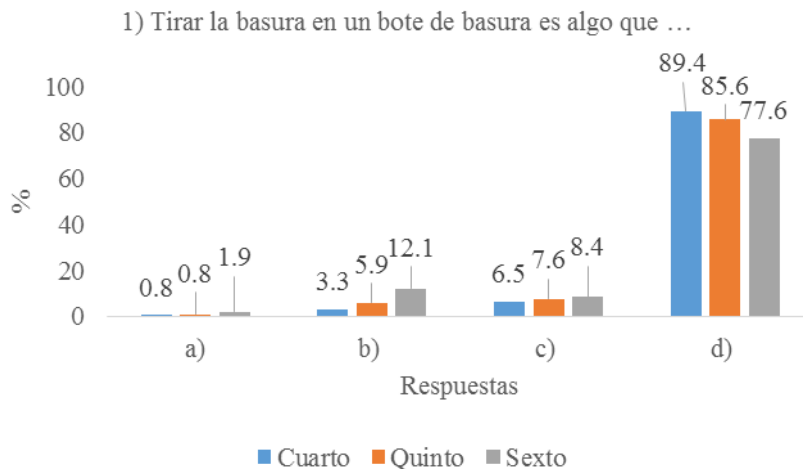


Figura. 1. Respuesta en porcentaje a la pregunta 1 del cuestionario para medir valores y hábitos de limpieza en alumnos de primaria alta, antes de impartir el curso EA. (Respuestas: a) no hago, b) casi nunca hago, c) hago si hay un bote, si no la dejo en el piso, d) siempre hago, y cuando no hay bote la guardo hasta encontrar uno).

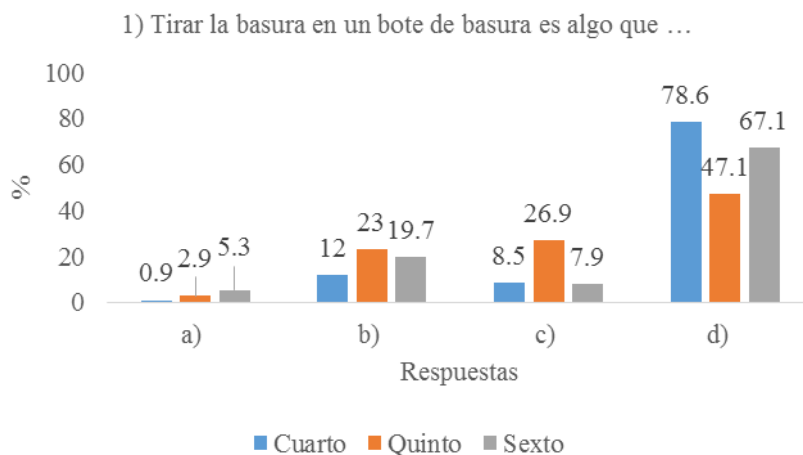


Figura. 2. Respuesta en porcentaje a la pregunta 1 del cuestionario para medir valores y hábitos de limpieza en alumnos de primaria alta, después de concluir el curso EA. (Respuestas: a) no hago, b) casi nunca hago, c) hago si hay un bote, si no la dejo en el piso, d) siempre hago, y cuando no hay bote la guardo hasta encontrar uno).

La Figura 3 muestra que antes de tomar el curso de EA, arriba del 20% de los estudiantes de primaria alta, dicen que separarían los RSO si se contara con botes clasificadores para hacerlo sin lugar a dudas. Posterior al curso de EA (Figura 4) se observa que más del 50% de los estudiantes aseguran que separar la basura, es algo que siempre hacen.

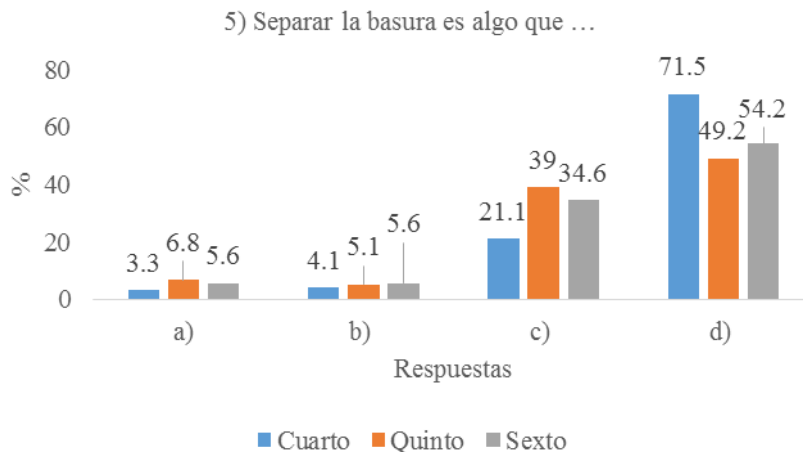


Figura. 3. Respuesta en porcentaje a la pregunta 5 del cuestionario para medir el hábito de separación de RSO en alumnos de primaria alta, antes de impartir el curso EA. (Respuestas: a) no hago, b) hago solo si los demás lo hacen, c) haría si hubiera botes para separarla, d) siempre hago).

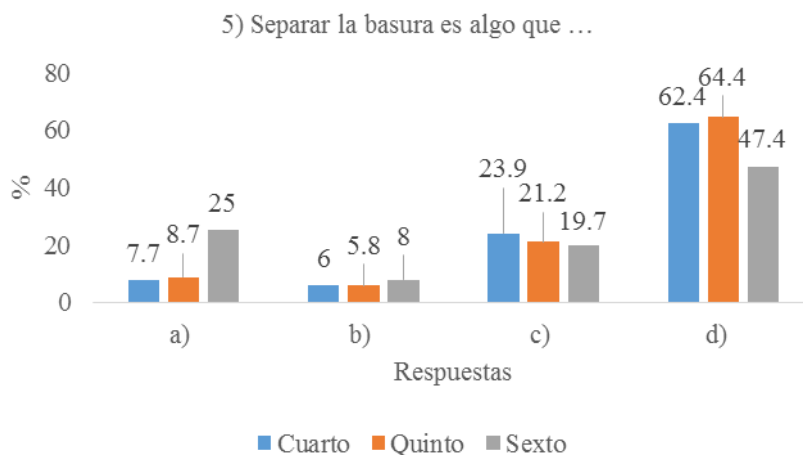


Figura. 4. Respuesta en porcentaje a la pregunta 5 del cuestionario para medir el hábito de separación de RSO en alumnos de primaria alta, después de concluir el curso EA. (Respuestas: a) no hago, b) hago solo si los demás lo hacen, c) haría si hubiera botes para separarla, d) siempre hago)

La Figura 5 señala que antes de tomar el curso de EA entre el 50% y 60% de los alumnos de 4^{to}, 5^{to} y 6^{to}, la mayor parte del tiempo le dan otro uso a los RSO y les parece de gran utilidad; por otra parte en esta misma figura se muestra que después de llevar el curso de EA, el 50% de los alumnos de 5^{to} aseguran que darle otro uso a la basura les parece entretenido y es algo que hacen algunas veces.

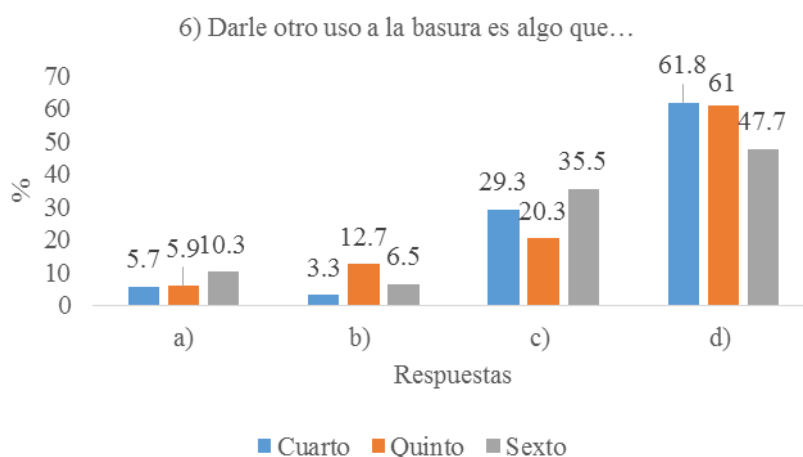


Figura. 5. Respuesta en porcentaje a la pregunta 6 del cuestionario para medir el hábito de reutilizar los RSO de los alumnos de primaria alta, antes de impartir el curso EA. (Respuestas: a) no hago, b) no sé cómo hacer, c) algunas veces hago y es entretenido, d) hago la mayor parte del tiempo y es de gran utilidad).

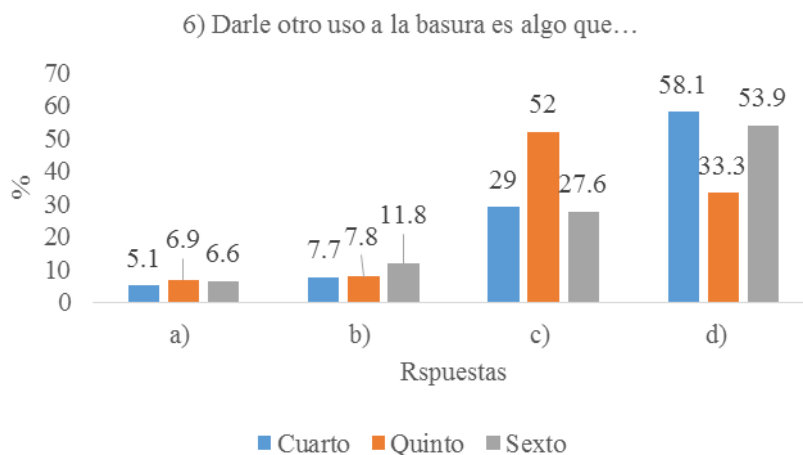


Figura. 6. Respuesta en porcentaje a la pregunta 6 del cuestionario para medir el hábito de reutilizar los RSO de los alumnos de primaria alta, después de concluir el curso EA. (Respuestas: a) no hago, b) no sé cómo hacer, c) algunas veces hago y es entretenido, d) hago la mayor parte del tiempo y es de gran utilidad).

La Figura 7 permite observar que antes del curso de EA entre el 30% y 50% de los alumnos de primaria alta sabían que los residuos que generan se reciclan. Posterior al curso de EA (Figura. 8) se puede ver que entre el 50% y 60% de los estudiantes saben que los residuos que generan contaminan ríos y lagos.

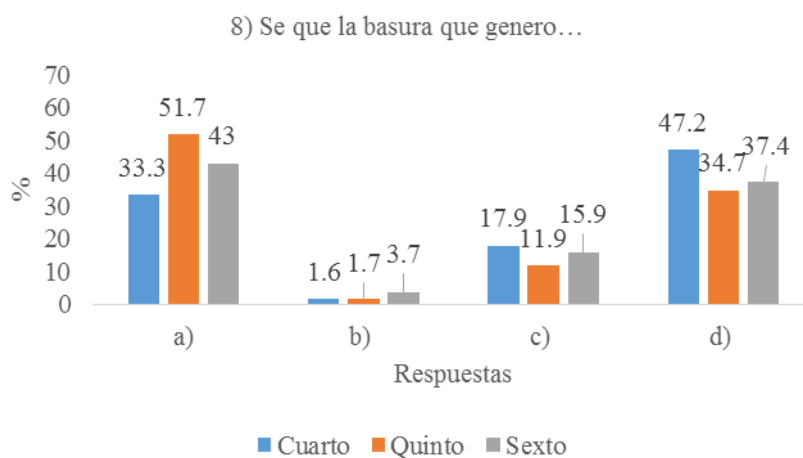


Figura. 7. Respuesta en porcentaje a la pregunta 8 del cuestionario para medir el conocimiento de los alumnos de primaria alta sobre el destino final de los RSO que generan, antes de impartir el curso EA. (Respuestas: a) contamina ríos y lagos, b) no contamina porque es poquita, c) se lleva a un basurero, d) se recicla).

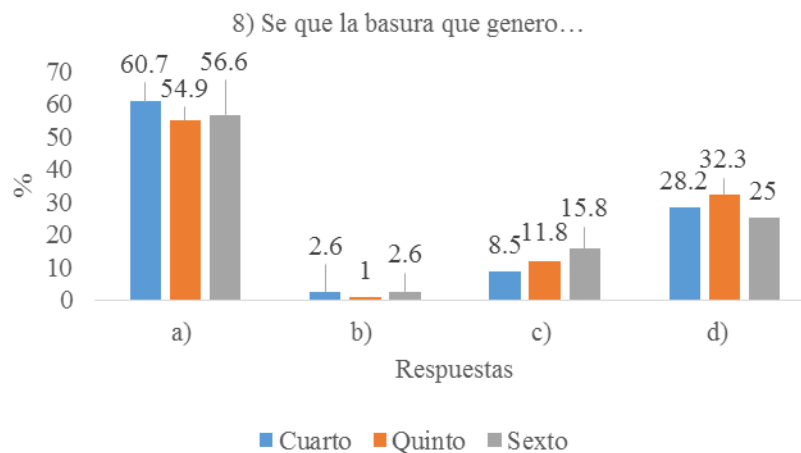


Figura. 8. Respuesta en porcentaje a la pregunta 8 del cuestionario para medir el conocimiento de los alumnos de primaria alta sobre el destino final de los RSO que generan, después de concluir el curso EA. (Respuestas: a) contamina ríos y lagos, b) no contamina porque es poquita, c) se lleva a un basurero, d) se recicla).

En la Figura 9 se muestran los porcentajes de los residuos generados por los alumnos de 5^{to} y 6^{to} durante el tiempo del experimento, donde 46% es constituido por residuos inorgánicos, 12% de botellas de plástico, 23% papel bond, 11% de residuos orgánicos y 7.5% de bolsas de plástico.

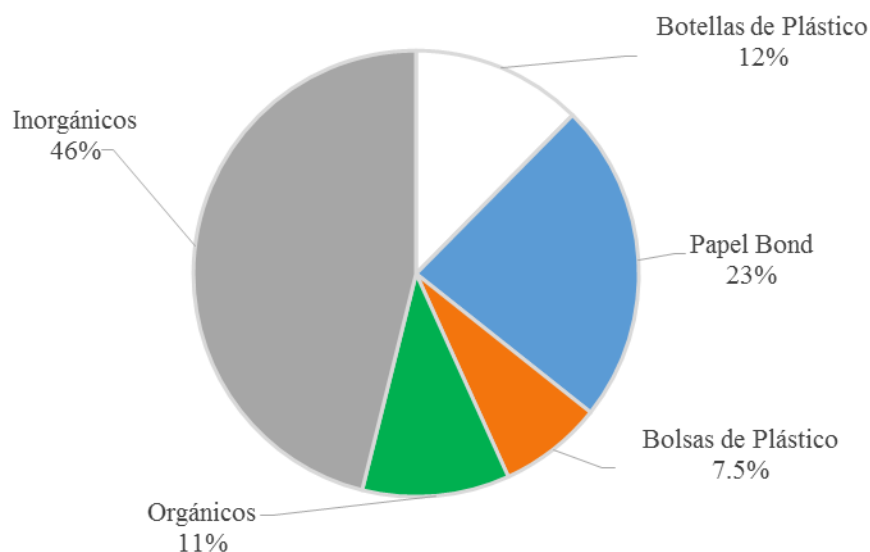


Figura. 9. Porcentaje de los distintos tipos de RSO generados por los alumnos de 5^{to} y 6^{to} grado de primaria.

La Tabla 1 muestra la cantidad en kilogramos de los residuos aprovechables para su venta, de los cuales 103 kg fueron de papel bond, 6.5 kg de botellas de plástico y 6 kg comprendidos entre bolsas de plástico y cartón, sumando en total 115.5 kg de residuos aprovechables en la compra venta.

Tabla 1. Ganancias obtenidas por la venta de distintos tipos de RSO, en el transcurso de dos meses.

Tipo de residuo	Peso en kg	Recuperación monetaria
Papel bond	103	\$206
Botellas de plástico	6.5	\$27
Cartón y bolsas de plástico	6	\$12
TOTAL	115.5	\$245



Figura. 10. Contenedores empleados para separar los RSO en los grupos de 5^{to} y 6^{to} grado.



Figura. 11. Contenedores empleados para separar los RSO en los grupos de 6^{to} grado, los cuales cuentan con el siguiente orden de izquierda a derecha 1. Inorgánicos, 2. Papel bond, 3. Orgánicos, 4. Bolsas de plástico, 5. Botellas de plástico.



Figura. 12. Contenedores empleados para separar los RSO en los grupos de 5^{to} grado, los cuales cuentan con el siguiente orden de izquierda a derecha, para la fila de arriba 1. Inorgánicos, 2. Botellas de plástico, 3. Bolsas de plástico; para la fila de debajo de izquierda a derecha 4. Papel bond, 5. Orgánicos.

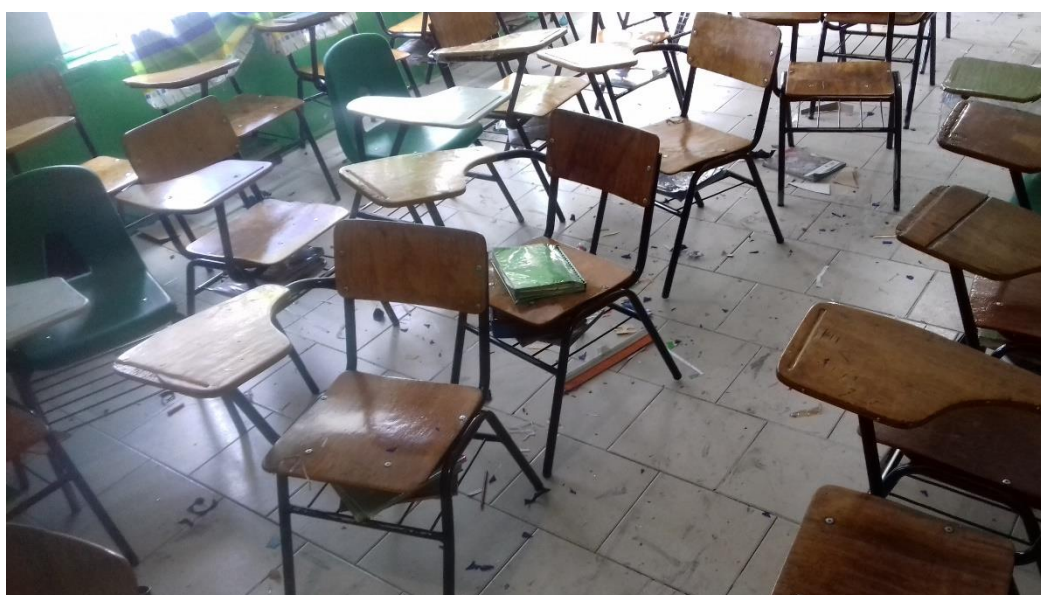


Figura. 13. Salón de 5^{to} grado al finalizar las clases.

3. Discusión

De acuerdo a los datos arrojados con base a la aplicación del cuestionario antes y después de impartir el curso de educación ambiental, se observa lo siguiente: en lo que corresponde a los resultados descritos en las Figuras 1 y 2 se puede ver claramente un aumento en la honestidad en la respuesta de los alumnos de 5^{to} al completar la primea frase del cuestionario “1. Tirar la basura en bote de basura es algo que...”, ya que antes del curso un 85.6% de ellos afirmaba que “siempre depositaba la basura en un bote e incluso si no había un bote cerca, la guardaban hasta encontrar uno” (inciso d de la Figura 1), sin embargo cabe mencionar que al final de las clases los salones aparecían con bastantes residuos en el piso (Figura 13); esta

misma respuesta muestra una disminución del 38% en el cuestionario aplicado después del curso, lo que conduce a un incremento cerca de un 20% en las afirmaciones “*casi nunca hago y hago si hay un bote, sino la dejo en el piso*” (incisos *b* y *c* de la Figura 2). De igual manera se puede percibir un cambio referente a la honestidad o un cambio de auto criterio en la respuesta a la cuestión “5. *Separar la basura es algo que...*”, ya que las instalaciones escolares no contaban con contenedores para clasificar los RSO antes de comenzar con el presente trabajo; aunque cabe afirmar que antes del curso cerca del 50% los alumnos de 5^{to} grado dijeron que era algo que “*siempre hacían*” (inciso *d* de la Figura. 3), esta misma respuesta generó un aumento del 15% después de impartir el curso de EA a los alumnos de este grupo; caso contrario se dio en los alumnos de 6^{to} grado estando en un 34.6% (“*separarían la basura si hubiera botes para separarla*”) su respuesta antes del curso de EA, y este porcentaje disminuyó hasta un 15% después del curso, pero en cambio aumentó en un 20% la afirmación “*no hago*” (incisos *c* y *a* respectivamente de la Figura 4).

La frase “6. *Darle otro uso a la basura es algo que...*” tiene el propósito de medir el hábito de los estudiantes sobre la reutilización de los RSO (Figuras 5 y 6). Las respuestas respectivas a dicha cuestión presentan cambios notorios, debido a que antes de tomar el curso de EA, el 61% de los estudiantes de 5^{to} grado que afirmaba que era algo que “*la mayor parte del tiempo hacen y es de gran utilidad*” (inciso *d* de la Figura 5), mengua en un 28.5% después de llevar el curso de EA, favoreciendo ahora con un 32% extra la afirmación “*algunas veces hago y es entretenido*” (inciso *c* de la Figura 6).

Por último se cuestiona la noción de los estudiantes sobre el paradero final de los RSO que cada individuo produce en su centro escolar, a través de la frase “8. *Sé que la basura que genero...*”(Figuras 7 y 8), donde la respuesta “*se lleva a un basurero*” (inciso *c* de las Figuras 7 y 8), la cual se esperaba con mayor popularidad, presentó una respuesta contraria antes y después del curso de EA; sin embargo antes del curso de EA el 47.2% de los alumnos de 4^{to} eligieron la respuesta “*se recicla*” (inciso *d* de la Figura 7), misma respuesta que muestra una disminución del 19%, fortaleciendo el conocimiento sobre la contaminación que causan los RSO. Continuando con la afirmación 8 los alumnos después de tomar el curso continuaron fortaleciendo la información adquirida que se muestra con un incremento del 27% en la afirmación “*contamina ríos y lagos*” (inciso *a* de la Figura 8); pero los alumnos de 5^{to} y 6^{to} mantuvieron sin cambio en un 50% su respuesta favoreciendo la misma afirmación antes mencionada.

Con respecto a la clasificación de los RSO realizada que se presenta en las Figuras 10 y 11 la cual se representa gráficamente en la Figura 9 donde el valor más alto corresponde a la categoría de inorgánicos con un 46%, esto se debe al alto consumo de productos con envolturas fabricadas de materiales combinados como plástico y aluminio (frituras empaquetadas), así como de cubiertos desechables; pero bien, es necesario mencionar que el 46% que representan los residuos inorgánicos también se debe a la incorrecta separación de estos que fue ejecutada por alumnos de 5^{to} y 6^{to}, provocando el desaprovechamiento para venta de papel bond en su mayoría, por contaminación con salsas o líquidos de otros residuos. Como segundo residuo con mayor presencia se encuentra el papel bond con un 23%, seguido de las botellas de plástico con el 12%, los residuos orgánicos con el 11% y por último las bolsas de plástico las cuales representan tan solo el 7.5%. Con base en lo anterior, el peso total de los residuos aprovechables para su venta fue de 115.5 kg, generando una ganancia de \$245. 00 MN; de los cuales en su mayoría fueron de papel bond proveniente de archivo muerto y actividades de clase.

5. Conclusión

En conclusión el curso de EA con las temáticas propuestas en este trabajo, si cumple con el propósito de informar a los alumnos sobre las problemáticas ambientales causadas por la falta de separación de los RSO desde el punto en el que se originan.

La adecuada separación de los RSO realizada por los alumnos de 5^{to} grado, no depende de la información recibida, sino de reafirmar la información constantemente.

Un manejo adecuado de los RSO, con disposición final en lugares de compra venta (para su reciclaje posterior), permitiría a las instituciones de educación pública un ingreso constante, el cual bien administrado, puede cubrir algunos gastos imprevistos de dichas instituciones y así abolir las cuotas que se piden al comité de padres de familia.

Referencias Bibliográficas

- [1] Armijo de Vega, C., Ojeda Benitez, S., & Ramirez Barreto, E. (2007). Caracterización de residuos sólidos el potencial del reciclaje para una institución de educación superior. En S. Ojeda Benitez, & G. Lozano Olvera , *1er Encuentro de expertos en residuos sólidos en México* (págs. 79 - 79). Baja California, México: UABC.
- [2] Bernache, G. (2007). Los Estudios de la Basura en México. Una Retrospectiva. En S. Ojeda Benitez, & G. Lozano Olvera, *Encuentro de expertos en residuos sólidos en México* (págs. 4-34). Baja California: UABC.
- [3] Escalona, J., & Pérez, M. (2006). La educación ambiental en la Universidad de Los Andes: un estudio desde la perspectiva de los estudiantes de educación. *Educere*, 10, 483-490.
Recuperado el 14 de Diciembre de 2016.
- [4] Fernández Nogales, Á. (2004). *Investigación y Técnicas de Mercado*. Madrid : ESIC Editorial.
- [5] Montaña Salas, F. E. (2012). La educación ambiental en México ante la crisis ambiental. *Vinculando Desarrollo Sustentable + Desarrollo Personal*.
- [6] Saldaña Durán, C., & Bernache Pérez, G. (2007). El problema de los residuos domésticos en la ciudad de Tepic. En S. Ojeda Benitez , & G. Lozano Olvera , *1er Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos* (págs. 59 - 74). México: UABC.
- [7] SEMARNAT. (2006). *Estrategia de Educación Ambiental para la Sustentabilidad en México*. México: SEMARNAT.
- [8] SEP. (2016). *Ciencias Naturales Cuarto grado* . México: SEP.
- [9] SEP. (2016). *Ciencias Naturales Quinto grado* . México: SEP.
- [10] SEP. (2016). *Ciencias Naturales Sexto grado* . México: SEP.
- [11] UNESCO. (2012). *Educación para el Desarrollo Sostenible Libro de Consulta*. París: UNESCO.

Proyectos de sustentabilidad y economía circular como herramienta en la formación de Ingenieros Industriales: caso de estudio

¹Luz del C. Olivares Fong, ¹Samantha E. Cruz Sotelo, ¹Karla I. Velázquez Victorica, ¹Aída López Guerrero, ¹Olivia Yessenia Vargas Bernal, ¹Alan E. Yañez Canchola,

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, Blvd. Benito Juárez S/N Mexicali, Baja California, C.P. 21280, 686 566 42 70 ext. 1316, luz.olivares@uabc.edu.mx

Resumen

En 2009, la Facultad de Ingeniería campus Mexicali (FIM) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) inicia sus esfuerzos en materia de educación ambiental, incorporando temas de sustentabilidad en la preparación de los estudiantes. De acuerdo con la literatura, el modelo de Economía Circular (EC), el cual propone un cambio al paradigma “reducir, reutilizar y reciclar” conduciendo a una transformación más profunda y duradera, es relativamente nuevo, sin embargo, se ha implementado en varios países y empresas. Es importante mencionar que en México son pocos los proyectos de sustentabilidad bajo este modelo en Instituciones de Educación Superior (IES). En el presente trabajo se muestran iniciativas relacionadas a la formación de competencias sustentables bajo un enfoque de economía circular en la formación del Ingeniero Industrial (II) en la FIM mediante la participación en proyectos de investigación para generar conocimiento con el objetivo de reducir, reciclar y reutilizar los insumos en todo proceso productivo.

Palabras Clave: *Economía circular, lombricomposta, proyecto de trabajo, sustentabilidad.*

1. Introducción

En los últimos 65 años el planeta ha sufrido daños en su ecosistema, muchos de sus procesos se han visto alterados por la inconciencia y la cultura de consumismo de la sociedad. Los acuerdos y acciones locales y globales para atender la magnitud de los problemas ambientales multicausales se desenvuelven a ritmos excesivamente lentos para la rapidez con la que ocurre la destrucción [1]. En este sentido es importante entender a la Educación Ambiental como la herramienta para instruir y formar personas y comunidades en donde sus acciones transmitan una toma de decisión medioambiental más racional, así como fomentar una cultura del cuidado del medio ambiente. Además, Carta de la Tierra, documento que plasma los principios y valores necesarios para crear una sociedad global y sustentable, menciona el rol importante de las universidades por su función del saber, así como de investigar y producir conocimiento para beneficio de la sociedad, en su principio de acción que habla de la *integración en la educación formal y en el aprendizaje a lo largo de la vida, las habilidades, el conocimiento y los valores necesarios para un modo de vida sostenible* [2].

En relación a la educación ambiental, la UNESCO, a finales de los sesenta inició un esfuerzo para incluir el tema ambiental dentro de la educación, pero es hasta la *Confederación de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente* en Estocolmo, 1972, que el concepto de Educación Ambiental toma fuerza, consolidándose en los años 90 con el desarrollo de la Agenda 21 en universidades, donde se asume que las instituciones de educación superior están moralmente obligadas a enseñar y producir conocimientos, preparando tecnólogos y profesionales que favorezcan modelos de sostenibilidad ambiental [3]. En Latinoamérica es a mediados de los ochentas que las Instituciones de Educación Superior (IES) inician con propuestas teóricas para definir su participación en la formación del alumnado, relacionando la sustentabilidad [4].

Bajo este escenario, el papel de las IES es sumamente importante ya que deben contemplar en el perfil de egreso de sus futuros profesionistas, competencias para frenar el deterioro del medio ambiente, proponiendo soluciones verdes a los problemas ambientales. En su compromiso por formar de manera integral a su

alumnado y prepararlo a enfrentar las necesidades del mundo actual, el Programa Educativo de Ingeniero Industrial (PEII), busca que sus egresados obtengan competencias verdes, las cuales permiten la innovación tecnológica, ya sea para la eficiencia energética y uso de recursos naturales o para la reducción de emisiones contaminantes y residuos [5], teniendo presente a la sustentabilidad ambiental como la alternativa de cambio para la sociedad, aumentando la resistencia de los sistemas socioeconómicos y buscando evitar su colapso, mediante el rediseño de las industrias y la vida doméstica, bajo un sistema económico de modelo circular.

El PEII inicia actividades más enfocadas al tema de la sustentabilidad en el año 2009, mediante la apertura de programas de servicios social dedicados a la educación ambiental y diseño de actividades dentro de materias no relacionadas de manera directa con el tema ambiental. Como resultado de la experiencia de estas actividades, así como de los logros alcanzados por los alumnos de servicio social realizadas hasta este momento es como se conceptualiza y se define, a mediados del 2017, el proyecto Optimización de procesos en la valorización de residuos orgánicos en instituciones educativas, teniendo como primera etapa la producción de lombricomposta en un ambiente interior controlado; *la necesidad de entender mejor los factores socioculturales relacionados con el manejo de los desechos de la sociedad es reconocida por distintos organismos internacionales como un elemento indispensable para avanzar en los sistemas de tratamientos y disposición de los desechos en las naciones en desarrollo* [6].

La región Noroeste de México se caracteriza por tener una mayor demanda de Ingenieros Industriales que su oferta, sin embargo, en los últimos años se ha identificado la necesidad que dichos ingenieros manejen con facilidad proyectos enfocados a la sustentabilidad dentro de las industrias [7]. Al identificar esta necesidad por parte del sector industrial, así como de la comunidad se decide seguir la estrategia de enseñanza por medio de proyectos de trabajo, la cual apoya el desarrollo de capacidades personales y habilidades, las cuales normalmente son adquiridas por la experiencia laboral que los egresados van obteniendo al paso del tiempo, ya que normalmente se enseña más teóricamente que prácticamente [8]. Bajo este enfoque el papel del docente es de un facilitador en el proceso de aprendizaje del alumno, buscando su desarrollo en competencias verdes.

Así mismo, es importante la actualización de temas que lleven a la vanguardia a nuestros futuros egresados es por ello que iniciamos la introducción del concepto de economía circular (EC) en el proyecto de producción de lombricomposta, con alumnos de licenciatura (becarios). El concepto de EC se apoya en los fundamentos de la escuela ecologista, y propone un cambio al paradigma *reducir, reutilizar y reciclar* conduciendo a una transformación más profunda y duradera, que permita disminuir el impacto negativo causado por las actividades humanas sobre el medio ambiente [9]. La EC propone un cambio en los patrones de producción y consumo colocando una carga significativa sobre el planeta y su capacidad ambiental [10]; se enfoca en el diseño de procesos y productos dirigidos a minimizar impactos negativos al ambiente y la sociedad, reduciendo el uso de recursos no reutilizables, eliminación de materiales tóxicos y peligrosos, e incrementar la esperanza de vida, así como, maximizar el potencial al reusar productos y recuperar materiales [11].

El modelo EC, implica una nueva modalidad de hacer productos desde su mismo origen, desde su diseño, y permite hacer negocios atendiendo el crecimiento económico de la sociedad, a la sustentabilidad ambiental y a la disminución de los riesgos por la volatilidad e incertidumbre de precios de las materias primas y recursos energéticos. Para el año 2030 se calcula un aumento de tres billones de consumidores que generaran una importante demanda de energía, es esencial entonces revertir la lógica de descartar los desperdicios por un modelo donde estos se reutilizan y valorizan [9].

La gestión de residuos sólidos en nuestro país, México, es un problema complejo en el cual intervienen factores ambientales, económicos, institucionales y sociales. En 2012 se reportó una generación diaria de 94,800 toneladas, de las cuales el 47% corresponde a material inorgánico, del cual el 28% es potencialmente reciclable, y de este último sólo el 4% se recicla a nivel nacional [12]. En el caso de materiales sólidos

orgánicos que componen parcial o totalmente un producto, se cuenta con la tecnología de compostaje. Durante el proceso, los residuos orgánicos son degradados con la intervención de microorganismos naturales y se produce un nuevo compuesto orgánico revalorizado con propiedades fisicoquímicas beneficiosas para las plantas. La tecnología de compostaje completa el ciclo biológico de los residuos orgánicos que retornan transformados al suelo, para formar parte de un nuevo ciclo productivo. La combinación del proceso de compostaje con la digestión anaeróbica del material orgánico residual admite la generación de biogás [9].

Otra opción es la producción de lombricomposta, proceso de biodegradación de la materia orgánica por medio de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto final estabilizado. Existen más de 8000 especies de lombrices, en pocas especies se ha estudiado su uso. Algunas de las características de la lombriz son su maduración sexual se logra entre la segunda y tercera semana de vida; produce cada 7 a 10 días una cápsula (capullo), de la cual salen entre 2 a 8 lombrices. La lombriz es fotofóbica, están compuestas por un 70-80% de agua, del resto 30-20%, el 65% es proteína. Las condiciones ambientales bajo las cuales es recomendable que se encuentre son:

- *Temperatura un rango de 6-40°C

- *Humedad 80%

- *pH 6.2-7.8 [13]

Para el proyecto de trabajo se decidió utilizar la lombriz roja californiana cuyas características internas se observan en la Figura 1 [14].

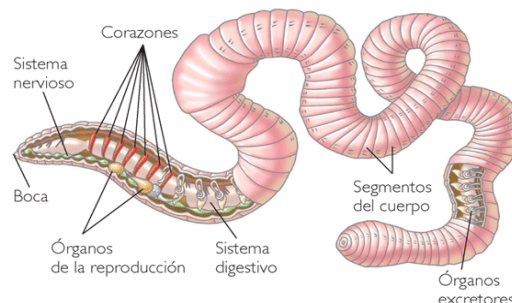


Figura1. Características internas de la lombriz californiana.

2. Metodología

Este proyecto es liderado por el cuerpo académico: optimización de procesos productivos y sustentabilidad el cual pertenece al PEII. Además de sus integrantes y docentes colaboradores, el proyecto incluyó dentro de su equipo de trabajo a alumnos de licenciatura (becarios) de 6to y 8vo semestre del PEII, permitiendo su participación en la solución de problemáticas reales relacionadas a la sustentabilidad e iniciando un acercamiento al concepto de economía circular al re introducir al proceso el lixiviado y parte de la lombricomposta generada para nueva producción, teniendo como materia prima residuos orgánicos de fruta y verdura, así como cáscaras de huevo (Figura 2). La metodología utilizada en el proyecto tomó como herramienta de aprendizaje el proyecto de trabajo con enfoque de investigación, buscando la optimización de procesos en la valoración de residuos orgánicos y con ello, la interacción de las personas en sus áreas donde se desempeñan o estudian fomenta y promueve un sentido de pertenencia que impulsará un mejor cuidado de lo que es *propio* [12].

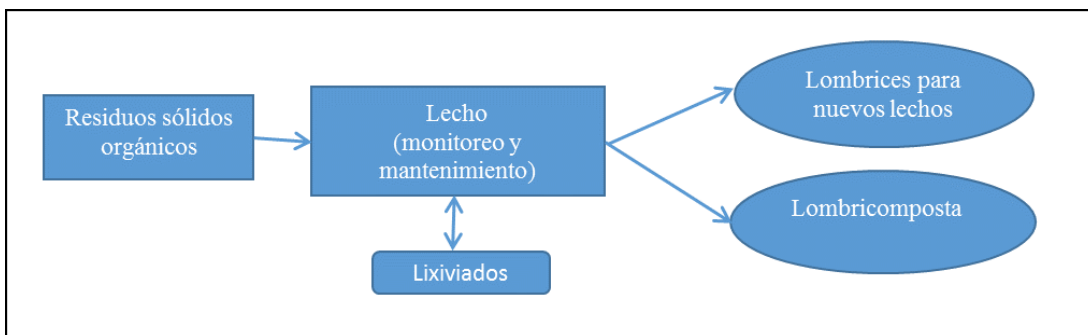


Figura 2. Esquema general de producción de lombricomposta en condiciones controladas.

2.1 Programación y asignación de actividades

Se reunió al equipo de trabajo, docentes y becarios para la elaboración del plan de trabajo, desarrollo planteado para una duración de un año. Se enlistaron las actividades identificadas, se asignaron responsables para cada actividad y se programaron cronológicamente. Para realizar la asignación se identificaron las fortalezas de cada integrante del equipo, quedando como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Asignación de responsabilidades en el equipo de trabajo.

Actividad	Responsable	Total de becarios del PEII involucrados
Calidad: capacitación e inventarios	Líder de proyecto	5
Experimentación y validación: experimentos y manual óptimo del proceso	Miembro 1	
Ayudas visuales y bitácoras	Miembro 2	
Mantenimiento y manuales	Miembro 3	
Referencias y publicaciones	Miembro 4	

2.2 Distribución del área

Para la ubicación de lechos se solicitó el préstamo de un área dentro del laboratorio del PEII. Sobre una mesa de trabajo se colocaron e identificaron los lechos (Figura 3) para un mejor control de ellos.



Figura 3. Mesa de trabajo con lechos.

2.3 Monitoreo y/o seguimiento

De acuerdo con la programación de las actividades, los becarios realizan el monitoreo y seguimiento del proyecto, según lo establecido por los responsables de cada actividad. Las revisiones realizadas por los becarios, en el horario previamente establecido, se llevaron a cabo dos veces cada día, una por la mañana y otra por la tarde, reportando las observaciones de su monitoreo. La primera versión del formato utilizado se muestra en la Figura 4:

 Universidad Autónoma de Baja California Facultad de Ingeniería Ingeniería Industrial Proyecto: Optimización de procesos en la valorización de residuos orgánicos en instituciones educativas CA: Optimización de Procesos Productivos y Sustentabilidad									
Bitácora lombricomposta									
Hora	Fecha	% de humedad	Temperatura °C	¿Se agregó alimento?		¿Qué tipo y cantidad?		Nombre	Observaciones/Comentarios
				Si	No	Tipo	Cantidad		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Elabóro: M.I. Luz del Consuelo Olivares Pineda
Versión: 1, Sep2017

Figura 4. Formato de bitácora lombricomposta versión 1.

Un punto importante durante el monitoreo fue la cantidad de residuos que pudieran alterar el pH de los lechos, como cítricos y residuos de chiles y ajos. Uno de los residuos observados con mejor aceptación por parte de las lombrices fueron las cáscaras de papaya.

2.4 Resultados y actividades de seguimiento

De octubre a mediados de diciembre se logró duplicar la cantidad de lechos, teniendo inicialmente dos. En diciembre se procedió al secado, molienda y almacenaje de la lombricomposta. Actualmente, se está iniciando el proceso de secado, nuevamente, al haber duplicado la cantidad de lechos que se dejaron en diciembre (Figura 5). En estos dos ciclos se ha medido que, en 10 semanas, con los cuidados necesarios relacionados a la alimentación, humedad y ventilación, se ha logrado producir 12 kilogramos de lombricomposta.

Parte de la lombricomposta producida en el primer ciclo se dejó como base para la producción del segundo ciclo. El lixiviado generado durante el proceso actual no se ha extraído como producto, sin embargo, se ha utilizado para mantener la humedad dentro de los lechos, mostrando a los alumnos de una manera básica y práctica el concepto de EC, al re introducir al proceso de producción de lombricomposta dicho lixiviado. La lombricomposta obtenida del primer ciclo se utilizará para realizar una experimentación, utilizando una metodología diseño de experimentos (DoE), *técnica que determina los experimentos a realizar de una manera eficiente* [15], para evaluar las mejores condiciones de suelo para las áreas verdes del campus donde se encuentra ubicado el PEII. De acuerdo con Montgomery [16], *los experimentos se pueden realizar en casi cualquier campo de la investigación y se utilizan para estudiar el comportamiento de procesos y*

sistemas. Además, se realizará un diseño de contenedor para la recuperación del lixiviado, con el objetivo de tener un fertilizante natural.



Figura 5. Lechos actuales.

3. Conclusiones

La formación de competencias alineando la sustentabilidad con la economía circular a través de proyectos de trabajo es una estrategia esencial para elevar la calidad de vida de los seres vivos en el planeta a largo plazo. Este proyecto es de las primeras propuestas dentro del PEII con un enfoque de trabajo relacionada a los proyectos de trabajo, buscando el desarrollo de sus alumnos y futuros egresados, con el objetivo de mejorar su competitividad en su vida laboral futura, así como su contribución a la sociedad, buscando el equilibrio tan anhelado por la humanidad consiente de la problemática ambiental a la cual nos enfrentamos actualmente.

Fomentar los procesos para obtener como eje transversal en la currícula el tema de la sustentabilidad basada en la economía circular es algo primordial, nuestra realidad lo demanda. En México son relativamente nuevos estos procesos, sin embargo, se ha ido avanzando generando oportunidades de nuevas investigaciones y proyectos. El PEII se encuentra trabajando actualmente en su reestructuración, donde se tiene planeado incluir de manera formal esta transversalidad, quedando como ejemplo para otros programas educativos de nuestra institución, por medio de la homologación de actividades y proyectos en otras asignaturas que incidan en la transversalidad.

Además, incrementar la participación de alumnos y docentes en proyectos tanto internos como externos a UABC, permitirá fortalecer su crecimiento profesional, impulsando a las nuevas generaciones con las que se cuente en un futuro cercano.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo ofrecido por las autoridades de la Facultad de Ingeniería, así como de los investigadores, becarios y proveedores de residuos orgánicos que han contribuido al desarrollo del proyecto.

4. Referencias Bibliográficas

- [1] Casas, A. (2017). Ciencia para la sustentabilidad: investigación, educación y procesos participativos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 113-128. doi: 10.1016/j.rmb.2017.10.003
- [2] Solís-Espallargas, C., & Valderrama-Hernández, R. (2015). La educación para la sostenibilidad en la formación de profesorado. ¿Qué estamos haciendo? *Foro de Educación*, 13(19), 165-192. doi: <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.008>
- [3] Mora Penagos, William Manuel. (2013). La inclusión de la dimensión ambiental en la educación superior: Un estudio de caso en la Facultad de Medio Ambiente en la Universidad Distrital en Bogotá. *IX Congreso Internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias*.

- [4] Martínez-Fernández, C., González Gaudiano, E. (2015). Las políticas para la sustentabilidad de las Instituciones de Educación Superior en México: entre el debate y la acción. *Revista de la Educación Superior*. Vol. XLIV. N.º 174. México, pp. 63-65, 71
- [4] Murga-Menoyo, M., Novo, María. (2014). La formación de competencias en sostenibilidad: una estrategia para la mejora de la empleabilidad en sociedades sostenibles. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 139, 529-533. doi:10.1016/j.sbspro.2014.08.060
- [5] Castillo, H. (1990). Tesis Doctoral. La Sociedad de la Basura. México D.F.
- [6] Olivares, L. & Cruz, S. & López, A. & Velázquez, K. & Jacobo, G. & Gil Samaniego, M. & Nakasima, M. (2017). La sustentabilidad en la formación del ingeniero industrial: la aplicación de proyectos de trabajo. *VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: Hacia una economía circular*.
- [7] Moesby, E., (2005). Curriculum development for Project-oriented and problema-based learning (POPBL) with emphasis on personal skills and abilities. *Glob. J. Eng. Educ.* 9 (2), 12.
- [8] Lett, L. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46, 1-2. Recuperado en 11 de marzo de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-75412014000100001&lng=es&tlng=es
- [9] Leising, E. Quist, J. Bocken, N. (2017). Circular economy in the building sector: three cases and a collaboration tool. *Journal of Cleaner Production*, 176, 976-989. doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.010
- [10] De Jesus, A. Antunes, P. Santos, R. Mendoca, S. (2017). Eco-innovation in the transition to a circular economy: an analytical literature review. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2999-3018. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.111
- [11] Sánchez, J. (2018) Capacitan a encargados de cafetería sobre manejo de residuos. *Gaceta UABC*, p.6. Recuperado el 14 de marzo de 2018, de http://gaceta.uabc.mx/sites/default/files/gacetitas/2018-03/g-393_0.pdf
- [12] Olivares, L. & Cruz, S. & Velázquez, K. & López, A. & Mendoza, I. & Nakasima, M. (2016). Experiencias en la separación de residuos para reciclaje o confinamiento: caso de estudio en sector educativo. *8vo Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos*.
- [13] Domínguez, J., Gómez, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta zoológica mexicana*, 26(spe2), 309-320. Recuperado el 20 de abril de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000500023&lng=es&tlng=es
- [14] Lombricultura Guadalajara. Recuperada el 20 de abril de 2018, de http://lombriculturagdl.com/5_Venta+de+lombriz+roja_GDL.html
- [15] M. Cavazzuti. (2013). Optimization Methods: From Theory to Design. *Springer*, 13. doi: 10.1007/978-3-642-31187-1_2
- [16] Montgomery, Douglas C. (2013). Design and analysis of experiments. Hoboken, NJ: WILEY

Propuesta de indicador para evaluar la eficiencia del programa de separación de residuos sólidos de la UAM Azcapotzalco

¹Velasco Pérez Maribel, ¹Espinosa Valdemar Rosa María, ¹Vázquez Morillas Alethia¹ ¹Elizagaray Mandujano José Luis, ¹Damián García Damián, ¹Turpin Marion Sylvie J.

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco Departamento de Energía, UAM Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México, CP 02200. México. Email: mvp@azc.uam.mx

Resumen

Separación por un mejor UAMbiente® es el programa de manejo de residuos sólidos en la UAM Azcapotzalco, a casi 15 años de su creación y 13 años de enviar residuos a reciclaje no cuenta con un indicador para evaluar la eficiencia de separación que realiza la comunidad universitaria. Para evaluarla se diseñó un muestreo en los botes donde la comunidad deposita los residuos y las bolsas que se utilizan para transportarlos separados al centro de acopio. El muestreo se llevó a cabo de mayo a julio de 2017. En los botes donde se depositan los recuperables (envases multicapa, vidrio, PET, HDPE, aluminio, papel y cartón) se encontró entre $22\% \pm 19\%$ y $43\% \pm 28\%$ de residuos separados correctamente, y en los botes de residuos no recuperables la separación correcta estuvo entre $87\% \pm 13.18\%$ y $89\% \pm 11.52\%$. En las bolsas en las que son transportados los residuos al centro de acopio la separación correcta para los recuperables estuvo entre $26\% \pm 20\%$ y $34\% \pm 18\%$, y para los no recuperables entre $73\% \pm 20\%$ y $81\% \pm 13\%$. Los recuperables en el total de residuos variaron entre $16\% \pm 12\%$ y $26\% \pm 19\%$, mientras que el promedio de los residuos recuperables depositados en el bote correcto varió entre $54\% \pm 32\%$ y $68\% \pm 27\%$. Se recomienda difundir entre la comunidad universitaria la separación correcta de residuos y sus beneficios, y actualizar constantemente este indicador o algún otro que se desarrolle para este efecto.

Palabras Clave: *Recuperación de residuos, programa, indicadores, muestreo*

1. Introducción

El manejo de residuos sólidos en las universidades mexicanas es un tema que se ha desarrollado desde hace varios años y que cobró formalidad a raíz de la publicación del “Plan de Acción para el Desarrollo Sustentable de las Instituciones de Educación Superior (IES)” [1]. Dicho documento tiene como objetivo incentivar la sustentabilidad en las instituciones mexicanas a través de la creación de los planes ambientales institucionales.

La Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A) creó en el 2009 el Plan Institucional Hacia la Sustentabilidad (PIHASU) que tiene como objetivo permear la cultura de sustentabilidad no sólo en las aulas, sino también al ejercer las funciones institucionales y en la organización de las actividades universitarias [2].

La UAM-A, la primera universidad en ofrecer la licenciatura en Ingeniería Ambiental en Latinoamérica, desde hace más de 20 años realiza estudios de generación y composición de residuos. En el 2003 desarrolló e implementó oficialmente su programa de manejo de residuos, denominado *Separación por un mejor UAMbiente®*, cuyos objetivos son:

- Concientizar a la comunidad universitaria acerca de la problemática de los residuos
- Involucrarla en la cultura de su separación
- Cumplir con la normatividad vigente en la Ciudad de México

La figura 1 muestra las 3 etapas de la estructura del programa



Figura 1. Etapas del programa de manejo de residuos sólidos de la UAM-A, Separación por un mejor UAMbiente®

Actualmente para la separación de los residuos generados en cafetería, áreas abiertas, accesos y pasillos de los tres pisos de los edificios de la Unidad existen dos tipos de botes (rojo y blanco), en la figura 2 se muestra como se deposita en cada bote:



Figura 2. Separación de residuos en cafetería, áreas abiertas, accesos y pasillos en la UAM-A

Considerando los valores de los últimos 10 años, en los que se hace un estudio de generación de residuos tres veces al año la UAM-A genera en promedio 738.12 kg de residuos sólidos/día y desde hace más de 13 años envía a reciclaje los residuos que separa la comunidad (ver figura 3).

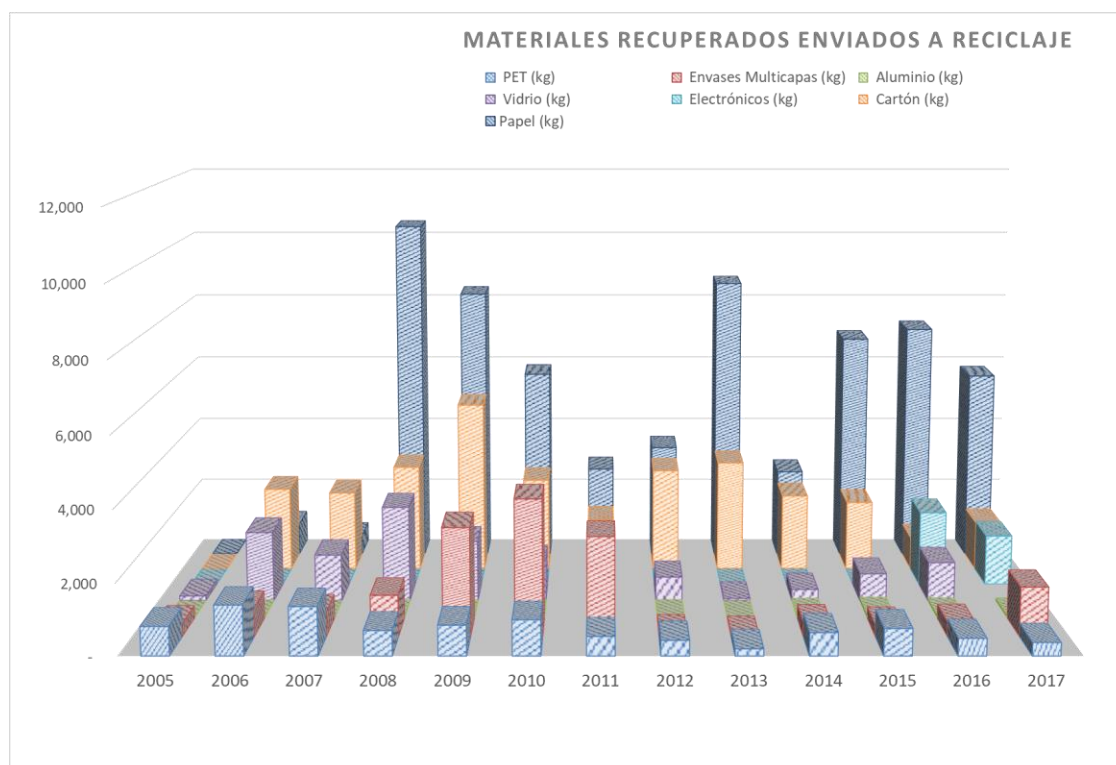


Figura 2. Composición de los residuos separados por la comunidad UAM-A y enviados a reciclaje

Entre las tareas pendientes de *Separación®* se encuentra el desarrollo de un indicador para evaluar la eficiencia de separación de residuos en la UAM, por lo que en este trabajo se presentan los resultados de estudio de campo que permitirá definir estrategias que la universidad evolucione a una gestión de residuos más integral.

2. Metodología

El estudio de campo se llevó a cabo en los espacios abiertos de la UAM-A con los botes blancos (con bolsa blanca), en los que se depositan los residuos recuperables y con los botes rojos (con bolsa negra), en los que se deposita todo lo demás. Los trabajadores de intendencia de la Unidad recolectan tanto los residuos de ambos botes como de otras áreas asignadas como salones, salas y oficinas. Los trabajadores deben llevar estas bolsas con los residuos separados al centro de acopio (CA), en donde se hace una segunda selección de los residuos de las bolsas blancas, para almacenar los residuos recuperables por tipo (se pesan y posteriormente se envían a reciclaje). Las bolsas negras se entregan al servicio de la Delegación.

2.1 Diseño del plan de muestreo en botes y bolsas

Para evaluar la eficiencia de separación de residuos se realizaron tres muestreos en los botes blancos y rojos en el lugar que se encuentran ubicados (fijos) y en las bolsas que utilizan los intendentes para llevar los residuos al CA. Esto con el fin de evaluar la correcta separación de los residuos por los usuarios y por los trabajadores de intendencia. Los muestreos se llevaron a cabo durante el trimestre 17-P, el primero del 16 al 22 de mayo, el segundo del 12 al 16 de junio y el último del 10 al 14 de julio, todos durante el 2017.

Las 209 parejas de botes rojos y blancos que existen en la Unidad se consideraron como el universo para la muestra. Para el número de muestras de bolsas se emplearon los estudios de generación de residuos de los

dos trimestres anteriores (16-O y 17-I) para obtener el número promedio de bolsas que llegan al CA, el universo de bolsas se consideró no finito debido a la alta desviación estándar que presentó.

Las bolsas que se muestrearon se eligieron conforme llegaron al centro de acopio anotando lugar de procedencia. Los botes para el muestreo se seleccionaron también de forma aleatoria de las 209 parejas de botes dispuestos en toda la unidad.

2.1.1 Tamaño muestra en los botes

Este se determinó a partir de la fórmula general del tamaño de muestra para poblaciones finitas utilizado para casos de proporción, se eligió ésta debido a que no es necesario realizar un muestreo piloto y el valor de la proporción esperada se puede proponer como 0.5 para maximizar el tamaño de muestra [3]:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{NE^2 + Z^2 pq} \quad (1)$$

Donde:

N= tamaño de la población (209 parejas de botes)

Z= $Z_{1 - \frac{\alpha}{2}} = 1.645$ para nivel de confianza del 90% de acuerdo con una distribución normal

p = proporción esperada (en caso de no conocer la proporción esperada [4] recomienda utilizar el 50% para maximizar el tamaño de muestra)

q= (1-p) representando (1-0.5)

E= Error estimado, como se utilizó un nivel de confianza del 90% se propone 0.1

2.1.2 Tamaño muestra en las bolsas

Se determinó el promedio y desviación estándar de bolsas que llegaron al centro de acopio con ayuda de los estudios de generación realizados en noviembre del 2016, en febrero y en marzo del 2017. Se evaluó si los datos presentaban una distribución normal con el método de Kolmogorov - Smirnov [5]

La media ($\bar{X}$) se calculó con la fórmula [6].

$$\frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} \quad (2)$$

Mientras que la desviación estándar (s) se calculó con la siguiente fórmula [7].

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} (\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2)} \quad (3)$$

De acuerdo con [8] se calculó el tamaño de muestra utilizando la fórmula para tamaño de muestra de proporciones:

$$n = \frac{Z^2 pq}{d^2} \quad (4)$$

Donde:

n= tamaño de muestra

Z= $Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.645$ para un valor de confianza del 90% de acuerdo con una distribución normal

p = proporción esperada (en caso de no conocer la proporción esperada [4] recomienda utilizar el 50% para maximizar el tamaño de muestra)

q= (1-p) representando (1-0.5)

d= El error estimado, como se utilizó un nivel de confianza del 90% se propone 0.1

2.2 Muestreo de botes y bolsas

De acuerdo con los residuos que se depositan en cada bote los siguientes subproductos se consideraron como recuperables (bote blanco): envases multicapa, vidrio, PET, HDPE, aluminio, papel y cartón. El muestreo de los botes se realizó de acuerdo con los pasos especificados las figuras 3 y 4, mientras que el de las bolsas con el procedimiento descrito en las figuras 5 y 6.

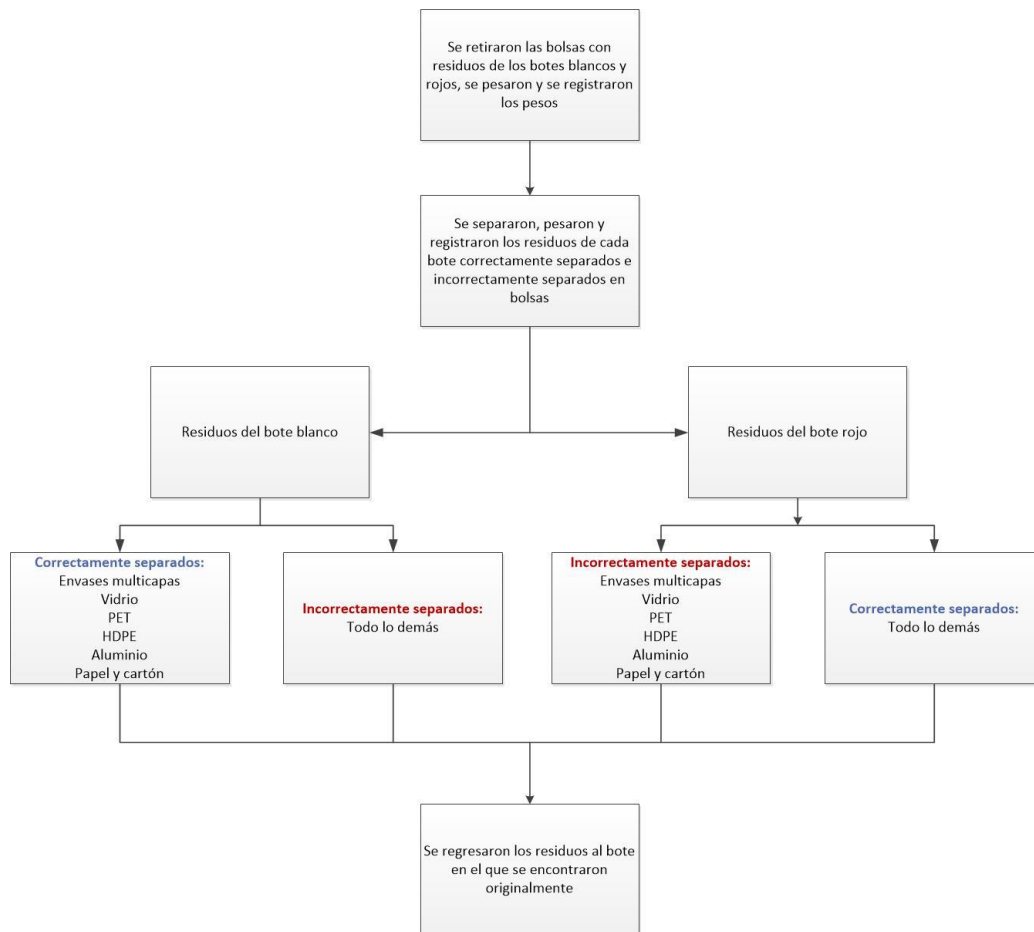


Figura 3. Procedimiento para el muestreo de botes rojos y blancos



Figura 4. Procedimiento para el pesaje de los residuos correctamente e incorrectamente separados

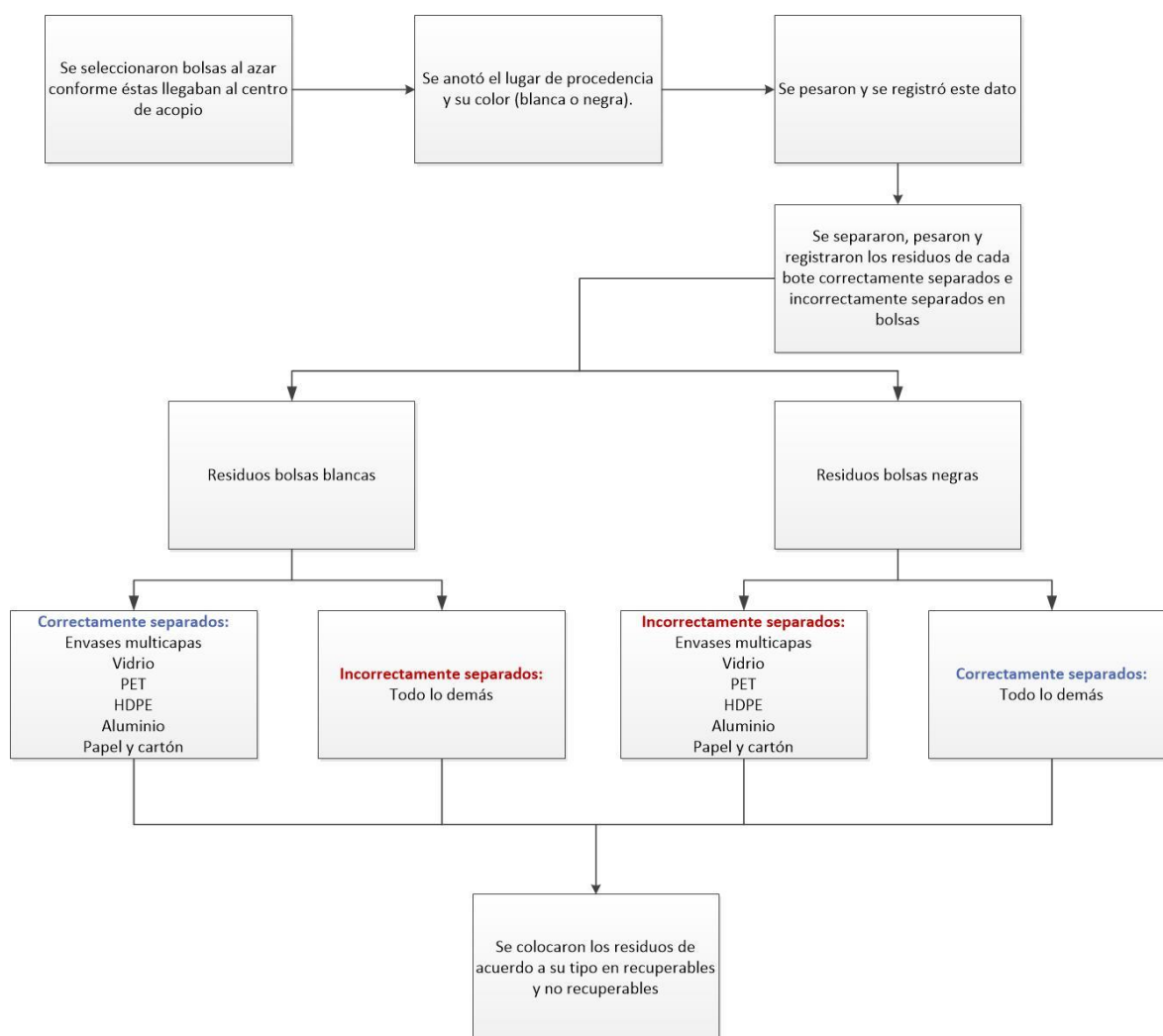


Figura 5. Procedimiento para el muestreo de bolsas blancas y negras



Figura 6. Procedimiento para el pesaje de los residuos correctamente e incorrectamente separados en las bolsas que llegan al centro de acopio

2.3 Verificación de la calidad de datos

Se recopilaron todos los datos de los muestreos en una sola tabla con ayuda de una hoja de cálculo, y se realizó una comprobación de datos con la ecuación:

$$\% \text{ confiabilidad de datos} = \frac{S1+S2+S3+S4+S5+S6+PDT}{PT} \times 100 \quad (5)$$

Donde la masa de los residuos sin líquido es:

S1= Multicapa	S5= Aluminio
S2= Vidrio	S6= Papel y cartón
S3= PET	PDT= Peso de todo lo demás
S4=HDPE	PT= Peso total

La comprobación de datos se determinó como un porcentaje, si el valor presentó un error de $\pm 3\%$ los datos de ese punto de muestreo ya sea en botes o bolsas del centro de acopio, no se consideraron representativos y se descartaron del estudio.

2.4 Desarrollo del indicador

Se consideró el objetivo del programa de *Separación*® de “Involucrar a la comunidad en la separación de los residuos de la unidad” para proponer el indicador, partiendo del ideal de que los residuos se separen correctamente en los dos botes y lleguen bien separados al centro de acopio.

Para cada bote y bolsa muestreada se calcularon los residuos separados correctamente y los separados incorrectamente de acuerdo con las placas en los botes y el color de las bolsas realizando una sumatoria para cada contenedor y bote muestreados. Además, se calculó el porcentaje de residuos recuperables en cada muestreo.

El indicador se calculó con la ecuación mostrada a continuación.

$$\frac{\Sigma \text{separado correctamente en la semana } y}{\Sigma \text{separados correctamente en la semana } y + \Sigma \text{separados incorrectamente en la semana } y} \times 100$$

Donde y = semana de muestreo.

3. Resultados

3.1 Diseño del plan de muestreo en botes y bolsas

El tamaño de muestra para los botes blancos y rojos se determinó en 55 parejas por muestreo, el número de bolsas que llegan al centro de acopio tiene una distribución normal ($\alpha = 0.01$), y el número de bolsas a muestrear por semana se determinó en 68.

2.4 Desarrollo del indicador

El porcentaje de los residuos recuperables separados correctamente en el bote blanco y en la bolsa blanca se muestra en la figura 7. En éstos se deberían de depositar únicamente residuos recuperables (envases multicapa, vidrio, PET, HDPE, aluminio, papel y cartón). La separación correcta en los botes y bolsas blancos varía entre $22\% \pm 19\%$ y $43\% \pm 28\%$, y se observa una disminución importante a medida que avanza el periodo escolar (trimestre). El porcentaje de residuos separados correctamente en los botes blancos es muy similar al de las bolsas blancas, por lo que se puede inferir que los intendentes conservan la separación de residuos realizada por la comunidad.

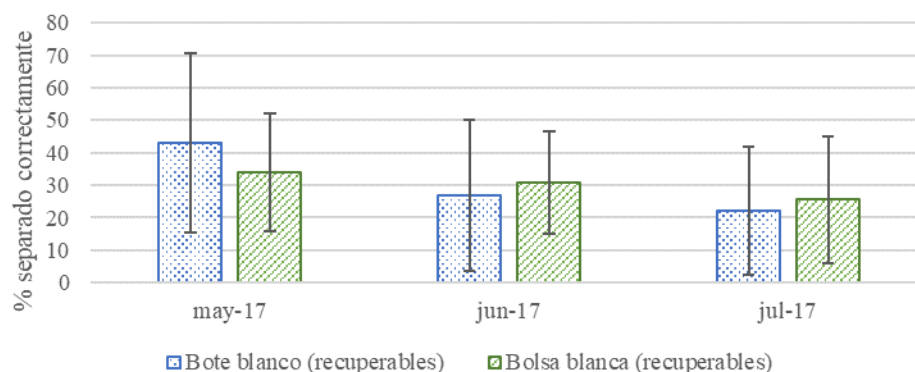


Figura 7. Residuos separados correctamente en el bote blanco y en la bolsa blanca

La separación correcta en los botes rojos y las bolsas blancas, donde se deberían depositar únicamente los residuos que no son recuperables, fue superior al 80% para los tres muestreos, considerablemente mayor a la de los botes y bolsas de recuperables (figura 8).

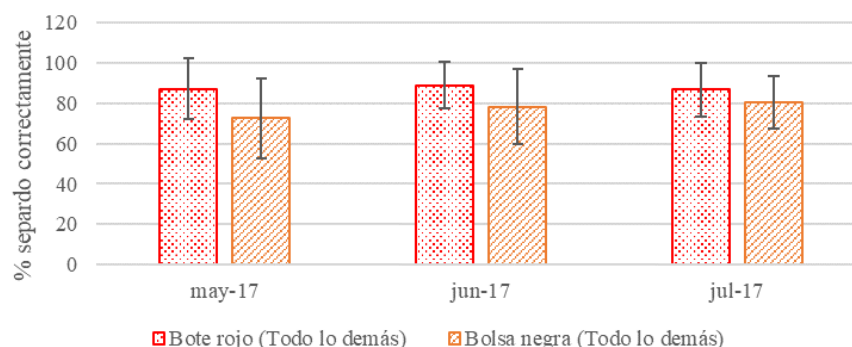


Figura 8. Residuos separados correctamente en el bote rojo y en la bolsa negra

La figura 9 presenta el porcentaje de residuos recuperables en ambos botes (blancos y rojos), éste varía entre 16% y 26%. Lo que sugiere que de acuerdo con la generación en la Universidad que se podrían recuperar entre 118 y 191 kg/día de residuos para su aprovechamiento.

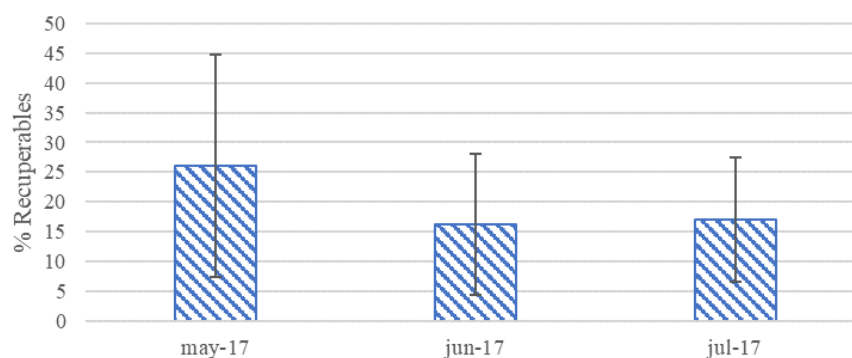


Figura 9. Residuos reciclables en los botes blancos y rojos

En la Figura 10 se puede apreciar que entre $54\% \pm 32\%$ y $68\% \pm 27\%$ de los residuos recuperables se separan correctamente (en el bote blanco). En comparación, en la Ciudad de México, para el año 2016, se reporta una eficiencia de separación de residuos orgánicos entre 9% (en Cuajimalpa de Morelos) y 75% (en Milpa Alta) [9].

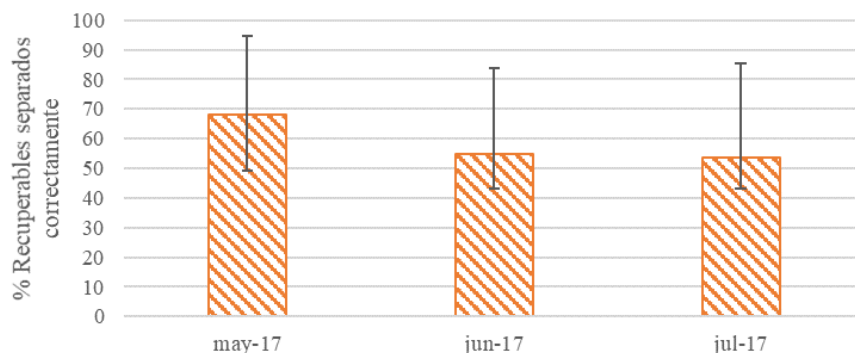


Figura 10. Residuos recuperables separados correctamente

4. Conclusiones

El programa de separación de residuos de la UAM-A “*Separación: por un mejor UAMbiente®*” inició operaciones en el 2003. Es importante establecer indicadores que permitan evaluar su eficiencia, para desarrollar estrategias que faciliten incrementarla.

En este trabajo se encontró que el porcentaje de residuos recuperables en los botes blancos varía entre $22\% \pm 19\%$ y $43\% \pm 28\%$; siendo muy similar al de las bolsas blancas, por lo que se puede inferir que los intendentes no mezclan los residuos que se depositan en los botes blancos y rojos. Los porcentajes relativamente pequeños se pueden explicar por la baja densidad de los residuos recuperables. También se encontró que entre el $54\% \pm 32\%$ y $68\% \pm 27\%$ de los residuos recuperables se depositan en el bote correcto (el blanco).

Se recomienda realizar campañas periódicas de difusión del programa de separación de residuos, haciendo énfasis en la separación correcta de residuos en los botes blancos y rojos, y difundir y actualizar constantemente este indicador o algún otro que se desarrolle para este efecto.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de Mariana Jazmín Galindo Rojas y Jordán Gutiérrez Gutiérrez, prestadores de servicio social del programa “*Separación por un mejor UAMbiente ®*”

5. Referencias

- [1] ANUIES y SEMARNAT. (2002). Plan de Acción para el Desarrollo Sustentable en las Instituciones de Educación Superior. Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Libro. México, D.F. 29 pp. Disponible en http://www.anui.es.mx/servicios/p_anui.es/publicaciones/libros/lib68/1.html
- [2] UAM-A. (2009). Plan Institucional Hacia la Sustentabilidad Unidad Azcapotzalco (2009-2014). Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Recuperado de <https://www.azc.uam.mx/csh/sociologia/ags/admin/adj/pihasu.pdf>

- [3] Ochoa. C. (2013). ¿Qué tamaño de muestra necesito? netquest. Disponible en <http://www.netquest.com/blog/es/blog/es/que-tamaño-de-muestra-necesito>
- [4] Herrera. C. M. (2011). Fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas. Disponible en <https://investigacionpediahr.files.wordpress.com/2011/01/formula-para-cc3a1lculo-de-la-muestra-poblaciones-finitas-var-categorica.pdf>
- [5] Zubcoff. J. J. (2012). Contrastes de bondad de ajuste para variables continuas. Método de Kolmogorov-Smirnov. Disponible en https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21298/1/Problema5_del_tema_T3-4.pdf
- [6] Spiegel. M, R. (1976). Probabilidad y Estadística. Editorial. McGraw Hill. Pp. 155.
- [7] Orellana. L. (2001). Estadística descriptiva. Disponible en http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf
- [8] Araya. A. C, Galindo. V. M. P. (2009). Tamaño de muestra en investigación clínica. Medicina Clínica. Barcelona España. Elsevier Doyma. 133 (1): 26-30. Disponible en file:///C:/Users/Jose%20Vaio/Downloads/S0025775308002364_S300_es.pdf
- [9] Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (2017). Inventario de Residuos Sólidos, Ciudad de México 2016.

Cultura Ambiental en Alumnos de Nuevo Ingreso del Área de la Salud

¹ Juana Edelia Vidales Paz, ² Luz Arminda Quiñonez Zárate, ³ Angélica Nallehy Rodríguez Ocampo, ⁴ María Guadalupe Orozco Benítez ⁵ Rafael Martín Murray Núñez.

^{1,3} Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas y Farmacéuticas. Cd. de la Cultura Amado Nervo S/N, C.P. 63000. Teléfono (311) 2118800 email:jvidalespaz@hotmail.com

² Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Odontología.

⁴ Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Veterinaria y Zootecnia

⁵ Universidad Autónoma de Nayarit. CEMIC

Resumen

La cultura ambiental hoy en día en las instituciones de nivel superior se torna más como una necesidad de que los estudiantes lo vean como una cultura. Estudios preliminares acerca del nivel de cultura ambiental que tienen los alumnos de primer ingreso del Área de Ciencias de la Salud en la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN). El propósito de la investigación fue tener una visión de las actitudes, conocimientos y comportamientos que poseen los estudiantes universitarios respecto a la cultura ambiental, para su posterior diagnóstico y la implementación de estrategias que permitan mediante acciones, mejorar la Cultura Ambiental en ésta comunidad universitaria. En éste sentido, se realizó un estudio transversal, descriptivo a 206 estudiantes de las diferentes Unidades Académicas de la UAN (Enfermería, Odontología, Medicina, QFB y Nutrición), a los cuales se les aplicó una encuesta, empleándose la escala Likert, que incluyeron un total 52 preguntas, divididas en 3 categorías (Actitudes, Conocimientos y Comportamientos), para diagnosticar que conocen sobre cultura ambiental basado en paradigma constructivista. Los resultados preliminares demuestran con respecto a las *actitudes* que están de acuerdo en apoyar para conseguir que se fomenten hábitos en el campus universitario, en cuanto al comportamiento se puede apreciar que no todos practican acciones en pro del ambiente y con respecto al conocimiento, solo una minoría conoce sobre el manejo de residuos sólidos, el uso de energía, el cuidado del agua, políticas ambientales y acciones para el cuidado ambiental. Con base a lo anterior, resulta de importancia mejorar en los estudiantes de nuevo ingreso del Área de la Salud la Cultura Ambiental respecto a sus comportamientos, conocimientos y actitudes, a través de un Plan Institucional para el cuidado del medio ambiente de forma transversal y permanente, a fin de generar conciencia y conocimiento, para convertir a los universitarios en actores sociales, sensibles y comprometidos en el cuidado del medio ambiente, e impacte favorablemente en la sociedad.

Palabras Clave: *Cultura Ambiental, Comportamiento, Conocimiento, Actitudes.*

1. Introducción

Las universidades así como otras instituciones educativas, se encuentran involucradas con la gran generación de residuos sólidos, el alto consumo de energía, el uso indiscriminado de plástico y latas, el desperdicio de agua pública, consumo de artículos desechables entre otras.

La crisis ambiental no solo afecta al ámbito educativo, también a la sociedad en general, ya que no tenemos conciencia y sensibilidad del daño ambiental que provocamos al no hacernos responsables y comprometidos en pro del ambiente y de la sustentabilidad.

Ante esta problemática la cultura ambiental actúa como una promotora del aprendizaje de acciones y prácticas beneficiosas entre los educadores y educandos.

Son varias universidades que ante ésta problemática, tienden a ser responsables y comprometidos para impulsar prácticas ambientales amigables que permiten la participación de todos los actores universitarios (académicos, estudiantes administrativos e intendentes) [1].

Las iniciativas mundiales y nacionales proponen políticas específicas encaminadas a vincular la educación superior con el medio ambiente y el desarrollo sustentable, sin embargo no son siempre aplicadas ni investigadas [2].

La educación ambiental es importante para la toma de conciencia de los ciudadanos, el desarrollo y practica de aptitudes que favorezcan un cambio en el comportamiento proambiental. La sensibilización ambiental es imprescindible por lo que las instituciones educativas deben impulsar acciones educativas que generen cambios sustanciales en la actitud de los estudiantes [2].

Dentro de las estrategias y acciones para disminuir el problema de la falta de separación de residuos, así como de otras actividades ambientales, es la implementación de programas educativos en las instituciones de educación superior para fomentar una cultura ambiental ecológica [3].

Asimismo, fomentar la educación en valores ambientales en los estudiantes universitarios, es realmente importante porque tanto la formación ecológica como en la conservación del ambiente se fundamentan con las actitudes vivenciadas en torno del objeto de estudio y en consecuencia; permite fortalecer los valores conservacionistas [4].

En este sentido en las universidades es imprescindible asumir la responsabilidad social, como una obligación universal para asegurar la sustentabilidad social y ambiental del modo de producción y consumo en un planeta frágil donde tenemos derecho a una vida digna [5].

2. Metodología

Esta fase diagnóstica, fue de corte transversal y descriptivo. El tamaño de muestra se calculó para una población finita con un $\alpha=0.05$, la cual estuvo conformada por un total de 206 estudiantes de nuevo ingreso del Área de la Salud de la Universidad Autónoma de Nayarit, de las Licenciaturas de: Médico Cirujano (31), Químico Farmacobiólogo (44), Cirujano Dentista (58), Nutrición (26) y Enfermería (47), del Ciclo Escolar Agosto-Diciembre 2017, cuyos participantes fueron elegidos aleatoriamente

La diferencia entre ellas en cuanto al tamaño de muestra, obedeció a que no todas las Unidades Académicas tuvieron el mismo número de estudiantes de nuevo ingreso.

Una vez calculado el tamaño de muestra, se les aplicó una encuesta en base a escalas validadas tipo Likert conformada por tres categorías: Actitudes, Comportamientos y Conocimientos, cada una integrada de la siguiente forma: 16 preguntas ambientales sobre actitud, 21 de comportamientos y 15 de conocimientos, la cual se diseñó y piloteó para su aplicación.

Las escalas otorgaron una puntuación por ítem de 1 a 5, la calificación total se obtuvo mediante la suma de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los ítems.

De los cuestionarios realizados se obtuvo el promedio de cada uno de los grupos de manera superior e inferior para poder obtener el índice de discriminación. Para poder obtener los valores favorables. Un criterio más que se tomo en cuenta fue el coeficiente de correlación para obtener la evidencia de los ítems que obtengan los valores más altos. Los datos fueron incorporados y procesados con el software Statistical Package for Social Science (SPSS) versión 12.0. En el caso de las variables cualitativas se usó distribución de frecuencias absolutas y relativas, para las variables cuantitativas se determinó algunas medidas de

tendencia central y se evaluó la normalidad de distribución mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, como se encontró que no seguían esta distribución, se determinó el estadístico Rho de Spearman para evaluar la correlación entre los puntajes obtenidos en la escala. Donde se eliminaron para los gráficos.

El estudio se enmarcó en el paradigma constructivista, el cual se fundamenta en la adquisición de capacidades, actitudes y comportamientos, donde el conocimiento es construido por sujetos cognoscentes y no se recibe pasivamente del ambiente [6].

El objetivo primordial de ésta investigación fue establecer el nivel de cultura ambiental respecto a comportamientos, conocimientos y actitudes en estudiantes de nuevo ingreso del Área Salud, de la Universidad Autónoma de Nayarit.

3. Resultados y Discusión

Respecto a las actitudes ambientales de los estudiantes del Área de la Salud, un 62% de ellos consideraron estar totalmente de acuerdo que la educación ambiental debería institucionalizarse (Figura 1), dicho porcentaje es de llamar la atención al no ser un valor considerable ya que solo QFB y Enfermería mostraron interés en estar dispuestos en formar parte del comité ambiental de su Unidad Académica (44%). Así mismo, solo la mitad de la población (50%) estaría dispuesta a sembrar árboles y cuidarlos. Las Unidades Académicas de Odontología y Nutrición no mostraron interés al respecto.

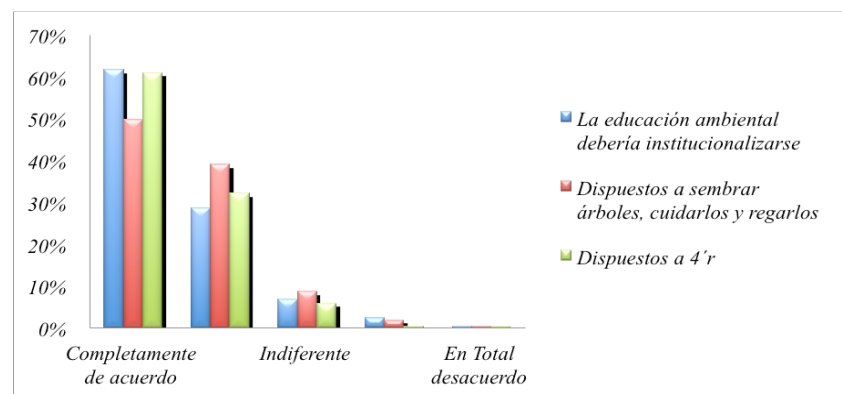


Figura 1. Cultura ambiental respecto a las actitudes en estudiantes de nuevo ingreso del Área de la Salud

Los comportamientos ambientales (Figura 2), mostraron principalmente, que un 65% consideraron que la Educación Ambiental debería de institucionalizarse, mientras que solo un 62% están dispuestos a las 4'R y el 50% de acuerdo en sembrar árboles, cuidarlos y regarlos.

En ésta categoría de la encuesta fue también observable a falta de disposición para participar en la separación de basura que se genera en sus Unidades Académicas, así como para utilizar los contenedores destinados para el acopio de los residuos (orgánicos, inorgánicos, pet, latas y pilas). Sin embargo, se observó que el 54% de la población estudiantil solo “a veces” muestra interés de invitar a las personas a reciclar latas de refresco o botellas de Pet.

Así mismo fue posible también identificar, la falta de interés por parte de ellos para pertenecer a alguna organización ambientalista o ecológica dentro o fuera de su Universidad, ya que solo el 10% participa activamente en acciones medioambientalistas. No obstante, la población de estudiantes no refiere tratar de

cuidar el ambiente, no tirando basura en los estacionamientos, jardineras y pasillos de las diferentes Unidades Académicas.

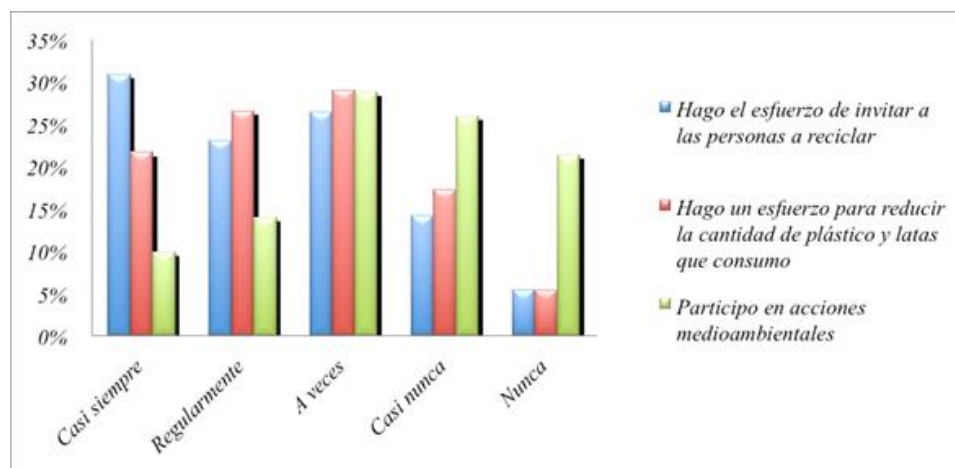


Figura 2. Cultura ambiental respecto a comportamientos, estudiantes de nuevo ingreso del Área de la Salud.

Aunado a esto y comparado con el resto de la población estudiantil, las Unidades de Odontología y Nutrición (13% y 5% respectivamente) refieren que “casi siempre” cuando observan una llave que no queda bien cerrada o existe fuga la reportan a la autoridad correspondiente.

Los estudiantes de Odontología, Nutrición, QFB y Enfermería consideran que no deben existir planes de reciclaje, reutilización de residuos en la UAN solo el 12% estudiantes de la Unidad Académica de Medicina considera que “casi siempre” debería existir.

La calidad ambiental influye directamente en el bienestar de las personas y por lo tanto en la salud. Para alcanzarla es necesario sensibilizar y concientizar a la población estudiantil, promover la formación de un comportamiento ambiental ya que existe escasa participación en actividades de separación de basura, así mismo en su mayoría desconocen a excepción del 2% de estudiantes de la Licenciatura de Odontología que la Universidad cuenta con programas de separación de residuos sólidos, motivo por el cual en este sentido, es necesario concientizar al resto de la comunidad escolar, dinamizar acciones hacia logro de un comportamiento ambiental responsable, así como dar a conocer el significado de los logotipos del reciclaje. Ya que los ítems relacionados con los diferentes logotipos no mostraron un valor alto ni en la discriminación así como en la correlación.

Lo mismo, el hecho de saber que las botellas y la basura arrojada en el campus universitario ocasionan en tiempo de lluvia que las alcantarillas y coladeras se tapen queda sesgado completamente en el ítem.

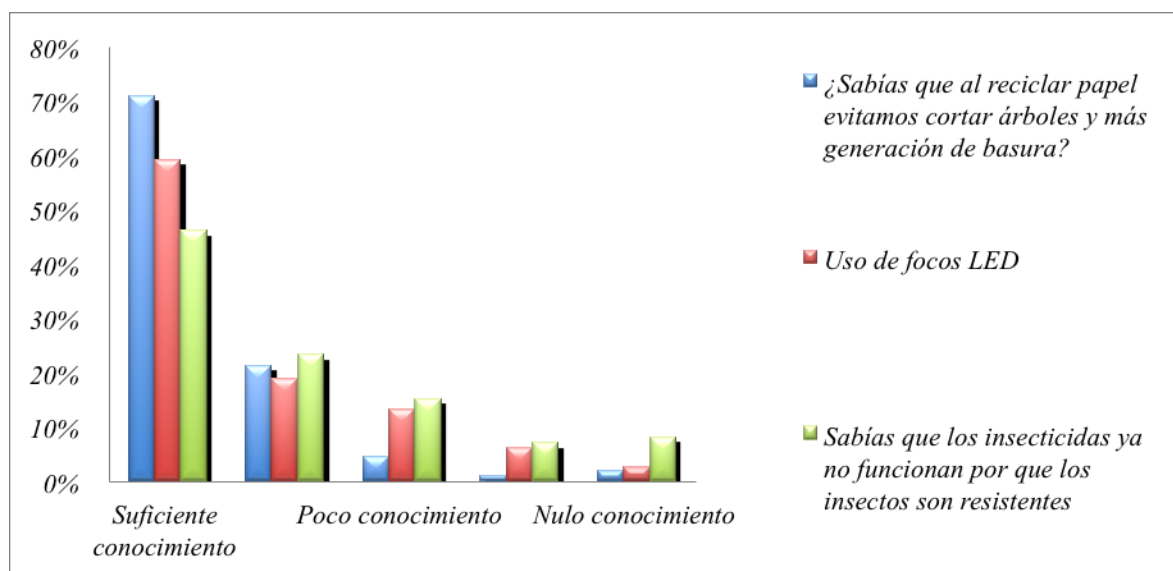


Figura 3. Cultura Ambiental respecto a conocimientos en estudiantes de nuevo ingreso del Área de la Salud

Dado que hoy en día existen múltiples formas de publicidad donde se muestra la importancia de NO talar árboles, fue de llamar la atención que el 8% de la población tuvo de nulo conocimiento a poco conocimiento de saber, que al reciclar el papel evitamos cortar árboles y se genera menos basura. De igual manera los estudiantes mostraron de nulo conocimiento a muy poco conocimiento respecto a que el uso de focos de LED permite ahorrar energía.

Solo la población estudiantil de dos Unidades Académicas: Nutrición (5%) y Medicina (11%) seleccionaron la opción de “suficiente conocimiento” respecto a que es posible obtener abono natural (composta) a partir de materia orgánica, si esta se maneja por separado y no se mezcla con la materia inorgánica.

También como se observa en la Figura 3, ante la pregunta de que si sabía que los insecticidas ya no funcionan por que los insectos son resistentes, solo un 46% de la población, respondió saberlo.

Cabe hacer mención que los resultados de esta investigación forman parte de un proyecto longitudinal, en el cual se comparará nuevamente en dos años.

4. Conclusiones

Resulta de importancia mejorar en los estudiantes de nuevo ingreso del Área de la Salud la Cultura Ambiental respecto a sus comportamientos, conocimientos y actitudes, a través de un Plan Institucional para el cuidado del medio ambiente, ya que en la mayoría de los ítem, tan solo para la encuesta de comportamientos, los estudiantes mostraron desinterés y algunos de ellos dejaron incluso preguntas sin marcar su respuesta.

Como Institución de Educación Medio y Superior, la Universidad debe generar dentro y fuera de sus aulas un aprendizaje significativo de forma transversal a través de su currículo, a fin de generar conciencia y conocimiento en los estudiantes, para convertir a los universitarios en actores sociales, sensibles y comprometidos en el cuidado del medio ambiente, e impacte favorablemente en la sociedad.

Para ello será necesario diseñar estrategias integrales (cursos, talleres, foros, spots, difusión y artículos en revistas, radio y televisión universitaria, líneas de investigación, etc.) para todos los activos dentro de nuestra máxima casa de estudios, así también, llevar a cabo actividades concretas para el cambio y compromiso

hacia la sustentabilidad, la construcción de acciones sustantivas en pro del medio ambiente. Lo anterior se deberá implementarse no solo en el Área de la Salud, sino en todas y cada una de las Unidades Académicas que conforman la Universidad, y no solo eso, sino que también será necesario involucrar a los académicos, funcionarios, trabajadores administrativos y manuales, es decir a todo lo largo y ancho de nuestra institución.

5. Referencias Bibliográficas

- [1] Armijo de Vega C, Ojeda Benítez S, Ramírez Barreto M. (2003). El manejo adecuado de los residuos sólidos universitarios como instrumentos de educación no formal. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Baja California.
- [2] Andraca Sánchez C, Sampedro Rosas L. 2011) Programa de Educación Ambiental para incidir en la actitud del manejo de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de estudiantes del nivel medio superior. Revista Iberoamericana de Educación / Revista Ibero-americana de Educação n.º 56/3 – 15/10/11 Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI-CAEU).
- [3] Universidad Veracruzana (2012). Guía Institucional para la gestión integral de residuos sólidos urbanos en las dependencias y entidades académicas de la Universidad Veracruzana CoSustentaUV, Xalapa, Veracruz; 15p
- [4] Ramos, M. G. (2008). “*La Educación en Valores*”. Revista Educación en Valores. Enero-Junio Vol.1 (9) pp. 110-118. Venezuela: Universidad de Carabobo.
- [5] Vallaes F, De la Cruz C, Sasia P (2009). Responsabilidad social universitaria. Manual de primeros pasos. McGraw Hill, México.
- [6] Díaz-Barriga, Frida y Hernández, G (1999). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. McGraw Hill, México.

