



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



Para dar continuidad al Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos, en esta ocasión, le corresponde ser sede del II Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos, a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), cuyo objetivo principal, es conjuntar trabajos de expertos cuyas investigaciones se estén desarrollando en el territorio Nacional, con el fin de discutir sobre los problemas sanitarios, ambientales y técnicos asociados a la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos, así como adelantos y evolución en la temática bajo estudio.



En este contexto el encuentro presenta una oportunidad para difundir información e intercambiar experiencias en el campo de los residuos, además de fomentar la cooperación entre las instituciones educativas, sector social, gubernamental y de la iniciativa privada.

INDICE

MESA I. ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN Y GENERACIÓN	
CARACTERIZACION DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ARRECIFE DE MAHAHUAL QUINTANA ROO, MEXICO. J. L. Guevara Franco; L. P. Flores Castillo; J. Camacho Córdoba	4
CUANTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RSU GENERADOS EN EL CAMPUS DE BIOLOGÍA Y CIENCIAS AGRÍCOLAS ZONA XALAPA, UNIVERSIDAD VERACRUZANA-MÉXICO. L. Garibay-Pardo, E. A. De Los Santos-Castillo , H. Narave-Flores y M. A. Chamorro-Zárate.	10
POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN EN LIXIVIADOS DE RELLENOS DE TIERRA CONTROLADOS DEL VALLE DE TOLUCA. G.Macedo-Miranda, Ma.C.Hernández-Berriel,, S. Martínez-Gallegos, J. Lugo de la Fuente, G. Gómez-Beltrán y B. Barrientos-Becerra	22
IMPACTO DE LA RECIRCULACION DE LIXIVIADOS EN LA PRODUCCION DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Ma.C. Hernández-Berriel , , L. Márquez-Benavides, Ma.C. Mañón-Salas, Carlos Guillermo Prado-Huerta y Evaristo Ávila-Vera	34
HIDRÓLISIS ALCALINA DE LA QUITINA PARA LA OBTENCIÓN DE PERLAS DE QUITOSANO COMO BIOADSORBENTES DE COBRE. J.R. Rodríguez-Núñez, A.G. Villa-Lerma, D.I. Sánchez-Machado, J. López-Cervantes*	46
CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE FRUTAS Y VERDURAS PRODUCIDOS EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE LA CIUDAD DE TOLUCA PARA LA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO POR VÍA BIOLÓGICA. Evaristo Ávila-Vera ,, David Alcantara, Suilma M. Fernández, Valverde* y María del Consuelo Hernández Berriel,	58
IDENTIFICACIÓN DE ACTITUDES AMBIENTALES EN LA GENERACIÓN DE ENVASES. G. Lozano-Olvera, S. Ojeda-Benítez y C. Armijo-de-Vega	68
COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS CONFINADOS EN UN TIRADERO NO CONTROLADO EN UNA ZONA RURAL DE UNA CIUDAD FRONTERIZA S. Ojeda-Benítez, G. Lozano-Olvera, Francisco Javier Gómez Puentes, Melissa Valdez Carrillo Concepción Carreón Diazconti, H. Favela-Ávila	80
MESA II. MINIMIZACIÓN	
CARACTERIZACIÓN DEL BIOGAS EN EL RELLENO DE TIERRA DE MORELIA, MICHOACÁN Carlos Alberto González Razo, Otoniel Buenrostro Delgado	89
MESA III. RECICLAJE Y REUSO	
PROGRAMA DE MANEJO DE PAPEL EN EL CAMPUS ENSENADA DE LA UABC C. Armijo de Vega, A. García-Gastelum, Q. Aguilar-Virgen, P. A. Taboada-González	103
LAMINAS DE CARTON A PARTIR DEL RECICLAJE. Elizabeth Ramón García , Mario José Romellón Cerino	115
V. TRATAMIENTOS (MECÁNICOS, BIOLÓGICOS, TÉRMICOS Y SIMILARES)	
SEPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE LOS PRODUCTOS DE LA FERMENTACIÓN LÁCTICA DE LOS RESIDUOS DEL CAMARÓN. Adan-Bante N. P., López-Cervantes J., Bueno-Solano C., Campas-Baypoli O. N., Sánchez-Machado D.I.*	120
CARACTERÍSTICAS DE LIXIVIADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, GENERADOS A DIFERENTES REGIMENES DE HUMEDAD. Ma.C. Hernández-Berriel , , L. Márquez-Benavides, Ma.C. Mañón-Salas, J. Lugo-de la Fuente y R. Alfaro Cuevas Villanueva	131

USO DE INÓCULO PARA ACELERAR LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS J.M. Sánchez Yáñez, L. Márquez Benavides, O. Buenrostro-Delgado , R. Alfaro Cuevas Villanueva y F.J. Colín Ruiz	143
MESA VI. USO DE RELLENOS SANITARIOS (INCLUYENDO DISEÑO, MONITOREO, REMEDIACIÓN DE SITIOS CLAUSURADOS)	
CAPTURA DE BIOGÁS DEL RELLENO SANITARIO DE ENSENADA, B.C. Q. Aguilar-Virgen, C. Armijo-de Vega, P.A. Taboada-González	154
MESA VII. CONSIDERACIONES AMBIENTALES	
PERSPECTIVAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN MÉXICO. L. A. Maldonado López*, & L. Márquez Benavides	166
ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL TIRADERO DE MORELIA. J.A. Nila-Cuevas, O. Buenrostro-Delgado, L. Marques-Benavides, R. Alfaro Cuevas Villanueva	180
MESA VIII. ASPECTOS FINANCIEROS Y DE MERCADEO	
COSTOS DE ELABORACION ARTESANAL DE LÁMINAS DE CARTON. Elizabeth Ramón García , Mario José Romellón Cerino	189
MESA X. EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO	
PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL ENFOCADO A LOS RESIDUOS SÓLIDOS J. L. Guevara Franco, L. P. Flores Castillo	192
PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTERNACIONAL DE ADMINISTRACIÓN DE CALIDAD EN UN PROGRAMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-AZCAPOTZALCO. Espinosa Valdemar Rosa María, Turpin Marion Sylvie, de la Torre Vega Alfonso, Vázquez Solís Roberto Carlos, Delfín Alcalá Irma, González Esquivel Berenice y Cisneros Ramos Adriana de la Luz.	201
MANEJO DE RSU HACIA LA SUSTENTABILIDAD EN LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA. L. Garibay-Pardo, M. Baizabal-Blanco, L. Bonilla-Rodriguez, H. Narave-Flores y M. A. Chamorro-Zárate.	215
ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA MUNICIPAL PARA LA PREVENCIÓN Y LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS EN ATEMAJAC DE BRIZUELA JALISCO, MÉXICO. L. Alencastro-Larios N.S., Méndez-Rodríguez V.M., Sybil-Cudurie A., Solís González S.A.	228
LA MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, EJE CENTRAL DEL PROGRAMA ESCUELA LIMPIA DEL CENTRO DE EDUCACIÓN AMBIENTAL QUETZALLI EN COATZACOALCOS. A. Barradas-Rebolledo, G. Silva-Talancón	248
MESA XII. OTROS RELACIONADOS	
LOS RESIDENTES DE EL SALTO, JALISCO Y SU PERCEPCIÓN DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN. Gerardo Bernache Pérez	260
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA FRONTERA NORTE: LOS CASOS DE JUÁREZ, REYNOSA Y TIJUANA. Couto Benítez, Ismael	271
PROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS Y FUCIONAMIETO DEL CENTRO UNIVERSITARIO PARA EL ACOPIO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LEÓN. José De la Fuente Pedroza, Karina G. López Romo, Mario B. Reyes Marroquín, F. Iván Durán Malacara, Ana L. Rodríguez Sotelo, D. Elizabeth Turcott Cervantes	283
ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CONFINAMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS. F. Pinette-Gaona, O. Buenrostro-Delgado, L. Marques-Benavides	294
METODOLOGÍA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS D. S. Rodríguez-Sordía, M. A. Amezcua-Allieri y R. Zepahua	301
RESIDUOS PELIGROSOS Y COMUNICACIÓN DE RIESGOS. EL CASO GUADALCAZAR.	312

Francisco Javier Rangel Martínez	
REMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS POR DIESEL CON ÁRBOLES DE TINTO. Mario José Romellón Cerino, Julio Cesar Romellón Cerino, Elizabeth Ramón García, Antonina del Carmen Tun Pérez	325
RECICLAJE DE DIESEL COMO FUENTE DE CARBONO PARA ÁRBOLES DE TINTO Mario José Romellón Cerino, Julio Cesar Romellón Cerino, Elizabeth Ramón García, Antonina del Carmen Tun Pérez	328
GESTIÓN LOCAL E INTERGUBERNAMENTAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. UNA EVALUACIÓN DE LAS “BUENAS PRÁCTICAS” EN LOS MUNICIPIOS MEXICANOS. A.L. Rodríguez-Lepure	332
DESARROLLO DE UN MODELO PARA ESTIMAR BIOGÁS A PARTIR DE CARACTERÍSTICAS DE LIXIVIADOS OBTENIDOS A ESCALA LABORATORIO. M. C. Mañón-Salas, L. Márquez-Benavides, M. C. Hernández- Berriel	344
RELACIÓN SOCIEDAD-AMBIENTE EN LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. C. E.Saldaña-Durán, G. Bernache-Pérez, Téllez-López	356

CARACTERIZACION DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ARRECIFE DE MAHAHUAL QUINTANA ROO, MEXICO.

J. L. Guevara Franco; L. P. Flores Castillo; J. Camacho Córdova

**1 División de Ciencias e Ingeniería
Universidad de Quintana Roo**

Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort Col. Del Bosque
Chetumal, Quintana Roo, México.

luisguev@uqroo.mx, paflores@uqroo.mx Tel. 01 983 83 503-90

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de la presencia de residuos sólidos en el arrecife de zona Mahahual Quintana Roo, México, que pertenece al Sistema Arrecifal Mesoamericano, que es la segunda barrera arrecifal más larga del mundo.

El arrecife es un ecosistema con una gran biodiversidad y de los más complejos y frágiles. Sirve de fuente de alimentación y refugio para muchas especies marinas de consumo humano. Fuente de pesca comercial y deportiva.

Se realizó un muestreo frente al poblado de Mahahual, recolectando 135.2 kg de residuos obteniendo 0.250 kg/ m. El 64.31 % de estos residuos es madera, el 12.75 % de residuos es material orgánico, de los cuales 7.65 % corresponde a restos de coral muerto. El 4.99 % de los residuos es plástico, de los cuales 0.22 % es plástico de película, 1.22 % es plástico rígido y 3.55 % es PET de envases de bebidas. El 2.66 % de los residuos fue de fibra sintética, en su mayoría artes de pesca como redes e hilo. El 0.922 % encontrado fue de vidrio y un 14.01 % correspondió a un neumático.

Palabras clave: Arrecife; basura; contaminación marina; debris; litter; residuos sólidos.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es un problema serio que está afectando a todos los ecosistemas del planeta y que se utiliza en dos sentidos: el primero, que es el fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas y el segundo es una teoría que predice, a partir de proyecciones basadas en simulaciones computacionales, un crecimiento futuro de las temperaturas. Hay que hacer una diferencia entre efecto invernadero y calentamiento global, el efecto invernadero es un efecto natural por el cual la tierra retiene parte de la energía solar que atraviesa la atmósfera debido a la acción de los gases de efecto invernadero, mientras que el calentamiento global es el incremento de la temperatura media de la atmósfera debido a

la actividad humana, actividades como la quema de combustibles, la deforestación, la ganadería entre otras actividades incrementan la cantidad de gases de efecto invernadero. (Varela, 2007).

Las grandes acumulaciones de residuos y de basura son un problema cada día mayor, que se origina por las grandes aglomeraciones de población en las ciudades industrializadas o que están en proceso de urbanización; las cuales tienen una gran demanda de bienes de consumo que aumentan a su vez el volumen de desechos. Algunas veces la basura se elimina por medio de la incineración, que también origina un desprendimiento de grandes cantidades de gases tóxicos y que contamina igualmente la atmósfera. Además cuando llueve los desechos contaminan las aguas cuando son arrastrados hasta los ríos, los lagos y el mar; así como a los depósitos subterráneos de agua cuando estos se encuentran en terrenos permeables.

El Sistema Arrecifal Mesoamericano (MAR) se extiende desde el norte de la Península de Yucatán a las Islas de la Bahía en Honduras. MAR es el único hemisferio occidental en términos de su longitud, composición de tipos de arrecife y la diversidad de ensamblajes de coral y especies relacionadas. Contribuye a la estabilización y protección de los paisajes costeros, el mantenimiento de la calidad del agua costera, y sirve como la reproducción y alimentación de mamíferos marinos, tortugas marinas, peces e invertebrados, muchos de los cuales son de importancia comercial. MAR es también de inmensa importancia socioeconómica que ofrezcan oportunidades de empleo y una fuente de ingresos a una cifra estimada de un millón de personas que viven en las zonas costeras adyacentes.

Los arrecifes de coral constituyen uno de los ecosistemas más ricos y espectaculares del planeta. La gran biodiversidad que se encuentra en ellos les ha ganado el nombre de "selvas del mar". Entre las miles de especies que los forman y habitan se encuentran representados todos los grupos de organismos marinos existentes. Además de ser un hábitat insustituible, los arrecifes son rompeolas naturales que se auto reparan y protegen el litoral, sin costos para el hombre. Los arrecifes de coral proveen alimento y protección para un sinnúmero de criaturas marítimas, como erizos, tortugas de carey, cangrejos, langostas y un largo etcétera. Alteraciones tanto naturales como realizadas por el hombre pueden afectar la compleja cadena alimenticia que se ha desarrollado alrededor del arrecife.

México tiene arrecifes coralinos en sus aguas del océano Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe en la península de Yucatán. En esta última zona, el arrecife forma una



barrera discontinua de casi mil kilómetros de longitud que se prolonga hasta Honduras. Es la segunda más grande después de la Gran Barrera de Arrecifes de Australia.

METODOLOGÍA

Se realizó un muestreo tipo área cubriendo una superficie total de 500 por 300 m², se contó con la participación de 4 embarcaciones, 3 de ellas con 4 buzos cada una y la cuarta con nueve buzos, cada embarcación realizo transectos de 50 m sumando un total de 1050 metros lineales. Para hacer el pesaje de los residuos obtenidos del arrecife se utilizo una báscula de piso marca Ohaus de 0.05 kg. de precisión, modelo DS20L con capacidad máxima de 100 kg.

Existen reportes de residuos sólidos en el mar que expresan sus resultados en número de objetos recolectados, NOWPAP (2007), mientras que en otros reportes se expresan los resultados en kg., en número de objetos, en tipo de objetos y en volumen por unidad de distancia o área MOMAF (2002), otros en cambio reportan por fuente y tipo de residuo National Marine Debris Monitoring Program, Ocean Conservancy, (2007). De esta forma, mientras que Kusui, T. y Noda, M., 2003 reportan los resultados de sus investigaciones en gramos de residuos por unidad de área, Aliani, S. y Griffa, A. y Molcard, A., 2003 reportan residuos flotantes en número de objetos por área; de acuerdo con Velandar, K. y Mocogni, M. 1999, el método de muestreo depende de los objetivos del proyecto, lo importante es tener una idea de la cantidad de basura presente en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se realizó un análisis de la presencia de residuos sólidos en el arrecife de Mahahual, Quintana Roo, México el día 20 de septiembre del año en curso, con motivo del Día Internacional de Limpieza de Playas y Arrecifes “Splash For Trash” en el cual participó un grupo buzos voluntarios, alumnos de la carrera de Ing. Ambiental, operadores turísticos, habitantes de la localidad y algunos turistas, todo esto con coordinado por la alcaldía de Mahahual y la empresa de buceo DreamTime Dive Resort en asociación con Fundación Project Aware.

Se utilizó un total de 4 embarcaciones las cuales se dirigieron al punto denominado “Faro Nuevo”, las inmersiones se realizaron trazando transectos rectos de cincuenta metros de forma aleatoria sumando un total de 1050 metros lineales.

Cada embarcación entregó sus muestras a la estación de pesaje que se encontraba ubicada a un costado de las instalaciones de DreamTime Dive Resort para realizar la cuantificación y caracterización de los residuos obtenidos. Las embarcaciones recolectaron las siguientes cantidades:

1. Embarcación 1 con un total de 9 voluntarios recolecto 41.75 kg.
2. Embarcación 2 con un total de 4 voluntarios recolecto 83.2 kg.
3. Embarcación 3 con un total de 4 voluntarios recolecto 4.95 kg.
4. Embarcación 4 con un total de 4 voluntarios recolecto 5.3 kg.

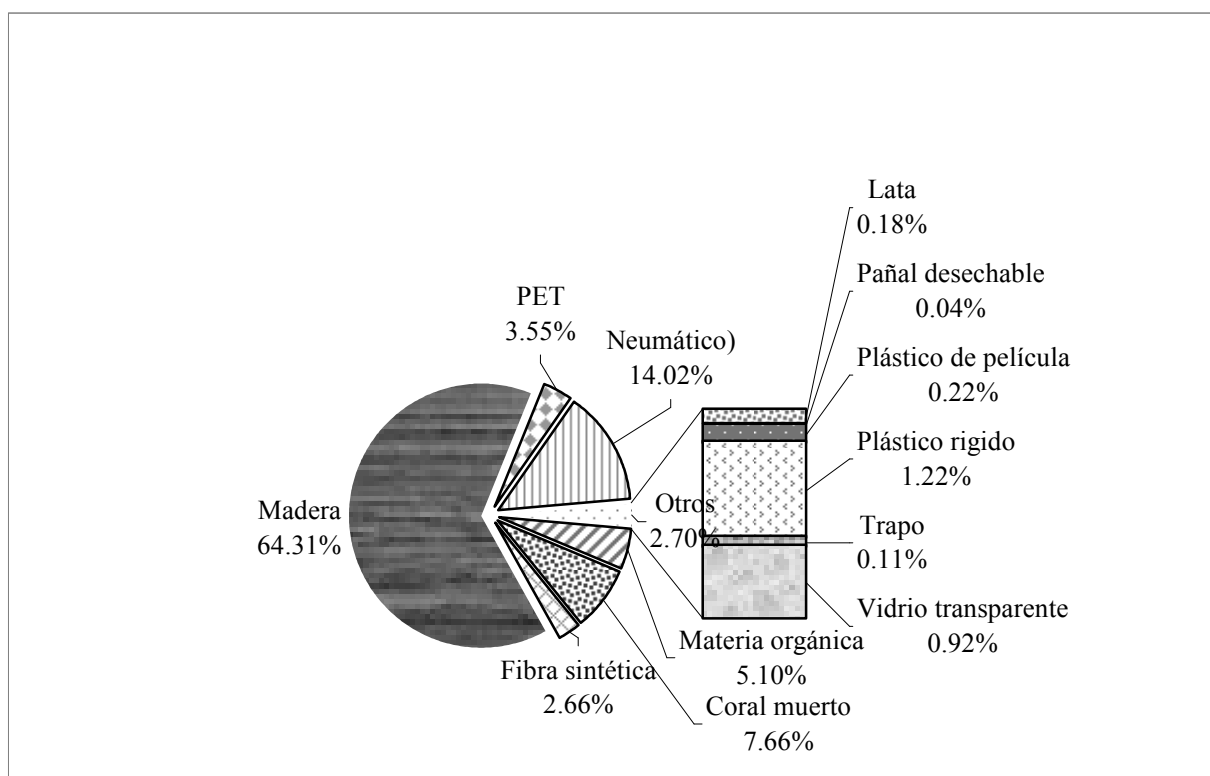


Figura 1 Caracterización de los Residuos en Mahahual Quintana Roo

Las cuatro embarcaciones reunieron un total de 135.2 kg. de residuos. Lo que representa 0.1287 kg/ m. En la figura 1 se puede observar que una gran proporción en peso de los residuos colectado en el mar fueron de madera (64%), neumáticos 14% y 7.6 % de coral muerto, estas proporciones pueden ser consecuencia del paso del huracán Dean en



agosto del 2007. El PET aunque solo es de un 3.55 % y el vidrio con 0.95%, de envases de bebidas, son los objetos más encontrados así como el plástico en forma rígida y de película.

Los residuos impactan en los ecosistemas ocasionando daños a los organismos, atrapándolos, modificando su hábitat o al ser ingeridos. Causan efectos en la salud, la vida social y económica de la población aledaña, obstaculizan el transporte y la seguridad marina, afecta la pesquería y el turismo.

AGRADECIMIENTOS

Aníbal Bravo M.; Brook Hahn; Dean Rawlins; Douglas Campbell; Edith Rojas; Elena Alcocer; Ernesto Maldonado; Inocencio Romero; Juan Manuel Verduzco; Kate Larkin; Kevin Graham; Luis Fernando Amezcua Benítez; Neil Armour; Raphael Sara Seglin; Rick Hardbeck; Rick Hardbeck; Steve Torner; Stuard Fulton; Tito Livio; Vivian Fernández; Yaama Saad Zo.

REFERENCIAS

1. Aliani, S., Griffa, A. y Molcard, A., (2003). Floating debris in the Ligurian Sea, north-western Mediterranean, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 46, Issues 9, September 2003, pp. 1142-1149.
2. Kusui, T. y Noda, M., 2003, International Survey on the Distribution of Stranded and Buried Litter on Beaches along the Sea of Japan, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 47, Issues 1-6, January 2003, pp. 175-179.
3. NOWPAP, Norwest Pacific Action Plan, (2007). Guidelines for Monitoring Marine Litter on Beaches and Shorelines of the Norwest Pacific Region
4. MOMAF . 2002. *Marine Debris Card*, Ministry of Maritim Affairs & Fisheries (MOMAF), Republic of Corea, April 2002.
5. Velander, K. y Mocogni, M. 1999, Beach litter sampling strategies, is there a best method?, *Marine pollution bulletin*, Volume 38, Issue 12, December 1999, pp. 1134-1140.
6. Varela Felipe, 2007. “¿Que es el calentamiento Global?”, consultado en: http://sepiensa.org.mx/contenidos/2005/1_calenta/calentamiento_2.htm, noviembre de 2008.

NOTACION

MAR Sistema Arrecifal Mesoamericano
PET Polietilentereftalato

Cuantificación y clasificación de RSU generados en el campus de Biología y Ciencias Agrícolas Zona Xalapa, Universidad Veracruzana-México.

L. Garibay-Pardo¹, E. A. De Los Santos-Castillo², H. Narave-Flores³ y M. A. Chamorro-Zárate⁴.

**1. Programa de Manejo de RSU, hacia la sustentabilidad en la UV.
Fac. de Biología-Xalapa.**

**Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.
Universidad Veracruzana.**

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
legapa3@hotmail.com, lgaribay@uv.mx**

**2. Proyecto de Separación y Manejo de RSU, Fac. de Biología-Xalapa.
Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.**

Universidad Veracruzana.

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
estuardo.es@hotmail.com**

**3 y 4 Programa de Manejo de RSU, hacia la sustentabilidad en la UV.
Fac. de Biología-Xalapa.**

**Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.
Universidad Veracruzana.**

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
hnarave@uv.mx**

**4. Programa de Manejo de RSU, hacia la sustentabilidad en la UV.
Fac. de Biología-Xalapa.**

**Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.
Universidad Veracruzana.**

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
machamorro7@yahoo.com.mx**

RESUMEN

Conforme a la aplicación de las normas NMX-AA-015-1985 y NMX-AA-022-1985 se determinó la cantidad en peso y porcentaje de RSU generados en las Facultades de Biología y Ciencias Agrícolas de la UV, por semana y obtener conocimientos para la planeación de estrategias de separación y manejo de los RSUs, mediante **clasificación y cuantificación**. Se realizaron seis muestreos: Noviembre, Diciembre de 2006 y Enero de 2007, se analizaron datos y se planeo la siguiente fase; Noviembre, Diciembre de 2007 y

Abril de 2008. En Octubre de 2007, se realizó el cálculo del total en peso de basura que se genera en una semana en el campus. Los resultados revelan que la mayor cantidad de residuos son: materia orgánica de 70 a 80 %, plástico PET, cartón y papel de oficina. Por semana quitando materia orgánica de la jardinería se genera un total de 750 a 900 Kg. Los resultados sugieren la importancia de manejar y separar los residuos antes de mezclarlos, muchos son recuperables, lo orgánico debe ser para composta, las cafeterías deben concesionarse a la mejor propuesta de baja generación de RSU, trabajar el inadecuado manejo de los residuos sanitarios y vigilar la generación de restos inusuales; bebidas alcohólicas.

Palabras claves: clasificación; cuantificación; generación

INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental que ocasionan los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es cada vez más grave. Por la toxicidad que ocasionan afectan los recursos naturales en su composición y a los organismos vivos en general (Capistrán y col. 2004).

En una primera instancia pareciera que residuo y basura son lo mismo, generalmente se escucha hablar a las personas indiferentemente de uno u otro, pero existe una muy marcada diferencia.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su Artículo 3° Fracción XXXI define a los residuos como “cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó” (LGEEPA, 2003).

En cuanto a la generación de los RSU debemos mencionar que la atención que se le da por parte de las instituciones de gobierno local son:

- A) La recolección, la cual se da a través de rutas preestablecidas.
- B) El transporte, que se hace mediante el amontonamiento de los desechos y residuos en los camiones recolectores.
- C) Disposición final, aquí se considera el destino último de los residuos y generalmente son botaderos a cielo abierto o en algunas ocasiones rellenos sanitarios (Capistran y col. 2004).

Sin embargo esta atención no siempre va acompañada de un diagnóstico que permita de manera adecuada responder a la generación de los residuos en las ciudades o centros generadores de los mismos.

Un diagnóstico nos permite conocer de manera clara el problema de los RSU, las cantidades que se generan, el tipo de RSU y las posibles alternativas para enfrentar la situación.

La NOM ECOL 1985 – 015, llamada también método de cuarteo nos da los lineamientos básicos para realizar un diagnóstico que nos permita conocer los aspectos ya mencionados. La Universidad Veracruzana, como institución que forma profesionales que atienden los problemas sociales debe involucrarse en la problemática de los RSU.

Es así, que se hace necesario realizar diagnósticos que nos permitan conocer lo que generan las escuelas o facultades en nuestra universidad.

El presente trabajo pretendió ser una respuesta a esta necesidad ya que se realizaron un diagnóstico en un periodo de un año basado en la normatividad vigente para conocer la cantidad y tipo de RSU generados por las Facultades de Biología y Ciencias Agrícolas y así generar conocimientos para las acciones futuras de separación y manejo de los RSUs, mediante la **clasificación y cuantificación** y así:

- Determinar la cantidad de R.S.U. generados en el campus, con base en la aplicación de la norma NMX-AA-015-1985 y la aplicación de la norma NMX-AA-022-1985
- Determinar la cantidad en peso y porcentaje de RSU ya clasificados que se generan por semana conforme a las NMX – AA- 015 – 1985.
- Sentar las bases para el conocimiento de nuestra generación de RSU en las Facultades y así planear mejores estrategias para su correcta separación y manejo.

METODOLOGÍA

Esta se inicio realizando un análisis de la Normatividad vigente como:

a) Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Publicada en el Diario Oficial de la Federación (D.O.F) el día 28 de enero de 1998. Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) quien define a los residuos, utilización, control o tratamiento y su calidad para su re-uso conforme al proceso. En el artículo 134, señala la necesidad de prevenir y reducir la generación de residuos sólidos urbanos, mediante la incorporación de técnicas y procedimientos para su re-uso y reciclaje, así como la regulación de su manejo y disposición final eficiente, puesto que estos son la principal fuente de contaminantes del suelo.

En cuanto al tratamiento de los residuos el artículo 37, autoriza a los Municipios el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, re-uso tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, conforme a sus leyes locales en materia y a las Normas Oficiales Mexicanas que resulten aplicables.

A nivel estatal existen la Ley Estatal de Protección Ambiental de Veracruz, LEPA; publicada en la gaceta oficial el 30 de junio de 2000; y contiene definiciones de los Residuos Sólidos y los Residuos Sólidos de Origen Municipal, términos que fueron adoptados en el artículo 3^a de la LGEEPA; artículo 7^o, adjudica el manejo y la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos e incluye un capítulo exclusivo para el Manejo y Disposición de Residuos Sólidos No Peligrosos, capítulo V. Esta ley, reafirma las actividades correspondientes al ejecutivo Estatal y Municipal, breve y previamente mencionadas en la LGEEPA. Es importante para el Estado en materia de RSU, es la Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, a partir del 28 de junio de 2004. Artículo 1^o “regular la prevención de la generación y la gestión integral de los residuos sólidos urbanos...” (García-Vásquez, 2008)

b) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

Diario Oficial de la Federación (D.O.F) 8 de Octubre de 2003, artículo 25 señala que la SEMARNAT deberá formular e instrumentar el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos, con el diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos que considera la cantidad y composición de los Residuos, así como la infraestructura para manejarlos integralmente.

c) Normas Oficiales Mexicanas en Materia Ambiental; aplicables en la investigación.

NMX-AA-61-1895 Determinación de la generación. Norma Oficial Mexicana que especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos urbanos. Para efectos de aplicación de esta norma los residuos sólidos urbanos deben encontrarse dispuestos en un contenedor para la realización del método de cuarteo.

NMX-AA-015-1985 Método de Cuarteo. Norma Oficial Mexicana, que establece el método de cuarteo para residuos sólidos urbanos. Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas. Llenando la cedula correspondiente.

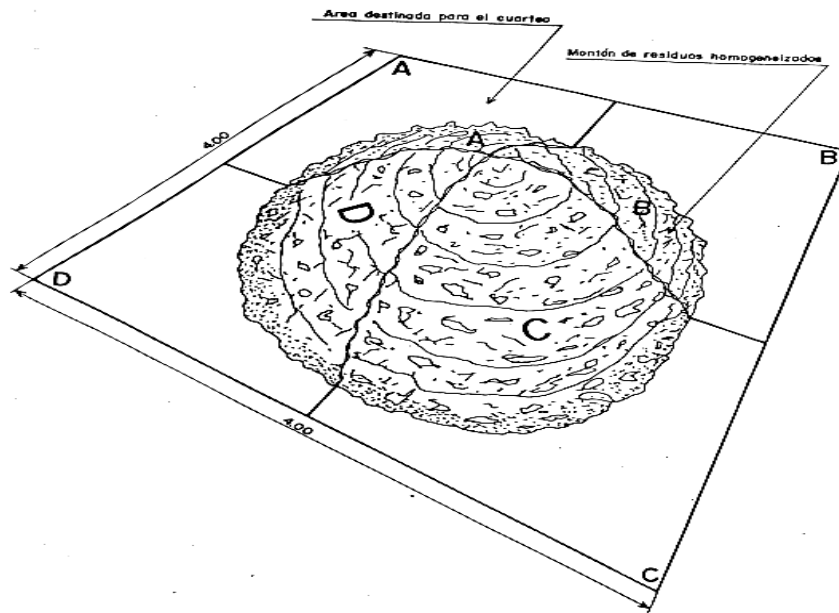


Fig.1: Muestra el esquema sobre el método de cuarteo. Fuente: NMX-AA-022-1985 NOM – AA- 22 SELECCIÓN DE SUBPRODUCTOS.

Los aparatos y equipo que se sugieren, son:

Básculas de piso con capacidad de 200 kg, Tambos metálicos de forma cilíndrica, capacidad de 200 l, Palas curvas, Overoles, Guantes de carnaza, Escobas, Recogedores, Botas de hule, Mascarillas, Papelería y varios necesarios para la operación (cédula de informe, marcadores, etc.). El equipo usado depende del número de participantes.

Cuantificación: Los subproductos ya clasificados se meten a una bolsa o a un tambo según la cantidad de estos y se pesan descontando el peso del recipiente que se esté usando.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

$$PS = \frac{G1}{G} \times 100$$

PS = Porcentaje del subproducto considerado. **G1** = Peso del subproducto considerado, en Kg; descontando el peso de la bolsa empleada. **G** = Peso total de la muestra. El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe de ser como mínimo el 98 % del peso total de la muestra (**G**). En caso contrario, se debe repetir la determinación. Los resultados se anotan, como se indica en la hoja de registro.

Observaciones: Los cambios en peso durante la determinación, se deben principalmente a

la liberación o admisión de humedad. Se recomienda efectuar la determinación en un lugar cerrado y bajo techo. Dentro de los residuos sólidos alimenticios se deben incluir todos aquellos residuos de fácil degradación, tales como; vísceras, o cadáveres de animales. **NOM – 19 – 1985: Peso volumétrico In situ.** Norma Oficial Mexicana que establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación del cuarteo.

Procedimiento: Para efectuar esta determinación, se requiere de cuando menos dos personas. Y se utiliza el mismo material que en la otra NOM y antes de la determinación, se verifica que el recipiente esté limpio y libre de abolladuras; así como también que la báscula esté nivelada; Se pesa el recipiente vacío, tomando este peso como la tara del recipiente, en caso dado de no conocer la capacidad del recipiente, ésta se determina a partir de las formulaciones aritméticas existentes, según sea la geometría de dicho recipiente.

Se llena el recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo según la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-15; se golpea el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm, agregando residuos sólidos hasta el tope, sin presionar al colocarlos en el recipiente; esto con el fin de no alterar el peso volumétrico que se pretende determinar, se debe tener cuidado de vaciar dentro del recipiente todo el residuo, sin descartar los finos.

Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pesa el recipiente con estos y se resta el valor de la tara, cuando no tenga suficiente cantidad de residuos sólidos para llenar el recipiente se marca en este, la altura alcanzada y se determina el volumen.

Calculo. El peso volumétrico del residuo sólido se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$Pv = \frac{P}{V}$$

Pv = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m³. P = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg. V = Volumen del recipiente, en m³

d) Fase de Diagnostico.

Se aseguró que la semana de trabajo para la determinación, no tenga suspensiones y que todos los alumnos asistan a las Facultades, así como que los residuos que no fueron separados se encuentren en el contenedor y se avisó tanto a la administración como al

personal de intendencia y servicios generales de la programación de los diagnósticos, para que los intendentes embolsaran y sellaran bien la basura sanitaria y servicios generales a su vez no recolectaran los residuos del contenedor hasta haberse acabado el diagnóstico de la semana.

a) Parámetros a determinar:

- Método de cuarteo
- Determinación del peso volumétrico
- Selección del material (Tipificación)
- Cuantificación del total de RSU en una semana.

b) Aparatos y Equipo: Son los que se mencionan en la NOM.

c) Determinación de los muestreos. Se realizaron seis muestreos uno cada mes: los dos primeros Noviembre y Diciembre de 2006, el tercero en Enero de 2007, se analizaron datos y se planeo la siguiente fase realizándose el cuarto y el quinto los meses de Noviembre y Diciembre de 2007 finalizando con el sexto el mes de Abril de 2008. También en el mes de Octubre de 2007, se llevó a cabo el cálculo aproximado del total en peso de la basura que se genera en una semana en el campus Biología-Agronomía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación y de una manera comparativa se muestra el cálculo del peso volumétrico y el total de los subproductos separados después de la aplicación del cuarteo.

Tambo de 0.2 m ³ ó 200 Lt	Nov. de 2006 Peso en Kg y peso Volumétrico Kg/m ³	Dic. de 2006 Peso en Kg y peso Volumétrico Kg/m ³	Enero de 2007 Peso en Kg y peso Volumétrico Kg/m ³
Tambo No. 1	27 / 135	29 / 145	28 / 140
Tambo No. 2	25 / 125	27 / 135	26 / 130
Tambo No. 3	19 / 95	31 / 155	29 / 145
Tambo No. 4	22 / 110	30 / 150	31 / 155
Tambo No. 5	29 / 145	24 / 145	23 / 115
Tambo No. 6	-	26 / 130	31 / 155
Tambo No. 7	-	31 / 155	30 / 150
Total	122 / 610	203 / 1015	198 / 990

Cuadro No. 1 Peso Volumétrico Noviembre, Diciembre 2006 Enero 2007.

Los datos que se presentan en el Cuadro No. 1; corresponden a lo obtenido el mismo día de la cuantificación; esto constituye parte de la metodología, es decir; la mitad de todo lo generado en la semana, se homogenizó y se dividió en cuatro cuadrantes, dos extremos opuestos correspondieron a la cuantificación y los dos restantes se utilizaron para el cálculo del volumen. Por lo que presumiblemente el total corresponde a la mitad de todo los RSU, generados en una semana.

RSU	En Kg y en %. Nov de 2006	En Kg y en %. Dic de 2006	En Kg y en %. de 2007
Papel de Oficina	9.5 / 5.9 %	12.5 / 6.6 %	13.5 / 6.3 %
Cartón	7 / 4.3 %	4 / 2.1 %	5 / 2.3 %
Plástico PET	19.5 / 12.1 %	17 / 9.0 %	14 / 6.6 %
Plástico (varios)	2 / 1.2 %	3 / 1.6 %	2 / 0.9 %
Vidrio	7 / 4.3 %	5.5 / 2.9 %	3.5 / 1.6 %
Metal	5 / 3.1 %	3 / 1.6 %	3.5 / 1.6 %
Aluminio	0.5 / 0.3 %	2.5 / 1.3 %	0.2 / 0.09 %
Materia Orgánica	110 / 68.5 %	140 / 74.6 %	170 / 80 %
Total	160.5 / 99.7 %	187.5 / 99.7 %	211.7 / 99.3 %

Cuadro No. 2 Porcentaje de los subproductos de Nov. Dic 2006 y Ene 2007.

En el cuadro anterior se muestra que la cantidad mayor de RESU, es la materia orgánica, seguida del plástico que si bien es poca cantidad en peso es muy voluminoso. El dato del Aluminio es erróneo, debido a que diversas personas incluso ajenas a la facultad y al programa lo sustraían de los contenedores.



Figura No. 2. Imágenes del Primer Diagnóstico. Noviembre 2006



Fig. 3: Segundo Diagnóstico Diciembre 2006.

Las imágenes de la figura No. 2, corresponden a los residuos clasificados; los de la izquierda son envases de plástico de productos de limpieza y de restos usados en la cafetería al igual que los frascos de vidrio lo que evidencia las marcas, los tamaños y la calidad de los productos que utilizan para venta y consumo de la comunidad estudiantil.

Tambo de 0.2 m ³ ó 200 Lt	Nov. de 2007 Peso en Kg y peso Volumétrico Kg/m ³	Dic. de 2007 Peso en Kg y peso Volumétrico Kg/m ³	Abril de 2008 Peso en Kg y peso Volumétrico Kg/m ³
Tambo No. 1	29/145	32/160	29/145
Tambo No. 2	27/135	34/170	30/150
Tambo No. 3	29/145	33/165	28/140
Tambo No. 4	29/145	34/170	24/120
Tambo No. 5	31/155	32/160	28/140
Tambo No. 6	28/140	30/150	29/145
Tambo No. 7	25/125	32/160	30/150
Tambo No. 8	30/140	-	27/135
Tambo No. 9	31/155	-	-
Tambo No. 10	29/145	-	-
Total	288/1440	227/1135	225/1125

Cuadro No. 3 Peso Volumétrico Noviembre, Diciembre 2007, Abril de 2008



Fig. 4: Tercer Diagnóstico en Enero 2007

RSU	En Kg y en %. Nov de 2007	En Kg y en %. Dic de 2007	En Kg y en %. Abril de 2008
Papel	17 / 6.0%	32 / 19.7%	27 / 12.3%
Cartón	19 / 6.7%	3 / 1.8%	27 / 12.3%
Plástico PET	18 / 6.3%	26 / 16%	28 / 12.8%
Plástico (varios)	9 / 3.1%	9 / 5.5%	8 / 3.6%
Vidrio	14 / 4.9%	5 / 3.0%	26 / 11.9%
Metal/ Al.	7 / 2.4%	1 / 0.6%	1 / 0.4%
Unisel	1 / 0.3%	1 / 0.6%	-
Madera	19 / 6.7%	-	-
Trapo	3 / 1.0%	-	-
Materia Orgánica	175 / 62%	85 / 52.4%	101 / 46.3%
Total	282 / 99.4%	162 / 99.6%	218 / 99.6%

Cuadro No. 4 Porcentaje de los subproductos de Nov. Dic 2007 y Abr. 2008.



Fig. 5: Cuarto Diagnóstico. Noviembre de 2007.



Fig. 6: Quinto Diagnóstico Diciembre 2007.



Fig. 7: Sexto Diagnóstico Abril 2008.

El total de residuos de la semana fue de entre 750 y 900 Kg dependiendo de la humedad y sin contar la basura orgánica producto de la jardinería, dándonos cuenta que hasta los residuos de construcción se anexan a la basura, pero para efecto de esta investigación los eliminamos.



Fig. 8: Imágenes de diferentes espacios de acopio de basura para el cálculo de la semana.

CONCLUSIONES

Al haber realizado la cuantificación, encontramos que el mayor volumen de residuo es el plástico PET, seguido del papel y cartón, si bien no es el más pesado es el más voluminoso, después de la materia orgánica, como lo estipula la SEMARNAT y más del 70 % puede ser recuperable.

Se recomienda dar en concesión las cafeterías que atienden la alimentación universitaria a las personas y/o empresas que oferten las mejores alternativas, sin el uso de tantos desechables y quienes más ofrezcan productos naturales y regionales como por ejemplo el café natural, del que somos una región productora.

A los residuos escolares y comestibles se incorporan los residuos sanitarios, esto hace que el manejo tenga un riesgo de salud ya que deberían estar en bolsas aisladas. Se debe de realizar compostas con los productos de la jardinería y reutilizar o vender el abono orgánico.

Este estudio permite conocer prácticas no usuales en espacios académico/universitario, como el encontrarnos botellas de licor, frascos de reactivos y jeringas, sospechando que incluso de fuera acudan al campus a tirarlas.

Sin duda los resultados obtenidos de esta cuantificación no distan en gran medida de los datos que se pudieran obtener en otro *campus* o *campis* de la Universidad u otro tipo de escuela, siendo el residuo orgánico el más pesado y abundante que ensucia al resto de los residuos; y la mayoría recuperable hasta en un 70 %.

Finalmente consideramos que este estudio es un referente importante para la implementación de un correcto manejo de los residuos; práctica a la que nadie le ha prestado atención debida, pudiéndose proponer en cada facultad, Área, *campus o campi*, de nuestra Universidad; la separación, manejo y correcta disposición final de los cientos de toneladas que al mes se generan en toda ella a lo largo de los 700 Km. del estado. Siendo que la universidad es la principal formadora de los profesionistas de Veracruz y la Facultad de Biología un excelente referente para cuidar el entorno, la Biodiversidad, el cambio de uso de suelo, la escasez de agua y alimentos, el calentamiento global etc. y por que no empezar en casa.

REFERENCIAS

1. Cabrera, N. (2008). *Prospección de la Generación de Residuos Sólidos en la Universidad Veracruzana, Zona Xalapa*, Tesis profesional, Facultad de Biología, Xalapa Ver. México: 74
 2. Capistrán, F., E. Aranda, y J.C Romero. (2004). *Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje*, Instituto de Ecología. A.C. Xalapa, Ver., México: 150
 3. García Vásquez. 2008. *Análisis de la Generación de Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad de Xalapa Ver.* Tesina. Facultad de Biología. Xalapa, Ver. México: 81
 4. Instituto Nacional de Ecología (INE) (2002). *Manejo Integral de los Residuos Sólidos*. México DF. Disponible en www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/anexo consulta Junio de 2008.
 5. *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)*. 2003
 6. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)*. 2003
 7. López Vásquez, S. R. (2007). *Análisis del comportamiento organizacional como factor influyente del nivel de productividad. Caso de la Unidad Docente de Ciencias Biológico-Agropecuarias, Zona Xalapa de la Universidad Veracruzana.* Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores de las Ciencias Administrativas. Xalapa, Ver. México: 164
 8. Olivo, M. (2005). *Diagnostico Ambiental del manejo de residuos sólidos no peligrosos en la unidad de Ingeniería y Ciencias Químicas, Zona Xalapa*. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México: 104.
 9. Ortiz, M. (2005). *Propuesta de un programa de gestión ambiental de residuos sólidos no peligrosos para la Unidad de Ingeniería y Ciencias Químicas Zona Xalapa*. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México: 125.
 10. SEMARNAT. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2003) *Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003*. México, DF.
 11. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2001). *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales*. Primera edición. México, DF.
 12. Seoáñez, C.M. (1999). *Residuos. problemática, manejo, aprovechamiento y destrucción* Ediciones Mundi - Prensa, Madrid, España: 486
 13. Seoáñez, C.M. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los Residuos*. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid, España: 605
- Normas:
1. Norma Mexicana Auxiliar. NOM-AA-19. (1985).
 2. Norma Mexicana Auxiliar. NOM-AA-15. (1985).
 3. Norma Mexicana Auxiliar. NOM-AA-22. (1985).



POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN EN LIXIVIADOS DE RELLENOS DE TIERRA CONTROLADOS DEL VALLE DE TOLUCA

G.Macedo-Miranda¹, Ma.C.Hernández-Berriel^{1,2}, S. Martínez-Gallegos¹, J. Lugo de la Fuente³, G. Gómez-Beltrán⁴ y B. Barrientos-Becerra¹

**1.Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental
Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Edo. de México**
Av. Tecnológico s/n, Ex-Rancho La Virgen, Metepec, Edo. de México, México, C.P.52140
macedomiranda@yahoo.com, soniakorn@yahoo.com,
betybb2001@yahoo.com.mx, (722) 2.08.72.36

**2.Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**
Av. San Juanito Itzicuaru S/N, Col. San Juanito Itzicuaru, Morelia, Mich. C.P.58302
hberriel_1999@yahoo.com (443) 3.34.04.75 ext 116

**3. Laboratorio de Edafología
Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México**
Unidad el Cerrillo, Edo.de México, jlugo@uaemex.mx, (722) 2.96.55.56 ext 162 y 111

4.Universidad Tecnológica del Valle de Toluca
km 7.5, Santa María Atarasquillo, Lerma, Atarasquillo Edo. de México
ggb_macau@yahoo.com.mx(728) 2 85 95 52 y 85 99 69,

RESUMEN

Los lixiviados de residuos sólidos urbanos (RSU) constituyen el impacto ambiental de mayor potencial para los cuerpos de agua, especialmente cuando el sitio de disposición no cuenta con barrera impermeable y sistema de captación para sus lixiviados. El objetivo del presente trabajo fue determinar en los lixiviados de los rellenos de tierra controlados de los municipios de Metepec, Rayón y Almoloya del Río del Estado de México, las concentraciones de metales (Cu, Pb, Cd, Ni, Mn, Fe, Zn y Cr) y de demanda química de oxígeno (DQO), con el fin de conocer su potencial de contaminación. En los 3 rellenos se muestrearon sus lixiviados, y debido al saneamiento reciente del sitio de Metepec, se generaron lixiviados experimentalmente mediante 2 biorreactores piloto cargados con RSU similares a los de este sitio, a los cuales mediante adición de agua se simuló precipitación pluvial. Los metales analizados en los lixiviados de los 3 sitios presentaron valores inferiores a los límites permisibles de la NOM-001-ECOL-1996, a excepción de Cr en Rayón, y de Cr y Pb en Metepec. De acuerdo a los valores obtenidos de DQO, Fe y Mn, los cuerpos de agua cercanos podrían afectarse, si estos lixiviados llegaran a ellos.

Palabras clave: DQO, lixiviados, metales, rellenos de tierra, residuos sólidos urbanos.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al censo de población y vivienda 2005, el Estado de México es la entidad federativa con mayor número de habitantes (14 millones), y en cuanto a problemas ambientales, la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es uno de los más importantes. Para el año 2006 aportó el 16.75 % (6051000 Toneladas) de los RSU que se generaron en el país, y contaba con solo 3 rellenos sanitarios (RESA) y 5 rellenos de tierra controlados. Gracias al interés de las autoridades gubernamentales y municipales, así como de la Agencia de Cooperación técnica Alema GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), se han elaborado 7 Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU), de los cuales ya están en implementación los de los municipios de Ozuma, Valle de Bravo, Amecameca, Tonalico y Cocotitlán [18, 14]. Y en el periodo 2006-2008, se logró la construcción y puesta en operación de 5 nuevos RESA (NOM-083-SEMARNAT-2003) en los municipios de Naucalpan, San Antonio la Isla, Xonacatlán, Ixtlahuaca y Nicolás Romero [17,19]. Sin embargo, aun falta mucho por hacer, pues de los sitios denominados de disposición controlada (37 rellenos de tierra controlados) y de disposición en proceso de control, no se cuenta con información sobre la cantidad y composición de los RSU allí dispuestos, ni de la cantidad y características de los lixiviados y biogás que se están generando. El reto crece sin duda, ya que no es raro encontrar tiraderos a cielo abierto (sitios no controlados) en diversos socavones y barrancas [5, 18]. De los 53 municipios del Edo. de México que han iniciado el tramite de regularización de sus sitios de disposición final de RSU, 26 entregaron sus planes de regularización y 27 están en lista de verificación. Entre estos últimos se encuentran los municipios de Zinacantepec, Rayón, Calimaya, Metepec y Almoloya del Río, pertenecientes a la Región XIII Toluca [19].

La generación de lixiviados de RSU constituyen el impacto ambiental de mayor potencial para los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, especialmente para estos segundos, cuando el sitio de disposición no cuenta con una barrera impermeable (conductividad hidráulica $\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s), ya sea natural (arcilla o tepetate) o sintética (geosintético de polietileno clorado, polietileno clorosulfonado, polietileno de alta densidad o cloruro de polivinilo) [15, 17]. Sus componentes contaminantes pueden dividirse en 4 grupos: materia

orgánica disuelta, macrocomponentes inorgánicos, metales pesados y componentes orgánicos xenobióticos. La generación y características de los lixiviados depende de varios factores propios de los RSU (composición, densidad, contenido de humedad inicial y capacidad de campo), de factores climáticos (precipitación pluvial, infiltración, evapotranspiración, radiación solar, heladas y temperatura ambiente) y de la misma operación del sitio de disposición y su edad [8, 9, 12, 21]. Es importante conocer las características de los lixiviados producidos, ya que de ellas depende su potencial de contaminación a los mantos freáticos.

METODOLOGÍA

De la lista de verificación para la regularización de sus sitios de disposición final de RSU, se eligieron de la Región XIII Toluca los municipios de Almoloya del Río, Rayón y Metepec, debido a que sus autoridades municipales, preocupadas por la contaminación de los sitios de disposición de sus RSU, han destinado importantes recursos económicos y esfuerzos, con el fin de minimizar sus impactos al ambiente y que oficialmente sean catalogados como rellenos de tierra controlados.

En una visita previa, se detectó que en los sitios de disposición de los 3 municipios era posible el muestreo de lixiviados. A continuación se describen detalles de los sitios de los dichos municipios y su muestreo de lixiviados:

- a) Muestreo en el sitio de tierra controlado de Metepec. Este sitio es conocido por el nombre “El Socavón”, se localiza en el municipio de Metepec, en la Colonia San Jorge Pueblo Nuevo, al oeste de la ciudad de Metepec. Era originalmente una mina de arena; la cual dejó de explotarse y desde hace aproximadamente 29 años se convirtió en un sitio de disposición de RSU. Abarca 5 hectáreas, con las que dio servicio a los municipios de Ocoyoacac, San Mateo Atenco, Oztolotepec, Santa Cruz Atizapán, Capulhúac, Toluca, Metepec y Lerma hasta el 2007 [16]. Si bien, el lugar carece de geomembrana, las autoridades municipales de Metepec contrataron una empresa particular para sanearlo entre 2007 y 2008. Entre los trabajos de saneamiento se instalaron pozos de venteo para el quemado del biogás (Figura 1) y un sistema de drenado de lixiviados que conduce la mayor parte de éstos a dos lugares, denominados

por el personal que resguarda el sitio: Cárcamo y Laguna. Personal del municipio de Metepec realiza al menos 2 veces por semana el regado de agua o lixiviados en la cima de la macrocelda y mantiene prendidos los tubos de venteo del biogás.



Figura 1. Tubos de venteo para quema de biogás en la macrocelda.

Debido a que hasta antes del saneamiento no se contaba con recirculación de lixiviados, se decidió tomar muestras del Cárcamo (Figura 2) y la Laguna (Figura 3), así como de montar 2 biorreactores (BRx) piloto de PVC C-80 (20 cm de diámetro y 60 cm de altura), con RSU preparados conforme a la caracterización realizada en este sitio por Osorio en el 2002 [11]. Los RSU fueron colectados en Metepec, se redujeron de tamaño (< 5 cm) y se compactaron en cada biorreactor a una densidad de 400 kg/m^3 , similar a la utilizada durante la operación de “El Socavón”.

Cada BRx cuenta con tres secciones: el domo donde se encuentra un distribuidor, el cuerpo donde se colocan los RSU y el fondo donde se almacenan temporalmente los lixiviados. Una vez probada su hermeticidad, se les adicionó agua simulando precipitación pluvial y al cuarto día se drenó los lixiviados generados, la cantidad de agua a adicionar para mantener un contenido de humedad del 70 % en la matriz de RSU, se estimó mediante un balance hídrico [5, 20]. Esta operación se repitió 6 ocasiones cada 23 días, dando seguimiento al pH y al volumen de los lixiviados generados. Cuando los lixiviados drenados presentaron sus menores valores de pH, se tomaron 2 muestras de cada BRx para determinarles metales y DQO.



Figura 2. Laguna lixiviados de “El Socavón”.



Figura 3. Cárcamo de lixiviados de “El Socavón”.

- b) Muestreo en el sitio de tierra controlado de Almoloya del Río. Este sitio de disposición de RSU se encuentra aproximadamente a una distancia de 1 Km. al noroeste de Almoloya del Río. Tiene una extensión de 4800 m² y 28800 m³. Los residuos que recibe son de tipo domestico de las localidades de este municipio, los cuales son esparcidos y compactados por 2 maquinas modelo D8L, y al final de la jornada, son cubiertos con suelo de la región. No cuenta con canales para lixiviados ni laguna de captación, por lo que se tomaron dos muestras cerca de la base de la celda de RSU (Figura 4), en una zanja natural de 80 x 40 cm aproximadamente, donde se acumulan los escurrimiento de los lixiviados.
- c) Muestreo en el sitio de tierra controlado de Rayón. Este sitio se ubica 2 Km. al noroeste de Santa María Rayón. Se puede acceder a el mediante un camino de terracería que conecta con la autopista Metepec-Tenango. Tiene aproximadamente un área y un volumen de 40000 m² y 320000 m³, respectivamente. Cuenta con un cárcamo de cemento de 2.0 m x 2.0 m x 1.5 m, donde por gravedad escurren los lixiviados y escurrimientos superficiales. A la entrada de este cárcamo se tomaron dos muestras de lixiviados (Figura 5).



Figura 4. Escurrecimiento de lixiviados en celda de RSU de Almoloya del Río.



Figura 5. Cárcamo de lixiviados en el sitio para RSU de Rayón.

Cabe mencionar que las muestras para el análisis de los metales fueron recolectadas y almacenadas en botellas de polietileno de 100ml pre-lavadas con solución de extrán neutro al 2%, se mantuvieron en contacto con una solución al 10% de ácido nítrico durante 24 horas, y finalmente se enjuagaron con agua desionizada. Una vez recolectadas las muestras, se acidificaron con ácido nítrico concentrado (grado Ultrex) para cuantificación de metales ($\text{pH} < 2$), mientras que las muestras para DQO se acidificaron con ácido sulfúrico hasta $\text{pH} < 2$. Finalmente, se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis. La determinación de pH se realizó en muestra fresca con un potenciómetro Conductronic PC18 conforme a la NMX-AA-008-SCFI-2000 [17]. La DQO se cuantificó mediante la NMX-AA-030-SCFI-2001 [17]. Para la determinación de metales (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn), las muestras de lixiviados fueron digeridas en un horno de microondas MARS X(CEM) según lo indicado en la NMX-AA-051-SCFI-2001 [17], y las lecturas de los metales se realizaron en un Espectrómetro de Absorción Atómica, marca Perkin Elmer, modelo 3110 con la técnica de Flama. Todos los reactivos usados en la presente investigación fueron grado analítico. Se utilizó agua tipo 1 (conductividad $0,06 \mu\text{S}/\text{cm}$, obtenida en un desionizador Sartorius, modelo Arium 611 UF) para la preparación de todas las soluciones y estándares.

RESULTADOS Y DISCUSION

La tabla 1 muestra las cantidades de cada subproducto con que se cargaron los 2 BRx para simular la capa superficial del sitio de disposición de Metepec, Edo. de México [11]. También en dicha tabla se presentan las composiciones reportadas por el INEGI [7] para los años 2002 y 2006, en la que puede apreciarse una tendencia positiva de los residuos inorgánicos, reflejo del claro impacto del desarrollo tecnológico.

Las variaciones en las composiciones de RSU entre 2002 y 2006 (Tabla 1), demuestran además que es importante realizar la caracterización de los RSU de un lugar de manera periódica, con el fin de que los PMPGIRSU [18, 14] logren sus objetivos en cuanto a aprovechamiento de los subproductos reciclables y a una disposición eficiente.

En la figura 6 se presenta una fotografía de los 2 biorreactores montados y cubiertos con aislante armaflex para contrarrestar los cambios ambientales de temperatura. La figura 7 muestra los volúmenes de agua adicionada y de lixiviados drenados. Como puede observarse, fue necesario agregar una mayor cantidad de agua al inicio de la operación

(5152 ml), debido a que el contenido de humedad inicial de los RSU fue de 43 % base húmeda. Conforme a lo esperado, para el día 69, los volúmenes de agua y lixiviados tuvieron menor variación, ya que se equilibraron con su capacidad de campo [20].

Tabla 1. Porcentajes de subproductos en Metepec y en México para 2002 y 2006.

SUBPRODUCTOS	ELSOCAVON		
	DE METEPEC	MEXICO	
	2002 %	2002 %	2006 %
Papel, cartón, productos de papel	13.1	13.7	14.4
Textiles	1.6	1.4	1.5
Plásticos	23.4	4.3	5.9
Vidrios	4.7	5.7	6.2
Metales	1.9	5.6	6.5
Basura de comida, jardines y materiales orgánicos similares	50.6	50.9	49.1
Otro tipo de basura (residuos finos, pañal desechable, etc.)	4.8	18.3	16.4

También en la figura 7 se grafican los valores de pH de los lixiviados drenados, los cuales inician en valores neutros, descendiendo vertiginosamente, lo que denota el inicio de la fase acidogénica, donde se tiene la mayor cantidad de ácidos orgánicos, producto de la hidrólisis y fermentación anaeróbica [4]. En el día 48 se obtuvo el pH más bajo (pH= 5.49) de la fase acidogénica y fue de estos lixiviados que se tomaron dos muestras, para la determinación de DQO y metales. Para el día 69 se observó un incremento en los pH, lográndose alcanzar valores mayores a 6.5 para el día 111, lo que indicó el inicio de la fase metanogénica [2].



Figura 6. Biorreactores piloto montados.

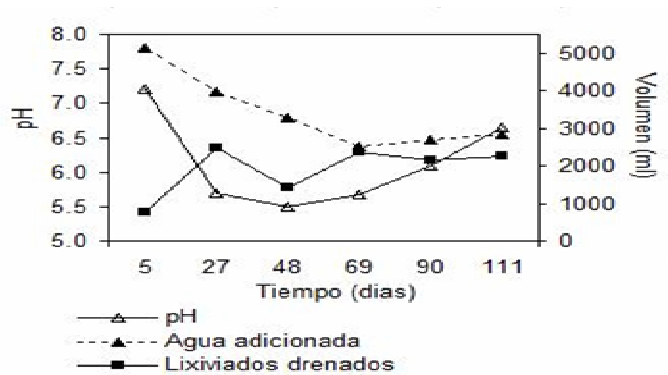


Figura 7. Valores de pH de lixiviados drenados y agua adicionada a biorreactores piloto.

En la tabla 2 se listan los resultados de las determinaciones realizadas por duplicado a los lixiviados generados el día 48 en los BRx piloto y los muestreados en los 2 lugares de “El Socavón”. Como se esperaba, por encontrarse en la fase acidogénica su valor de DQO es elevado (20603 mg/L), lo cual es característico en lixiviados jóvenes [2, 6, 20], mientras que los valores de DQO de la Laguna y el Cárcamo, así como sus valores de pH de 8.0 y 7.54 respectivamente, son típicos en lixiviados maduros (> 10 años). Sin embargo, conforme a lo reportado por Francois et al. [4], estos lixiviados todavía no han alcanzado la estabilidad (DQO < 2000 mg/L), lo cual indica la existencia de proporciones importantes de materia orgánica en los RSU de la celda, que se corrobora con la generación elevada de metano observada en las visitas previa y de muestreo.

Tabla 2. Valores determinados en lixiviados generados y muestreados de “El Socavón” en el Municipio de Metepec.

DETERMINACIONES (mg/L)	SITIO DE DISPOSICION DE TIERRA CONTROLADO : METEPEC			NOM-001- ECOL-1996
	BRx (DIA 48)	LAGUNA	CARCAMO	
DQO	20603 ± 678	3528 ± 20	4053 ± 35	NA
Cu	0.30 ± 0.01	NQ	NQ	4
Pb	ND	0.22/NQ	0.59 ± 0.01	0.2
Cd	ND	NQ	NQ	0.1
Ni	0.11 ± 0.02	0.8 ± 0.00	0.8 ± 0.00	2
Mn	16.19 ± 0.02	1.26 ± 0.01	0.8 ± 0.01	NA
Fe	56.17 ± 0.08	20.25 ± 0.01	10.97 ± 0.01	NA
Zn	3.48 ± 0.03	NQ	0.25 ± 0.00	10
Cr	0.46 ± 0.01	0.8 ± 0.00	2.14 ± 0.00	0.5
pH (sin unidades)	5.49 ± 0.06	8.00 ± 0.01	7.54 ± 0.03	NA

NA No aplica para esta Norma en particular

ND No detectado por el método empleado para la determinación del parámetro

NQ No es cuantificable

Los valores de NOM-001-ECOL-1996 son los mínimos para cualquier tipo de cuerpo receptor

En la tabla 2 puede apreciarse, que los lixiviados de los BRx tuvieron valores menores de Ni y Cr que los lixiviados de la Laguna y el Cárcamo de “El Socavón”, y que fueron mayores en cuanto a Cu, Mn y Zn. Comparando estos valores con los valores de la NOM-001-ECOL-1996, se obtuvo que solo los valores de Cr en la Laguna y el Cárcamo

rebasaron los valores mínimos para cualquier tipo de cuerpo receptor, así como el Pb en el lixiviado del Cárcamo. Es importante considerar lo anterior, pues aunque el sitio ya fue saneado, no cuenta con una geomembrana que impida o minimice las posibilidades de que los lixiviados de “El Socavón” pudieran alcanzar algún manto freático [13].

Los valores del pH de los lixiviados de Almoloya del Río tuvieron valores superiores a los reportados para lixiviados por Davis y Masten [3] para la fase metanogénica, y los de Rayón fueron neutros (Tabla 3). Estos valores de pH junto con los valores de DQO, muestran que se trata de lixiviados maduros, es decir, que podrían ser producto de la biodegradación de RSU con más de 10 años [9, 3]. De hecho, considerando el valor límite reportado por Francois et al. [4] para lixiviados estabilizados (DQO < 2000 mg/L), los lixiviados de Almoloya estarían cerca de estabilizarse y los de Rayón estarían ya estabilizados, sin embargo, el que hasta el día de hoy continúen depositándose residuos, provoca que tenga lugar un mezclado de lixiviados jóvenes y viejos [20]. Además, es relevante mencionar que el muestreo de los lixiviados de los rellenos de tierra controlados de estos municipios se realizaron en temporada de lluvias (13 de junio del 2008); lo que probablemente puede tener un efecto de dilución en las muestras.

En la última columna de la tabla 3 se listan los valores mínimos de contaminantes en las descargas para cualquier tipo de cuerpo receptor que marca la NOM-001-ECOL-1996 [17]. Comparando el contenido de metales de los lixiviados analizados con esta Norma, se tienen valores inferiores a los valores mínimos, excepto para Cr en los lixiviados del sitio de Rayón. Aunque, debido a que el muestro fue en época de lluvias, se sugiere tomar estos resultados con prudencia hasta tener información de todos los periodos estacionales.

Los altos valores de Fe y Mn (Tabla 3) pueden atribuirse a la operación de los sitios, ya que se utiliza suelo de la región como material de cobertura [1]. Si bien, la NOM-001-ECOL-1996 no tiene un límite máximo permisible para DQO, Fe y Mn [16], los resultados obtenidos muestran que de llegar estos lixiviados a cuerpos de agua, aumentarían las cargas orgánicas e inorgánicas de estos cuerpos. Este riesgo debe ser de mayor preocupación para el relleno de Almoloya del Río, ya que se encuentra a 600 m aproximadamente del nacimiento del Río Lerma y a 300 m de un pozo de abastecimiento de agua potable, por lo que se recomienda hacer muestreos periódicos en ellos para garantizar que no ha habido contaminación por los lixiviados del sitio, como ya ha ocurrido en otros lugares [10, 13].

Tabla 3. Valores determinados en lixiviados muestreados en los rellenos de Almoloya del Río y Rayón.

DETERMINACIONES (mg/L)	SITIOS DE DISPOSICION DE TIERRA CONTROLADOS		NOM-001-ECOL-1996
	ALMOLOYA DEL RIO	RAYON	
DQO	2001 ± 62	1447 ± 32	NA
Cu	0.73 ± 0.00	0.73 ± 0.00	4
Pb	0.24/NQ	0.16/NQ	0.2
Cd	0.00/NQ	0.00/NQ	0.1
Ni	0.38 ± 0.06	0.42 ± 0.00	2
Mn	1.44 ± 0.00	0.37 ± 0.00	NA
Fe	10.21 ± 0.11	5.96 ± 0.00	NA
Zn	0.48 ± 0.00	0.55 ± 0.01	10
Cr	0.25 ± 0.00	0.55 ± 0.00	0.5
pH (sin unidades)	10.12 ± 0.05	7.03 ± 0.08	NA

NA No aplica para esta Norma en particular

ND No detectado por el método empleado para la determinación del parámetro

NQ No es cuantificable

Los valores de NOM-001-ECOL-1996 son los mínimos para cualquier tipo de cuerpo receptor

CONCLUSIONES

-Los metales pesados analizados en los lixiviados de los 3 sitios de tierra controlados presentaron valores inferiores a los límites permisibles de la NOM-001-ECOL-1996, a excepción de Cr en Rayón, y de Cr y Pb en los lixiviados de Metepec.

-Los valores de DQO, Mg y Fe determinados en los lixiviados de los 3 municipios elegidos en este trabajo, indican que de alcanzar algún cuerpo de agua, podrían afectar la concentración de sus componentes orgánicos e inorgánicos.

-La experimentación a escala del sitio de disposición de Metepec llevada a cabo en este trabajo, corroboran que las características de los lixiviados cambian con respecto a su fase de degradación, pudiendo ser potencialmente mas contaminantes en la fase acidogénica.

-La caracterización de los lixiviados que se generan en los sitios de disposición, especialmente los rellenos de tierra controlados del Estado de México, es de suma importancia, ya que permitirá contar con información confiable, que será relevante para la regularización de dichos sitios, para mejorar su operación y minimizar los riesgos, así

como para evitar especulaciones en cuanto al potencial de contaminación de sus lixiviados en cuerpos de agua cercanos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo técnico del personal del laboratorio de investigación en ingeniería ambiental (LIIA) del Instituto Tecnológico de Toluca, así como las facilidades brindadas por las autoridades de los municipios de Metepec, Rayón y Almoloya del Río del Estado de México, para los muestreos.

REFERENCIAS

1. Bonten, L.; Groenenberg, T.C.; Weng J.E.; Riemsdijk L. Van. (2008). W.H. Use of speciation and complexation models to estimate heavy metals sorption in soils, *Geoderma*, **146**(1-2), 303-310.
2. Chugh, S., Clarke, W., Pullammanappallil, P. and Rudolph, V., (1998). Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation. *Waste Management and Research* **16**, 564-573.
3. Davis, L.M., y Masten, S.J. (2005) *Ingeniería y Ciencias Ambientales. En: Ingeniería de Residuos Sólidos*. Ed. Mc. Graw Hill. México. ISBN 970-10-4978-0, pp 518-523.
4. Francois, V., Feuillade, G., Matejka, G., Lagier T., and Skhiri, N., (2007). Leachate recirculation effects on waste degradation: Study on columns. *Waste Management and Research*, **27** (9), 1259-1272.
5. 4GTZ y SEGEM, . (2000). *Manual para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto en el Edo. de México*. Impreso por la Agencia de Cooperación técnica Alema GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) y Secretaria de Ecología del Estado de Mexico.
6. Hernández-Berriel, Ma.C., L. Márquez-Benavides, D.J. González-Pérez and O., Buenrostro-Delgado. (2007). The effect of moisture regimes on anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (Mexico)". *Waste Management*, Volume **28**, S14-S20.
7. 6INEGI (2008). Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de basura, 1996 a 2006. (Documento Web, Último acceso: Setiembre 20, 2008) <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mamb57&s=est&c=6119>
8. Jokela, J.P.Y., Kettunen, R.H. and. Rintala, J.A. (2002) Methane and leachate pollutant emission potential from various fractions of municipal solid waste (MSW): Effects of source separation and aerobic treatment. *Waste Management & Research*, **20**, 424-433.
9. Kulikowska, D., Klimiuk, E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition, *Bioresource Technology*, **99**, 5981-5985.
10. Martínez D. E., Massone H. E, Ferrante A. Bernava G. y Yedaide M. (2004). Impacto del lixiviado de rellenos sanitarios en la cuenca del Arroyo Lobería: I. Caracterización de la carga contaminante. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*. **4**, 57-64.

11. Osorio-Ugarte, S. G. *Evaluación del Impacto Ambiental en el Socavón de Metepec, Estado de México*. (2005). Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Toluca., Metepec, Edo. de México, México. pp 110-120.
12. Oweis, I.S., Smith, D.A., Ellwood, R.B., Greene D.S. (1990). Hydraulic Characteristics of Municipal Refuse. *Journal of Geotechnical Engineering*, **116**(4), 539–553.
13. Reyes-López J.A., J. Ramírez- Hernández, O. Lazaro-Mancilla, C. Carreon-Diazconti and M. M. Loeches-Garrido. “Assesment of groundwater contamination by landfill Leachate: A case in Mexico”. *Waste Management*, **28**, S33-S39
14. Rodríguez-Salinas, M. A. y Domínguez-Mares M.. (2008). Experiencias de la GTZ en los Procesos de Elaboración y Ejecución de Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. *Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*. FEMISCA, A.C. 21 al 26 de abril 2008, Cd. de México.
15. Sánchez G. J.,y L. Ortega A. (2005). Nueva tecnología para la construcción de membranas naturales impermeables para sitios de disposición final de residuos sólidos municipales. (Documento Web, Último acceso: 5 de junio, 2008). <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/sanchezgomez.pdf>
16. SEGEM. (2001). *Acciones Inmediatas para una Mejor Operación del Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos del Municipio de Metepec “El Socavón”*. Documento interno de la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, México.
17. SEMARNAT (2008). Normas mexicanas vigentes. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Documento Web, Último acceso: Agosto 15, 2008) <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/ Pages/normasmexicanasvigentes.aspx>
18. SEMARNAT y GTZ. (2006). *Una propuesta para la gestión ambiental municipal de los residuos sólidos. El Sistema Integral de Gestión Ambiental Municipal (SIGAM)*. Primera edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Agencia de Cooperación Técnica Alemana). México, D. F. 2006.
19. SMAGEM. (2008). *Prontuario de la Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México*. Junio/Julio 2008. Documento digital en la dirección electrónica <http://www.edomex.gob.mx/ambiente/doc/pdf/PRONTUARIO.pdf>.
20. Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil S. (1993). *Gestión Integral de Residuos Sólidos. En: Evolución de la gestión de residuos sólidos*. McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A. México, D.F. Vol. I. pp 469 y 473-477.
21. Suna-Ereses, A. Fazal, M. A. Onay, T. A. and Craig, W. H. (2005). Determination of solid waste sorption capacity for selected heavy metals in landfills, *Journal of Hazardous Materials*, **B121**, 223-232.

IMPACTO DE LA RECIRCULACION DE LIXIVIADOS EN LA PRODUCCION DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Ma.C. Hernández-Berriel^{1,2}, L. Márquez-Benavides², Ma.C. Mañón-Salas³, Carlos Guillermo Prado-Huerta¹ y Evaristo Avila-Vera¹

**1. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica
Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Edo. de México**
Av. Tecnológico s/n, Ex-Rancho La Virgen, Metepec, Edo. de México, México, C.P. 52140
hberriel_1999@yahoo.com, (722) 2.08.72.18

**2. Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales
Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**
Av. San Juanito Itzicuaró S/N, Col. San Juanito Itzicuaró, Morelia, Mich. C.P. 58302
lili.marquez@gmail.com, (443) 3.34.04.75 ext 116
rvalfaro@zeus.umich.mx, (443) 3.26.57.90 día

**3. Instituto de Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California**
Calle de la Normal S/N, Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este, Mexicali, B.C.S.
C.P. 21280. consuelomanon@yahoo.es

RESUMEN

La utilización del biogás producido por los residuos sólidos urbanos (RSU) como un energético alternativo, es una realidad en diversas partes del mundo. Esto además del aporte económico, contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El objetivo de este trabajo fue determinar los tiempos de generación de metano (CH_4) y su producción, cuando se acelera la degradación de los RSU mediante la recirculación de sus lixiviados. Para ello, se montaron 6 biodigestores escala laboratorio (BLAB) con RSU del Relleno Sanitario del Municipio de Pátzcuaro, Michoacán, 2 se utilizaron como controles y 4 operaron con recirculación de sus lixiviados 2 veces por semana, para mantener los contenidos de humedad 60 y 70 % de humedad base húmeda (%Hbh) por duplicado. Se determinó pH, humedad y sólidos volátiles totales (SVT) a los RSU cargados y descargados. También se dio seguimiento al CH_4 generado durante 264 días, mediante cromatografía de gases. La generación de CH_4 inició el día 48 en los BLAB al 70 % y 14 días después en los del 60 %. Se obtuvo una producción de CH_4 acumulado en los BLAB al 70 %Hbh 36.4 % mayor que en los del 60 %Hbh.

Palabras clave: Metano, recirculación de lixiviados, residuos sólidos urbanos.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrenta México en la gestión de sus residuos sólidos urbanos (RSU), es el establecimiento de rellenos sanitarios (RESA) que cumplan con los requisitos que contempla la legislación ambiental mexicana (NOM-083-SEMARNAT-2003) para disminuir el impacto ambiental y a la salud pública [22, 23].

De acuerdo al Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1999-2002, en el año 2002 México generó 463.18 millones de toneladas equivalentes de CO₂, las cuales representaron el 1.5 % de las emisiones de gases invernadero (GEI) el total mundial, esto fue alrededor de 30% más que las estimadas para 1990. Del total de las toneladas equivalentes generadas, los RESA del país contribuyeron con el 5.44 % [24].

En México, prácticamente todos los RESA y otros sitios de disposición de RSU emiten sin control su biogás (CH₄, CO₂, CO, H₂S, N₂, H₂, NH₃, y otros) a la atmósfera. Los constituyentes principales del biogás son CH₄ y CO₂ (40-60 % volumen base seca), los cuales contribuye al efecto invernadero pues impide que salga parte del calor del planeta, ocasionando un aumento gradual de la temperatura. El metano tiene un potencial de calentamiento 21 veces mayor que el CO₂ [16, 21].

La degradación de los RSU en un RESA y consecuente su estabilización, tiene que ver con la actividad de los microorganismos, especialmente la coordinación entre bacterias hidrolíticas, fermentativas acetogénicas y metanogénicas, la cual depende de los microambientes [12, 13, 18]. Los microambientes a nivel macro se identifican como factores ambientales y operacionales. La humidificación se ha identificado como uno de los factores mas importantes para de acelerar la aparición de la fase metanogénica y reducir los tiempos de estabilización de los RSU en sus RESA, dando paso a la concepción actual del RESA como un biorreactor gigante [11, 15, 19, 25].

Existen diferentes trabajos que muestran a la recirculación de lixiviados como una alternativa sustentable para tratar “*in situ*” los lixiviados producidos y estabilizar de manera acelerada los RSU en un RESA, generando biogás como un energético alternativo [6, 7, 19, 26, 28]. Sin embargo, en México son pocas las investigaciones realizadas sobre estabilización acelerada, por lo que es necesario generar información para recircular en los RSU dispuestos sus lixiviados generados y producir metano como fuente de energía, de manera que sea sustentable el diseño, construcción y operación de RESA-biorreactores en nuestro país [8, 9, 20].

El objetivo de este trabajo fue determinar en biodigestores a escala laboratorio (BLAB) cargados con RSU del Municipio de Pátzcuaro, Mich., los tiempos de generación de metano y su producción, acelerando la degradación de la MO mediante la recirculación de sus lixiviados. La elección de los RSU de este Municipio se debió a cuenta con uno de los 2 sitios de disposición del Estado de Michoacán que cumplen con la NOM-083-SEMARNAT-2003, y aunque solo recibe sobre 70 toneladas diarias (RESA tipo B), tiene dentro de sus objetivos operar como Centro Intermunicipal para el Tratamiento Integral de los Residuos Sólidos (CITIRS) [27].

METODOLOGÍA

Preparación de subproductos de los RSU

Mediante el método de cuarteo (NMX-AA-015-1985) se recuperaron alrededor de 50 kg de RSU de la capa superficial del RESA del Municipio de Pátzcuaro, Mich. Esta muestra se distribuyó en 5 bolsas negras de plástico, se sellaron herméticamente y se transportaron inmediatamente al laboratorio, donde se separaron en 27 subproductos siguiendo la NMX-AA-022-1985. Una vez pesados y obtenidos sus porcentajes, de acuerdo a las características químicas similares, se les reagrupó en 15 subproductos [22].

Ya en el laboratorio los subproductos como papel, plástico de película, polietileno de alta densidad, trapo, PET, pañal desechable, envase de cartón encerado, cartón y unicele, se cortaron manualmente hasta un tamaño menor de 1 cm. Los residuos como vidrio y material de construcción se trituraron en un mortero (≤ 0.5 cm) y los residuos alimenticios y de jardinería se trituraron con un molino de cuchillas hasta un tamaño de partícula de ≤ 0.1 cm.

Cada subproducto se almacenó en recipientes independientes a 4°C hasta el montado. Para la caracterización química de estos RSU, se pesaron subproductos en las proporciones calculadas y se preparó una mezcla de 1.0 kg, a la cual se le determinó por triplicado el contenido de humedad (%Hbh) y potencial de hidrógeno (pH) [22], así como los sólidos volátiles totales (SVT) [2].

Carga y operación de los BLAB

Se utilizaron biodigestores a escala laboratorio (BLAB) de 18 cm de altura y 4.5 cm de diámetro en PVC hidráulico. Cada BLAB cuenta con domo, cuerpo y fondo. Conforme al volumen interno (V) del cuerpo de los BLAB (412.2 ml) y considerando las condiciones a las que se depositan los RSU en el RESA de Pátzcuaro, Mich., (1.0 m de RSU y 15 cm de suelo a 600 kg/m³), se estimó las cantidades de RSU y suelo como material de cobertura (MC) a pesar. A continuación se presentan los cálculos realizados, despejando la masa (M) de la fórmula de la densidad (ρ), y ya que esta densidad de compactación se aplica tanto a los RSU como al suelo, las relaciones de altura son los mismos para sus volúmenes:

$$M = \rho V = (0.6 \text{ g/ml}) (412.2 \text{ ml}) = 247.34 \text{ g}$$

$$\text{RSU} = (0.6 \text{ g/ml}) (412.2 \text{ ml}) (100 \text{ cm}/115 \text{ cm}) = 215.19 \text{ g}$$

$$\text{MC} = (0.6 \text{ g/ml}) (412.2 \text{ ml}) (15 \text{ cm}/115) = 32.15 \text{ g}$$

A cada BLAB se le cargó con la mezcla de los 15 subproductos de RSU previamente preparada y se compactó hasta 600 kg/m³, se le colocó el MC y también se le compactó hasta 600 kg/m³. Posteriormente se cerraron y se les verificó hermeticidad mediante pruebas neumáticas. La figura 1 muestra esquemáticamente el arreglo interno del cuerpo de un BLAB.

Se diseñó un experimento completamente aleatorio en condiciones homogéneas, teniendo como factor de control el régimen de contenido de humedad (60 y 70 %Hbh), mediante su recirculación de lixiviados. A excepción de los 2 BLAB que se utilizaron como controles, a los otros 4 se les recirculó sus propios lixiviados 2 veces por semana a una velocidad de 2.0 ml/min mediante bombas peristálticas doble flujo, de manera que se operaron por duplicado a los niveles de humidificación establecidos [14]. La cantidad de lixiviados a recircular se calcularon tomando como base la humedad de los RSU y el MC inicial.



Figura 1. Altura de RSU y suelo en el interior de un BLAB

Se dió seguimiento al metano producido durante 264 días (38 semanas), cuantificándole semanalmente mediante cromatografía de gases (cromatógrafo VARIAN 3800). Se utilizó el método reportado por Watson-Craik and Senior [29] empleando un detector FID y una columna empacada HAYESEP Q 80-100 MESH. El gas acarreador se mantuvo con un flujo de 30 ml/min. La temperatura del horno, inyector y detector se mantuvieron a 90, 200 y 210 °C, respectivamente.

A los resultados obtenidos de cada parámetro, se les realizó una prueba de ANOVA y comparación de medias por Tukey HSD, con un nivel de confianza de 95% mediante el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.0 [14].

Al término del experimento se descargaron los residuos sólidos de todos los BLAB, y se les determinó nuevamente contenido de humedad (%Hbh) y pH [22], así SVT [2].

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización de los RSU

En la tabla 1, se muestra en porcentaje la caracterización establecida en los 15 subproductos más representativos para el RESA del Municipio de Pátzcuaro, Mich. De

cada subproducto se pesaron las cantidades correspondientes y se mezclaron, de manera que a cada BLAB se le cargó exactamente con 215.19 g de estos RSU y 32.15 g de suelo como material de cobertura (MC), con el fin de que la composición fuera constante, y que la compactación fuera de 600 kg/m³.

Como puede apreciarse en esta tabla 1, los residuos de jardinería y alimenticios representan el 66.11 % en la composición de los RSU, éste es superior a lo reportado por otros autores [4, 5], lo cual es comprensible debido a que el municipio de Pátzcuaro es todavía de tipo rural.

Tabla 1. Caracterización de los RSU de Pátzcuaro, Mich.
y cantidades contenidas en cada BLAB.

SUBPRODUCTOS	RSU	
	%	g
Residuos alimenticios	34.25	73.71
Residuos de jardinería	31.86	68.56
Papel	5.97	12.84
Plástico de película	4.74	10.20
Polietileno de alta densidad	3.81	8.21
Vidrio	3.48	7.49
Trapo	3.31	7.12
PET	2.67	5.75
Material de construcción	1.91	4.10
Pañal desechable	1.89	4.06
Material ferroso	1.76	3.78
Material no ferroso	1.31	2.83
Envase de cartón encerado	1.21	2.60
Cartón	1.07	2.30
Unicel	0.76	1.64
Total	100.00	215.19

Residuos sólidos cargados y descargados

Con el fin de conocer el aporte del suelo utilizado como material de cobertura (MC) en el RESA de Pátzcuaro, Mich. y su efecto al ser codispuesto con los RSU en los BLAB, también se le realizaron las mismas determinaciones que a los RSU. Como puede verse en

la tabla 2, el suelo tienen un pH más bajo que los RSU preparados, por lo que su incorporación hace que el pH cambie a 5.82.

En cuanto al contenido de humedad se observó también un cambio, alcanzando la mezcla de RSU y suelo 39.70 % Hbh (Tabla 2). El valor de SVT de los RSU es alto (76.95 %), lo cual se puede atribuir a la presencia de plásticos, ya que en los RSU preparados suman 11.22 % los plásticos de película, polietileno de alta densidad y PET [10]. De acuerdo a los resultados de textura, el suelo utilizado como MC es del tipo limoso arenoso [1].

Tabla 2. Análisis de residuos sólidos iniciales.

COMPONENTES	PARAMETROS			TEXTURA		
	% Hbh	pH	% SVT	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
MC (suelo)	36.01	5.43	62.45	52.8	5.6	41.6
RSU + MC	39.70	5.82	64.70	-	-	-
RSU	40.38	6.04	76.95	-	-	-

Los valores de los parámetros %Hbh, pH y SVT de los residuos descargados se listan en la tabla 3, así como los valores de los residuos iniciales cargado (Tabla 2). Cabe mencionar que la descarga de los BLAB se realizó 4 días después de haber hecho la última recirculación, por lo que los valores de la humedad determinada en este momento dan una idea de los niveles mínimos alcanzados antes de una nueva recirculación, y corresponden con la capacidad de campo de los residuos en cada grupo de BLAB [17].

Todos valores de pH de los residuos sólidos descargados fueron cercanos a la neutralidad. En cuanto a SVT de los residuos sólidos descargados (Tabla 3), se tuvo disminuciones con respecto a los SVT de los residuos sólidos cargados. Obteniéndose la mayor disminución de SVT en los residuos sólidos de los BLAB que operaron al 70 %Hbh, lo cual indica una mayor degradación de la materia orgánica (MO) contenida en los RSU [3, 30].

Tabla 3. Resultados de análisis en residuos sólidos cargados y descargados en BLAB.

BLAB	Humedad (%Hbh)	pH	SVT (%)	DISMINUCION % SVT
Inicial	39.70	5.82	64.70	-
70 %Hbh	64.70	7.11	49.23	15.47
60 %Hbh	65.71	7.65	53.21	11.49
Controles	37.16	6.74	59.58	5.12

Seguimiento de la generación de metano en los BLAB

En la figura 2 se muestran los 6 BLAB utilizados con sus sistemas de medición de biogás y de recirculación de lixiviados.



Figura 2. Biodigestores a escala laboratorio con recirculación de lixiviados.

Las generaciones de metano acumulado promedio para los BLAB cargados con RSU y suelo, operados a los 2 niveles (70 y 60 %Hbh) se muestran en la figura 3. La producción de metano se detectó en los BLAB al 70 %Hbh el día 48, mientras que en los BLAB al 60

%Hbh este gas se detectó 14 días después (día 62). Los BLAB controles no produjeron metano durante los 264 días que duró el experimento.

Si se compara la generación de metano en los BLAB al 70 con 60 %Hbh, es patente en las curvas de la figura 3 que los del 70 %Hbh produjeron mas metano. Esto se puede atribuir a que a mayor recirculación de lixiviado, la actividad microbiana se vio favorecida por una mayor distribución de nutrientes, como lo reportan los trabajos de Chugh et. al. [6] y Francois et al. [7].

También puede apreciarse en estas curvas (Figura 3), para el día 160, ya se había alcanzado la tasa de generación máxima en cada nivel de humidificación. Para el término del experimento, los BLAB al 70 %Hbh alcanzaron en promedio una producción de metano acumulado de 1.1 $\mu\text{M}/\text{kg}$ RSU seco alimentado y los de 60 %Hbh solo 0.70 $\mu\text{M}/\text{kg}$ RSU seco, lo que representa que los BLAB al 70 %Hbh produjeron 36.4 % mas de metano que en los del 60 %Hbh. De acuerdo a la prueba de Tukey tanto en la fase acidogénica como en la metanogénica, se presentaron diferencias en la producción de metano los BLAB al 70 %Hbh con respecto a los de 60 %Hbh.

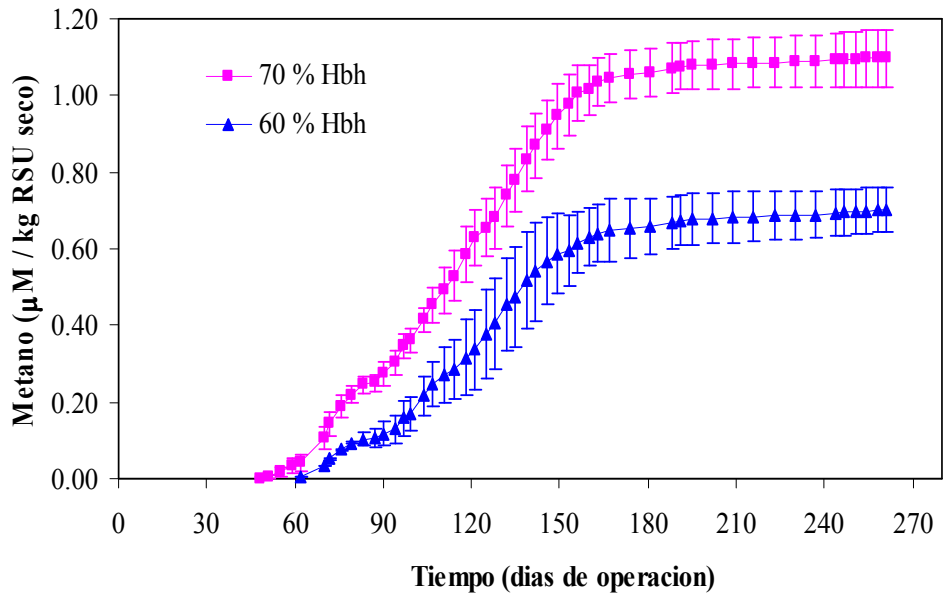


Figura 4. Dinámica de la generación de metano acumulado en BLAB.

CONCLUSIONES

- El material de cobertura utilizado en el RESA de Pátzcuaro, Mich. afecta las características de pH, humedad y SVT de los RSU depositados.
- Los niveles de recirculación de lixiviados fueron proporcionales a las tasas de generación de metano, permitiendo que la fase de Metanogénesis se estableciera 15 días antes en los BLAB al 70 que en los del 60 %Hbh. Mientras que en los BLAB sin recirculación para el término del experimento (día 264) aun no se detectaba producción de metano.
- Los lixiviados de los BLAB al 70 %Hbh produjeron 36.4 % mas de metano que en los BLAB al 60 %Hbh, debido a que la recirculación de lixiviados favoreció la actividad microbiana al mejorar la distribuir de nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo técnico de la Ing. Elizabeth Martínez Galeana y del Ing. Erick Alejandro Mendoza Chávez del Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

REFERENCIAS

1. Alexander, M. (1979) Introduction to soil Microbiology. John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 968-462-002-0. USA.
2. APHA, AWWA and WEF. (1998). *Standard Methods for the Examination of Wastewater*. 20th Edition, United States of America.
3. Barlaz, M.A., Ham, R.K., and Schaefer D.M. (1989) Mass balance analysis of decomposed refuse in lab scale landfill. *Journal Environmental Engineering*, **115**:1088-1102
4. Buenrostro D. O, G. Bocco, y G. Bernache, (2001). Urban solid waste generation and disposal in Mexico. A case study. *Waste Management & Research*, **19**,169-176.
5. Buenrostro-Delgado, O., Ojeda-Benítez, S., Márquez-Benavides, L. (2007). Comparative analysis of hazardous household waste in two Mexican regions. *Waste Management*, **27**(6), 792-801.
6. Chugh, S., Clarke, W., Pullammanappallil, P. and Rudolph, V., (1998). Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation. *Waste Management and Research*, **16**, 564-573.

7. Francois, V., Feuillade, G., Matejka, G., Lagier T., and Skhiri, N., (2007). Leachate recirculation effects on waste degradation: Study on columns. *Waste Management and Research*, **27**(9), 1259-1272.
8. Hernández-Berriel, Ma.C., L. Márquez-Benavides, D.J. González-Pérez and O., Buenrostro-Delgado. (2008). The effect of moisture regimes on anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (Mexico)". *Waste Management*, **28**, S14-S20.
9. Hernández-Berriel, Ma.C., L. Márquez-Benavides, M.del C. Mañón-Salas, y J. C. Orantes-Ávalos (2008). Estudio de la Degradación Anaerobia en Residuos Sólidos Urbanos y en su Fracción Orgánica a Diferentes Regímenes de Recirculación de Lixiviados. *Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales Residuos*. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, A.C. (FEMISCA), y SMISA. Cd. de México.
10. Kelly, R.J., B.D. Shearer, J. Kim, C.D. Goldsmith, G.R. Hater, J.T. Novak, (2006). Relationships between analytical methods utilized as tools in the evaluation of landfill waste stability. *Waste Management and Research*, **26**: 1349-1356.
11. Komilis, D. P., R. K. Ham and R. Stegmann. (1999). The effect of landfill design and operation practices on waste degradation behavior: a review. *Waste Management and Research*, **17** (1), 20-26.
12. Madigan, M.T., J.M. Martinko y J. Parker. (2004). Brock, Biología de los microorganismos. Décima edición. Pearson Educación, S.A. Madrid, Espana. ISBN: 84-205-3679-2.
13. Márquez-Benavides, L., Watson-Craik, I., (2003). Effect of intermediate soil cover on municipal solid waste decomposition. *Water Science Technology* **48** (4): 245-248.
14. Montgomery D. (2003). *Diseño y análisis de experimentos*. Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. España. pp 154-192
15. Nguyena, P. H. L., P. Kuruparana and C. Visvanathan, (2007). Anaerobic digestion of municipal solid waste as a treatment prior to landfill. *Bioresource Technology*, **98**(2), 380-387.
16. Orozco-Barrenetxea C.A. Pérez-Serrano, Ma.N. González-Delgado, Fco.J. Rodríguez-Vidal y J.M. Alfayate- Blanco. (2003). Contaminación Ambiental. Ed. Thomson. Madrid, España.
17. Orta de Velázquez, M.T., R. Cruz-Rivera, N. Rojas-Valencia, I. Monje-Ramirez and J. Sánchez-Gómez, J., (2003). Determination of field capacity of municipal solid waste with surcharge simulation. *Waste Management & Research*, **21**(2): 137-144.
18. Qian, X., and Barlaz, M.A. (1996) Enumeration of anaerobic refuse decomposing microorganisms on refuse constituents. *Waste Management and Research*, **14** (2):151-161.
19. Reinhart D.R., P.T. McCreanor and T.G. Townsend. (2002). The bioreactor landfill: Its status and future. *Waste Manage Res.* **20**: 172–186.
20. Sánchez G., J. (2005). Bio-rellenos metanogénicos, opción sustentable para la disposición final de los residuos sólidos. Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental, S.A. de C.V. (Documento Web, Último acceso: 10 de junio, 2008). <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/sanchezjorge.pdf>
21. SEMARNAT. (2006). *La gestión ambiental en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. ISBN 968- 817 - 799 – 7. México, D. F.

22. SEMARNAT (2008). Normas mexicanas vigentes. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Documento Web, Último acceso: Agosto 15, 2008). <http://www.semarnat.gob.mx/leyesyformas/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx>
23. SEMARNAT y GTZ. (2006). *Una propuesta para la gestión ambiental municipal de los residuos sólidos. El Sistema Integral de Gestión Ambiental Municipal (SIGAM)*. Primera edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Agencia de Cooperación Técnica Alemana). México, D. F. 2006.
24. SEMARNAT e INE (2007). (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1999-2002. México, D. F. (Documento Web, Último acceso: Setiembre 24, 2007) <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/download/502.pdf>
25. Shearer B. (2001) Enhanced Biodegradation in Landfills. Thesis for the degree of Master of Science in Environmental Engineering. The Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. U.S.A.
26. Sinan B. M., A. Demir and B. Ozkaya. (2007). Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes. *Journal of hazardous materials*. **143** (2):177-183.
27. SUMA (Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente) (2008). “Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en Michoacán de Ocampo”. (Documento Web, Último acceso: Diciembre 17, 2008) (Documento para Consulta Pública 30-01-2008) <http://www.suma.michoacan.gob.mx/pdf/residuos.pdf>
28. Swati M, J. Kurgan and R. Nagendran. (2005). Bioreactor landfill lysimeter studies on Indian urban refuse. *Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.
29. Watson-Craik, I., and Senior, E. (1989). Quantitative analysis of solubilized methane in refuse leachate. *Letters in Applied Microbiology*, **8**, 49-53.
30. Wrefor, K.A., J.W. Atwater and L.M. Lavkulich. (2000) The effects of moisture inputs on landfill gas production and composition and leachate characteristics at the Vancouver Landfill Site at Burns Bog. *Waste Management & Research*. **18**, 386-392.

HIDRÓLISIS ALCALINA DE LA QUITINA PARA LA OBTENCIÓN DE PERLAS DE QUITOSANO COMO BIO- ADSORBENTES DE COBRE

**J.R. Rodríguez-Núñez, A.G. Villa-Lerma, D.I. Sánchez-Machado, J.
López-Cervantes***

Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Instituto Tecnológico de Sonora,
P.O Box 541, Cd. Obregón Sonora, México, jlopezc@itson.mx*

RESUMEN

El quitosano es un polímero natural obtenido de la deacetilación alcalina de la quitina utilizado como agente quelante de metales pesados. El objetivo de esta investigación fue obtener quitosano y evaluar la capacidad de adsorción de cobre de las perlas de quitosano durante el tratamiento de aguas sintéticas. El quitosano fue obtenido de la quitina recuperada del fermentado de los residuos de camarón. La conversión a quitosano se llevo a cabo con NaOH al 50% durante 5 h a 80°C; posteriormente, se preparó una solución de quitosano en CH₃COOH al 1%, y ésta fue goteada en NaOH al 1N para la formación de las perlas. El quitosano obtenido presentó un 78.7% de grado de deacetilación. Para determinar la capacidad de adsorción (q_m) se adicionan 12.6 g de perlas (200 mg quitosano base seca) a 250 ml de una solución de cobre (25 mg/l) en agitación por 22 h. Finalmente, se cuantifica el cobre en las perlas por espectrofotometría de absorción atómica. El agua tratada presentó un remante de cobre de 0.065 mg/l indicando una capacidad de remoción del 99.74 % a pH 5.8. Las perlas de quitosano son una alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas con altas concentraciones de cobre.

Palabras clave: Camarón; cobre; quitina; quitosano; residuos industriales.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua se refiere a la presencia de sustancias u organismos extraños en un cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que impiden su utilización para un propósito determinado (Arellano, 2002); por lo tanto, los objetivos del tratamiento de aguas residuales son básicamente: proteger los cuerpos de agua evitando la descarga de las aguas residuales contaminadas y obtener un agua de calidad adecuada para su reutilización (Henry y Heinke, 1999).

Entre las principales fuentes de contaminación del agua se encuentran los metales pesados (Cd, Cr, As, Hg, Pb, Zn, Ni) provenientes de la industria minera, papelera, fertilizantes, baterías, pesticidas, etc., representando un serio problema para la salud humana y el medio ambiente (O'Connell *et al.*, 2008). Según Ngah *et al.*, (2008) y Cardenas (2006), el proceso de adsorción es uno de los tratamientos fisicoquímicos más eficientes para la remoción de metales pesados en soluciones acuosas, ofreciendo flexibilidad, simplicidad operacional y en algunos casos permite la eliminación de olor y color de los efluentes.

El carbón activado es usualmente utilizado como adsorbente, sin embargo, tiene un alto costo y su eficiencia disminuye después de cada regeneración (Bailey *et al.*, 1999). Al mismo tiempo, se han implementado diversos agentes químicos como las silicas modificadas (Aguado *et al.*, 2008), bentonitas modificadas (Volzone y Garrido *et al.*, 2008) y polímeros de esteres acrílicos (Pan *et al.*, 2008). Debido a lo anterior, se ha observado una mayor preferencia por el desarrollo de adsorbentes de origen biológico que abaraten el proceso y permitan la reutilización de los mismos (Flores *et al.*, 2005).

El quitosano poli(2-glucosamina), es un polímero natural de alto peso molecular, insoluble en agua pero soluble en soluciones ácidas, comportándose en este medio como un polielectrolito catiónico (Rios *et al.*, 2006). El quitosano se ha obtenido por deacetilación de la quitina mediante la hidrólisis de los grupos acetamida en un medio fuertemente alcalino a altas temperaturas. Generalmente la reacción se realiza en fase heterogénea empleando soluciones concentradas de NaOH o KOH (40-50%) a temperaturas superiores a 100°C y las condiciones específicas de la reacción dependerán de diversos factores, tales

como el material de partida, el tratamiento previo, y el grado de deacetilación deseado (Peniche, 2006; Percot, *et al.*, 2003; Cira, *et al.*, 2002).

Debido a su estructura química el quitosano es un excelente adsorbente, presentando una alta eficiencia de adsorción de metales pesados como, Cu^{+2} , Hg^{+2} , Ni^{+2} y Zn^{+2} a bajas concentraciones (Crini, 2006; Gaffar *et al.*, 2004; Yi *et al.*, 2007). Esta propiedad se debe al elevado número de grupos amino libres en su estructura, los cuales son muy reactivos permitiendo la quelación de cationes metálicos (Días *et al.*, 2007). Así mismo, se ha reportado que el quitosano puede ser utilizado en gel (perlas) y en hojuelas pequeñas, siendo las perlas las que presentan mayor eficiencia, debido a su superficie de contacto (Flores *et al.*, 2005; Qun y Ajun, 2006).

El objetivo de la presente investigación fue la obtención de perlas de quitosano para evaluar su capacidad de adsorción de cobre durante el tratamiento de aguas sintéticas. Adicionalmente, se presenta el proceso de obtención del quitosano a partir de quitina extraída de los residuos de la industrialización del camarón, así como la caracterización fisicoquímica del quitosano.

METODOLOGÍA

Reactivos

Los estándares de quitosano y N-acetil-glucosamina fueron obtenidos de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA), mientras que el estándar de D(+)-glucosamina fue de Fluka (Steinheim, Alemania). Todas las soluciones fueron preparadas con agua ultrapurificada con un sistema NANO Pure Diamond UV (Branstead Internacional, Dubuque, Iowa, EUA). El hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, sulfato de cobre, y ácido acético fueron de grado analítico, y adquiridos de Productos químicos Monterrey (Monterrey, Nuevo León, México). El reactivo de Biuret se adquirió a los laboratorios Faga Lab (Mocorito, Sinaloa, México), y la albúmina a los laboratorios Spectrum (New Brunswick, NJ, EUA).

Obtención de las perlas de quitosano

Para la obtención de la quitina se siguió la metodología propuesta por Sánchez-Machado *et al.*, (2008). Esta metodología implica la fermentación láctica de los residuos de camarón para facilitar la separación y purificación de la quitina.

La conversión de la quitina a quitosano se realizó por el método químico de hidrólisis alcalina. El tratamiento se llevó a cabo con NaOH al 50 % durante 4 h a 80°C con agitación cada 30 min, y la relación de quitina a NaOH fue de 1:10 masa/volumen. Después, el quitosano se lavó con agua común hasta pH neutro y se trituroó en un molino eléctrico (Krupps 203).

Una vez obtenido el quitosano se procedió a preparar las perlas, para ello se disolvió 1 g de quitosano en 45 ml de ácido acético al 1%, resultando una solución de consistencia viscosa y de coloración café claro. Posteriormente, se tomó la solución con una pipeta Pasteur y se adicionó gota a gota en cajas de vidrio con NaOH al 1 N (formación de perlas uniformes), se dejaron reposar durante 24 h, con la finalidad de obtener perlas más resistentes. Después, las perlas fueron recuperadas, se lavaron con agua ultrapura hasta pH neutro, y se almacenaron en agua ultrapura hasta su utilización.

La materia seca de las perlas de quitosano se determinó en base a la metodología establecida por la AOAC, (1984) con algunas modificaciones. Se pesaron 0.5 g de perlas y se añadieron a un filtro Wattman # 41 (peso constante) y se llevaron a sequedad a 60°C durante 5 horas, hasta peso constante.

Caracterización fisicoquímica del quitosano

Composición proximal

A las muestras de quitosano se determinó humedad, cenizas y proteína, en base a las metodologías establecidas por la AOAC (1984) con algunas modificaciones. Para la determinación de humedad la muestra fue secada a 120 °C en una estufa eléctrica (Felisa, FE-291D, México) durante toda la noche. El análisis de cenizas se realizó en una mufla

(Branstead, FD1535M, USA) a 550 °C durante 5 horas. La determinación de proteína se llevó a cabo por el método de Biuret utilizando un estándar de seroalbumina de bovino, a 540 nm con un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Genesys 10uv, USA).

Prueba de solubilidad

Para la determinación de solubilidad del quitosano se preparó una solución de quitosano/ácido acético al 1% (p/v), la cual se filtró a vacío en papel Wattman # 41 (llevado previamente a peso constante). Posteriormente, el filtro con el residuo se seco a 60°C durante toda la noche. Finalmente, se registró la porción insoluble mediante diferencia de peso (Agulló *et al.*, 2004).

Prueba de viscosidad

El quitosano obtenido se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH cercano a la neutralidad. A continuación, se preparó una solución en proporción 1:10 quitosano/ácido acético al 1 %, la cual se agitó durante 5 min en un agitador magnético y se midió la viscosidad (viscosímetro, Brookfield DV-II) a 50 rpm a temperatura ambiente utilizando el disco # 1.

Grado de acetilación

El grado de acetilación se determinó en base al método de espectrofotometría UV propuesto por Liu, *et al.*, (2006). Específicamente, 6 mg de quitosano se disolvieron en 50 ml de HCl 0.1 N y la mezcla se sonificó durante 15 minutos. Después, la solución se filtró por gravedad en papel Wattman # 41, y se midió la absorbancia a 201 nm. Las mediciones se realizaron por triplicado. Previamente, se preparó una curva estándar de D(+)-glucosamina y N-acetil-glucosamina para obtener la ecuación de la recta necesaria para realización de los cálculos.

Determinación de tamaño de partícula

Se pesaron 46.88 g de quitosano y se colocaron en una torre de tamices con porosidades de 30, 40, 70, 80, 140 y 200 mesh (Sieve Shaker, modelo RX-86), el proceso se llevó a cabo

por espacio de 5 minutos, finalmente se recolectaron las muestras de quitosano que fueron retenidos en cada tamiz para posteriormente registrar el peso.

Medición de la capacidad de adsorción de las perlas de quitosano

Para medir la capacidad de adsorción de cobre (Cu^{+2}) de las perlas de quitosano se siguió el método propuesto por Osifo *et al.*, (2008) con algunas modificaciones. Específicamente, a 250 ml de la solución de sulfato de cobre (25 mg/l, pH 5.8), considerada como el agua sintética, se le adicionaron 200 mg de perlas de quitosano (12.6 g) todo en un matraz de 500 ml, el ensayo se realizó por triplicado. La mezcla se mantuvo en agitación constante durante 22 h a 25°C. Posteriormente, se decantó el sobrenadante y se cuantificó el cobre en el líquido sobrenadante mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (Varian, Spectra AA-220) con una lámpara de catodo hueco múltiple (Ag/Cr/Cu/Fe/Ni) a una longitud de onda de 324.7 nm en un rango de trabajo de 0.03 ppm con una flama aire/acetileno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente investigación se presenta la utilización de las perlas de quitosano como un material natural bioabsorbente para su utilización en aguas con presencia de metales. En la primera etapa, se obtuvo el quitosano por tratamiento termoalcalino y se realizó su caracterización fisicoquímica; en la segunda etapa, se prepararon las perlas de quitosano, y finalmente se evaluó la capacidad de adsorción de cobre de las perlas en muestras de agua sintéticas con sulfato de cobre (CuSO_4).

Obtención y caracterización de quitosano

Para la obtención del quitosano con las características deseadas fue necesario la experimentación con diversos métodos. Primeramente, se siguió el método propuesto por Rege *et al.*, (1999), quienes proponen una hidrólisis con NaOH al 45% a 80°C durante 24 h, obteniéndose un quitosano con poca solubilidad y baja viscosidad que no permitía la

formación de perlas. Posteriormente, se modificó éste método y se empleo NaOH al 45% a 80°C durante 6 h, resultando un quitosano con características muy similares a las reportadas anteriormente. También, se experimento con el método propuesto por Peniche (2006) con algunas modificaciones, el cual utiliza un tratamiento térmico en dos etapas. Este método se realizó con NaOH al 45% a 100 °C durante 30 min (cada una de 15 min), pero la solubilidad del polímero obtenido fue nula al igual que su capacidad para la formación de perlas. Finalmente se logró obtener el quitosano con la calidad deseada, al tratar la quitina con NaOH al 50% a 80°C durante 4 h en una proporción 1:10 (m/v), con agitación durante 20 segundos cada 30 minutos. El quitosano obtenido presento los parámetros de viscosidad, solubilidad y grado de deacetilación requeridos.

Las características óptimas del quitosano son difíciles de lograr debido al efecto de los parámetros de la hidrólisis en el grado de deacetilación. Mármol *et al.*, (2004), indican que para la preparación de quitosano con alto grado de deacetilación es necesario controlar la temperatura, tiempo de reacción, y concentración de NaOH. De igual forma, Peniche (2006), señala que los tratamientos considerados como agresivos, con respecto al tiempo de reacción, pueden degradar el polímero sin aumentar el grado de deacetilación, también señala que es importante obtener un quitosano deacetilado homogéneamente ya que esto facilita su solubilidad.

La tabla 1 presenta las propiedades fisicoquímicas del quitosano obtenido por deacetilación termoalcalina de la quitina. Mármol *et al.*, (2004) reportan valores similares de humedad (6.74%) y nitrógeno total (6.84%), sin embargo, difieren con los valores de viscosidad (521 cps) y contenido de cenizas (0.08%).

Por otra parte, Ohtakara *et al.*, (1998) reportan valores de cenizas (0.08 %), viscosidad (480 cps) y contenido de humedad de 4.75 % en quitosano preparado con NaOH al 50%; mientras que, Bough *et al.*, (1978) obtuvieron quitosano bajo en cenizas (0.62-0.75%) y rangos de viscosidad entre 311 y 511 cps, con tratamientos alcalinos a 145-150°C. Para los últimos investigadores, la diferencia en el contenido cenizas del quitosano se atribuye al proceso adicional de desmineralización con HCl 0.6 N, el cual reduce el contenido de minerales en las muestras, y la diferencia de viscosidad son influenciadas por el tratamiento térmico, especie de crustáceo y el método de obtención utilizado.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del quitosano

Análisis	Resultados
Humedad	5.36%
Cenizas	6.64%
Tamaño de partícula	106 micrómetros
Proteína (Biuret)	3.57%
Viscosidad	175 cp

El grado de solubilidad es un índice de la conversión de quitina a quitosano, lo cual corresponde al 98.8%, debido a casi total disolución en ácido acético al 1%, y el resto es quitosano con menos del 50 % de deacetilación, y éste corresponde a la fracción insoluble. Liu *et al.*, (2008) señalan que la solubilidad está estrechamente relacionada con el grado de acetilación y reportan que para obtener quitosano con buena solubilidad es necesario que la acetilación sea mayor al 85%. Rinaudo (2006) menciona que hay otros factores importantes que intervienen en el grado de solubilidad tales como la distribución de los grupos acetilos en la cadena principal, el peso molecular, la naturaleza del ácido y la fuerza iónica.

Ensayo de las perlas de quitosano como bioabsorbente

Las perlas de quitosano se prepararon según el método propuesto por Flores *et al.*, (2005) con algunas modificaciones, encontrándose que las condiciones óptimas para la formación de las perlas se consiguen al disolver 1 g de quitosano en 45 ml de ácido acético al 1%, agitando hasta obtener una solución viscosa, finalmente la solución se gotea en NaOH al 1N y se dejan las perlas en reposo sin agitación durante 24 h.

Las perlas de quitosano obtenidas presentan una coloración amarilla semitransparente de consistencia suave y superficie brillante, con óptimas características de viscosidad en ácido acético al 1%. Estas características son similares a las reportadas por Shepherd *et al.*, (1997), quienes mencionan que los geles realizados con quitosano comercial (grado anítico, Sigma) resultan en un gel de consistencia amarilla transparente, con superficie suave y flexible; también, reportan que estas propiedades son similares para las perlas

preparadas con quitosano Profloc 340. Así mismo, señalan que los geles de quitosano extraído de las plumas de calamar son los únicos que tienen coloración blanca transparente.

La adsorción de Cu^{+2} de las perlas de quitosano se observó de manera rápida, ya que en los primeros 30 minutos de contacto con la solución de cobre las perlas tomaron una coloración azul tenue, y posterior a las 6 h la intensidad del color azul se torno más intensa. Después de 22 h de inmersión de las perlas en el agua sintética, se separaron las perlas por decantación del líquido y se determino la concentración de cobre en el sobrenadante.

La eficiencia de remoción de cobre de perlas de quitosano fue del 99.74 % en muestras de agua con 25 mg/l de Cu^{+2} , lo que equivale a una capacidad de adsorción de 126.1 mg/g. Estos valores son similares a los de Flores *et al.*, (2005) quienes reportan que la capacidad de adsorción de las perlas de quitosano es de 200 mg/g de Cu^{+2} (pH 5.3). Así mismo, Babel y Kurniawan (2003) reportan perlas de quitosano con capacidad de adsorción de 222 mg/g para Cu^{+2} . En la tabla 2 se muestra la concentración de Cu^{+2} en el sobrenadante y el porcentaje de Cu^{+2} adsorbido por las perlas de quitosano, en las tres repeticiones.

Tabla 2. Porcentaje de adsorción de las perlas de quitosano

Repeticiones	Cu(mg/L)	(%)
1	0.067	99.73
2	0.076	99.69
3	0.047	99.81

La capacidad de adsorción de las perlas esta influenciada por el pH (5.8, en los ensayos realizados con aguas sintéticas). Según, Rinaudo (2006) a $\text{pH}>5$ las perlas de quitosano forman complejos con metales como el cobre, e indican que a mayor grado de acetilación mejor será la capacidad de quelación de metales. Esta capacidad de quelación está

relacionada con el contenido de grupos amino libres (-NH₂) y con la distribución de estos grupos en la cadena.

Por otro lado, Zhao *et al.*, (2007) mencionan que la capacidad de adsorción de las perlas de quitosano varía de 4 mg/g hasta 17 mg/g para Cu⁺² a pH de 6.2, lo cual difiere de los resultados obtenidos en la presente investigación. Estos cambios en la capacidad de adsorción se deben al pH, el tamaño de partícula, el proceso de preparación del quitosano, y la porosidad de la perla.

Crini, (2006) indica que una de las desventajas de utilizar quitosano como bioadsorbente es la marcada diferencia que puede existir entre un quitosano y otro, ya que influyen diversos factores como el grado de acetilación, peso molecular, propiedades de la solución, grado de cristalinidad, afinidad por el agua, y el porcentaje de grupos amino en la cadena.

CONCLUSIÓN

El quitosano obtenido de la hidrólisis alcalina de la quitina extraída de los residuos de camarón posee propiedades fisicoquímicas apropiadas para la preparación de perlas de quitosano. Adicionalmente, las perlas de quitosano mostraron buena capacidad de absorción de cobre en aguas sintéticas. Estos resultados indican el potencial de uso de los residuos de la industrialización del camarón al generar productos con valor agregados tales como el quitosano.

REFERENCIAS

1. Aguado, J., Arsuaga, J.M., Arencibia, M., Lindo, M., & Gascón, V. (2008). Aqueous heavy metals removal by adsorption on amine-functionalized mesoporous silica. *J. Hazard. Mater.* doi:10.1016/j.jhazmat.2008.06.080.
2. AOAC, (1984). *Official method of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. Sidney Williams (Ed). Fourteenth edition. USA.

3. Arellano, D.J. (2002). *Introducción a la ingeniería ambiental*. Alfaomega (Ed), México D.F., pp. 86-95.
4. Bailey, S.E., Trudy, J.O., Marck, R.B., & Dean, D.A. (1999). A Review of potentially low-cost sorbent for heavy metals. *Water. Res.* **33**(11):2469-2479.
5. Babel, S., & Kurniawan T.A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. *J. Hazard. Mater.* **97**:219-243.
6. Bough, W., Salter, W., & Perkin, B. (1978). Influence of manufacturing variables on the characteristic an effectiveness of chitosan produc. I. chemical composition, viscosity and molecular-weight distribution of chitosan produc. *Biotechnol. Bioeng.* **20**:1931-1943.
7. Cardenas, G., Parra, O., & Taboada, E. (2001). Synthesis and applications of chitosan mercaptanes as heavy metal retention agent. *Int. J. Biol. Macromol.* **28**:167-174.
8. Cira L.A., Huerta S., Hall G.M., & Shirai K. (2002). Pilot scale lactic acid fermentation of shrimp wasted for chitin recovery. *Process. Biochem.* **37**:1359-1366.
9. Crini G., (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresour. Technol.* **97**:1061-1085.
10. Días J.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., Almeida M.F., Rivera-Utrilla, J., & Sánchez-Polo, M., (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. *J. Environ. Manage.* **85**:833-846.
11. Flores, J.A., Navarro, A.E., Ramos, K.P., Chang, L., Ale, N., Ly, M., & Maldonado, H.J. (2005). Adsorción de Cu(II) por quitosano en polvo y perlas de gel. *Rev. Soc. Quim. Perú.* **1**:17-25.
12. Gaffar, M.A., Safaa, M., El-Rafie, Khaled F., & El-Tahlawy. (2004). Preparation and utilization of ionic exchange resin via graft copolymerization of β -CD itaconate with chitosan. *Carbohydr. Polym.* **56**:387-396.
13. Henry, J.G., & Heinke, G.W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. PERETICE HALL (Ed), México, Pág. 23-25.
14. Liu, D., Wei, Y., Yao, P., & Jiang L. (2006). Determination of degree of acetylation of chitosan by UV spectrophotometry using dual standars. *Carbohydr. Res.* **341**:782-785.
15. Liu, Y., Liu, Z., Pan, W., & Wu, Q. (2008). *Absorption* behaviors and structure changes of chitin in alkali solution. *Carbohydr. Polym.* **72**:235-239.
16. Mármol, Z., Gutiérrez, E., Paez, G., Ferrer, J., & Rincón, M. (2006). Desacetilación termoalcalina de la quitina de conchas de camarón. *Multiciencias.* **4**(2):1-10.
17. Ngah W.W.S., & Hanafiah M.A.K.M, (2008). Removal of heavy metal ions from wasterwater by chemical modified plant wastes as adsorbents: A review. *Bioresour. Technol.* **99**:3935-3948.
18. O'Connell, D.W., Birkinshaw, C., & O'Dwyer T.F. (2008). Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *Bioresour. Technol.* **99**:6709-6724.
19. Othakara, A., Izume, M., & Mitsutomi, M. (1998). Action of microbiological chitinases on chitosan whit different degrees of deacetylation. *Agric. Biol. Chem.* **52**(12):3181-3182.
20. Pan, B., Pan, B., Zhang, W., Zhang, Q., Zhang, Q., & Zheng, S. (2008). Adsorptive removal of phenol from aqueous phase by using a porous acrylic ester polymer. *J. Hazard. Mater.* **157**:293-299.

21. Peniche, C.C.A. (2006). *Estudio sobre la quitina y quitosana*. Tesis Doctoral. Universidad de la Habana, Facultad de química. Habana, Cuba. En español.
22. Percot A., Viton C & Domard A. (2003). Optimization of chitin extraction brown shrimp shell. *Biomacromolecules*. **4**:12-18.
23. Qun, G., & Ajun, W. (2006). Effects of molecular weight, degree of acetylation and ionic strength on surface tension of chitosan in dilute solution. *Carbohydr. Polym.* **64**:29-36.
24. Rege, P.R., & Block, L.H. (1999). Chitosan processing: influence of process parameters during acidic and alkaline hydrolysis and effect of the processing sequence on the resultant chitosan's properties. *Carbohydr. Res.* **321**:235-245.
25. Ríos N.D., Navarro R.M., Ávila M.R., & Mendizábal E.M. (2006). Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación se suspensiones coloidales aniónicas de caolinita. *Revista Iberoamericana de Polimeros*. **7**(3):146-161.
26. Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Prog. Polym. Sci.* **31**:603-632.
27. Sánchez-Machado D.I., López-Cervantes J., & Martínez-Cruz O. (2008). Quantification of organic acids in fermented shrimp waste by HPLC. *Food. Technol. Biotech.* **46**(4)456-460.
28. Sheperherd, R., Reader, S., & Falshaw A. (1997). Chitosan Functional Propierties. *Glycoconjugate J.* **14**:535-542.
29. Volzone, C., & Garrido L.B. (2008). Use of modified hydroxy-aluminum bentonites for chromium(III) removal from solutions. *J. Environ. Manage.* **88**:1640-1648.
30. Yi, S.S., Lee, D.H., Sin, E., & Lee, Y.S. (2007). Chitosan-supported palladium(0) catalyst for microwave-prompted Suzuki cross-coupling reaction in water. *Tetrahedron. Lett.* **48**:6771-6775.
31. Zhao, F., Yu, B., Yue Z., Wang, T., Wen X., Liu, Z., & Zhao, C. (2007). Preparation of porous chitosan gel beads for copper(II) ion adsorption. *J. Hazard. Mater.* **147**:67-73.

CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE FRUTAS Y VERDURAS PRODUCIDOS EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE LA CIUDAD DE TOLUCA PARA LA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO POR VÍA BIOLÓGICA

Evaristo Ávila-Vera^{1,2}, David Alcantara², Suilma M. Fernández Valverde^{3*} y María del Consuelo Hernández Berriel^{1,4}

¹Instituto Tecnológico de Toluca,

Av. Tecnológico s/n, Ex-Rancho La Virgen, Metepec, Edo. de México.

evaristovae@yahoo.com.mx

² Departamento de Biología y ³ Departamento de Química

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares,

Apdo. Postal 18-1027, México D. F. 11801, México.

[*smfv@nuclear.inin.mx](mailto:smfv@nuclear.inin.mx); evaristovae@yahoo.com.mx

⁴ Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,

Av San Juanito Itzicuaró S/N, Col. San Juanito Itzicuaró, Morelia, Mich. C.p.58302

hberriel_1999@yahoo.com

RESUMEN

La degradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) dentro de los sitios de disposición final genera biogás y lixiviados, los cuales ocasionan problemas ambientales y de salud. La generación de RSU en el año 2006 en México fue de más de 36×10^6 toneladas, de las cuales el 50% correspondió a la fracción orgánica biodegradable. Una manera de disminuir la fracción orgánica en los RSU, es utilizarla para producir hidrógeno, que es un energético limpio, renovable y con poco o nulo impacto ambiental, además de tener un poder calorífico tres veces mayor que el metano (122 KJ/g).

En este trabajo se presenta la caracterización y evaluación de los residuos de frutas y verduras generados en la Central de Abasto de Toluca, Edo. de México, con el fin de producir hidrógeno. Se hizo la caracterización, para la homogenización de las muestras, utilizando el método de cuarteo descrito en la MNX-AA-015-ECOL-1985 y las técnicas bromatológicas propuestas en la AOAC (Association of Official Agricultural Chemists) para la determinación de almidón, se estableció el consorcio de microorganismos adecuado para la generación de hidrógeno, se inocularon las bacterias en envases herméticos y anaerobios que contenían a los residuos y se determinaron las concentraciones de hidrógeno y ácidos orgánicos volátiles (AOV) generadas en el proceso.

Palabras clave: RSU, residuos de frutas y verduras, hidrógeno y ácidos orgánicos volátiles

INTRODUCCIÓN

En Europa la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos esta por arriba del 37%. La digestión anaerobia se ha aplicado a la fracción orgánica de estos residuos para obtener productos de valor agregado como es el hidrógeno (Dinsdale, 2000). La degradación de los residuos sólidos urbanos dentro de los sitios de disposición final, se lleva a cabo a través de cuatro etapas principales; a) hidrólisis, b) acidogénesis, c) metanogénesis y d) estabilización. En la primera etapa, los enlaces de las cadenas largas de los polímeros naturales como proteínas, grasas, ácidos nucleicos y carbohidratos, se rompen para formar moléculas de menor peso molecular, en la segunda etapa, la celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón, aminoácidos, nucleótidos, entre otros., son degradados por microorganismos acidogénicos para producir CO_2 , H_2 , H_2S y NH_3 , además de ácidos orgánicos y alcoholes con lo que el pH disminuye y este tipo de bacterias comienzan a disminuir (Das, 2001). En la tercera etapa se desarrollan bacterias metanogénicas que trabajan en condiciones extremas como son pHs bajos y condiciones anaerobias estrictas. Estos microorganismos metabolizan los productos generados por las bacterias acidogénicas generando CH_4 , CO_2 , H_2S y NH_4 . En la última etapa, la materia orgánica es completamente degradada por lo que ya no hay generación de gases. Los productos principales de la descomposición anaerobia de la materia orgánica son el biogás y los lixiviados; el primero puede ser utilizado como combustible, los segundos pueden ocasionar graves problemas ambientales ya que es una mezcla de materiales orgánicos, inorgánicos y microorganismos, que pueden filtrarse a través del subsuelo contaminando los mantos freáticos (Cakir, 2005; Han, 2004; Levin, 2004).

Según datos del instituto nacional de estadística, geografía e informática, reportó que la generación de RSU en el año 2006 en México fue de más de 36×10^5 toneladas, de las cuales el 50% correspondió a la fracción orgánica biodegradable. Una buena alternativa para degradar la materia orgánica es por medio de bacterias acidogénicas productoras de hidrógeno (Mishra, 2002; Mishra, 2004; Chen, 2006). Estas bacterias se pueden obtener de lodos de aguas residuales, tierra de sembradíos, excretas de vaca, cerdo o humanos, entre

otros (Chang, 2004; lay, 1999; Popoff, 1984) . Los principales generos de bacterias productoras de hidrógeno pertenecen a *Enterobacter sp.* y *Clostridium sp* (Das, 2001; Levin, 2004). El hidrógeno tiene varias ventajas como son: a) es un combustible limpio y amigable con el ambiente, b) poder calorífico de 122 KJ/g (2.75 veces mayor que los combustibles fósiles), c) en su combustión produce agua, energía y trazas de oxidos de azufre, d) al recombinar hidrógeno con oxígeno dentro de una celda de hidrogeno los productos son agua y energía únicamente, e) se puede obtener de recursos renovables(Zhang, 2006; Levin, 2004; Fernández-Valverde 2002).

Las frutas y verduras están compuestas principalmente de carbohidratos como son almidón, celulosa y hemicelulosa, los cuales son metabolizados fácil y rápidamente por algunas bacterias de los géneros *Enterobacter* y *Clostridium*. En este trabajo se realizó la caracterización de los residuos de frutas y verduras generados en la Central de Abasto de Toluca, Edo. de México, con el fin de producir hidrógeno con un consorcio de bacterias productoras de hidrógeno. Se hizo la caracterización por fruta y verdura, utilizando el método de cuarteo descrito en la MNX-AA-015-ECOL-1985 y las técnicas bromatológicas propuestas en la AOAC para la determinación de almidón, se estableció el consorcio de microorganismos adecuado para la generación de hidrógeno, se inocularon las bacterias en envases herméticos y anaerobios que contenían a los residuos y se determinaron las concentraciones de hidrógeno y AOV generadas en el proceso.

MÉTODO

Se tomaron al azar los residuos de 20 puestos diferentes de frutas y verduras de la central de abastos de la ciudad de Toluca, se transportaron al Instituto Tecnológico de Toluca, se dispersaron sobre una lona de 4m x 4m, se revolvieron hasta obtener una mezcla homogénea, se dividieron en cuatro partes mas o menos similares, se desecharon dos contraesquinas y con las otras dos se repitió el procedimiento hasta obtener una muestra aproximada de 10 Kg. Se separaron las diferentes frutas y verduras, se pesaron y se obtuvo la composición porcentual.

Análisis

La determinación de almidón se hizo tomando 10g de muestra de la composición porcentual por fruta y verdura obtenida anteriormente, se transfieren a un papel filtro Whatman No. 40, se lava con éter etílico y etanol al 70 %, se añaden 5 mL de ácido clorhídrico al 50 %, se agrega 1 mL de HCl cada 3 minutos hasta 30 minutos, se diluye con agua a 100 mL. La solución obtenida se agita durante 5 minutos, se filtra y se transfieren 50 mL de filtrado a un vaso de precipitados que contiene 115 mL de etanol al 96%, se agita nuevamente durante 5 minutos, se decanta a través de un crisol Gooch previamente pesado, lavando el precipitado con 100 mL de etanol al 70% y 100 mL de etanol al 96 %. Después de secar durante 3 horas a 105 °C en un horno, se pesa y se realizan los cálculos correspondientes para determinar la cantidad de almidón. [Lees, 1982; Blanchard, 1958].

Preparación de inóculo

Se compró una cepa de la bacteria *Enterobacter cloacae* en el centro de investigaciones y estudios avanzados del instituto politécnico nacional (CINVESTAV-IPN) y otra de *Clostridium butyricum* en la DSMZ, se colocaron 10 mL de medio de tioglicolato en viales de 20 mL, se puso el tapón y anillo metálico, se insertaron dos agujas de jeringa, una conectada a la línea de nitrógeno y la otra libre a la atmósfera, se calentó hasta cambio de color de rosa a amarillo paja, se quitaron las agujas, se esterilizó durante 20 min. A 121 °C, se dejó enfriar y se inocularon 0.1 mL de las bacterias, se incubaron a 35 °C durante 24 horas y se guardaron en refrigeración.

Parte experimental

Se preparó 1 Kg de muestra de muestra con la composición porcentual obtenida, se molió, en viales de 20mL se agregaron, un gramo de frutas y verduras con 10mL de medio de cultivo, el pH inicial se estableció a 5.5, se colocó el tapón y se selló herméticamente, se calentó y se desplazó el aire con nitrógeno para establecer las condiciones anaerobias, se esterilizó durante 20 minutos a 121°C. Se inoculó 0.1mL de la *E. cloacae* en uno de los viales y 0.05 mL de *E. cloacae* con 0.05 mL de *C. butyricum* en otro de los viales, se incubaron a 37°C, la velocidad de agitación se mantuvo a 40 rpm y se tomaron muestras periódicas cada dos horas.

Las muestras líquidas se centrifugaron a 13000 rpm durante 10 min., se acidularon con ácido fórmico, se analizaron en un cromatógrafo VARIAN 3800 con detector FID, columna empacada de acero inoxidable de 2 m de longitud por 2 mm de DI, con empaque de neopentil glicolsebacato (5%), H₃PO₄ (1%) en Cromosorb W-AW (80/100 mesh). El inyector y el detector se mantuvieron a 210 y 220 °C respectivamente, la temperatura del horno se mantuvo a 108°C durante 2 minutos, después se incrementó a una tasa de 25 °C/min., hasta 120 °C, después de 0.2 min., la temperatura se incrementó a razón de 8 °C/min., hasta 145 °C, después de 0.2 min., se incremento la temperatura a razón de 25 °C/min., hasta 165 °C. se inyectó 1 µL de la mezcla líquida en el puerto de inyección, transcurrieron 3 minutos y se obtuvieron las concentraciones de ácido acético y ácido butírico. Los análisis de hidrógeno se realizaron, con un cromatógrafo de gases de la marca GOW-MAC Instruments Company, modelo 69-350, con detector de conductividad térmica y columna de silica gel sieve 50. La temperatura del detector, columna e inyector fueron de 55, 30 y 10 °C respectivamente, se utilizó Argón como gas de arrastre a 0.55 mL/s. se inyectó 1 mL de la muestra gaseosa en el puerto de inyección, el tiempo de análisis duró 3 minutos, se obtuvieron las concentraciones y se discutieron los resultados. Los análisis se hicieron por triplicado y se generaron las graficas correspondientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestra el método de cuarteo, para la homogenización de las muestras que se caracterizaron por frutas y verduras para las diferentes muestras tomadas en la central de abasto de la ciudad de Toluca. Los puestos se seleccionaron aleatoriamente por lo que algunas veces había mas frutas que verduras o viceversa.

Las muestras se prepararon entre los meses de Mayo a Agosto, por lo que la composición de las frutas y verduras de las diferentes muestras fue diferente, además de que influyen otras características como son las costumbres de la gente, la época del año, el lugar, entre otros.

En la tabla 1 se presenta la caracterización por frutas y verduras de 4 de las muestras realizadas en este período de tiempo.



Figura 1. Homogenización de la muestra por Método de Cuarteo

Tabla 1. Caracterización por método de cuarteo de muestras de frutas y verduras

Fruta o Verdura	Concentración en % en peso			
	04-Jun	18-Jun	30-Jul	13-Ago
LECHUGA	5.97	6.7	10.13	6.98
COLIFLOR	2.91			13.49
MAIZ	2.99	9.4	8.2	0.28
TOMATE VERDE	2.69	1.39	24.11	2.52
TALLOS Y HOJAS		16.62	4.98	0.64
AGUACATE	1.49	1.91	9.08	10.6
MANGO	0.3	0.17	0.96	0.78
PIÑA	4.48	9.05	4.98	
CALABAZA	2.98		2.65	
LIMON	0.6	0.52	1.93	0.55
CHILE	0.45	0.96	1.45	
CHAYOTE	3.88		3.78	
CILANTRO			0.64	
EJOTES	0.9			
JITOMATE	4.48	16.54	1.85	
ZANAHORIA	3.73	0.26	3.21	
PAPAYA	1.04	0.44	4.18	
SANDIA	3.66	3.31		
NARANJA	17.92	10.79		19.64
TORONJA	16.65			
MELON	19.42	2.96	1.2	1.56
CEBOLLA	1.19	6.53	0.4	
BETABEL	0.75			
MAMEY	1.49			0.18
PLATANO		0.52		28.18
HABA		10.44	5.22	
RABANOS		0.61		
NOPAL		0.87	1.61	
CHICHARO			0.4	
GUAYABA			6.02	
PERA				2.66
COL			1.52	
EPAZOTE			1.45	2.48
CIRUELA				2.39
UVA				3.12
MANZANA				2.11
FRESA				0.55
DURAZNO				1.01
KIWI				0.28
TOTAL (%)	99.97	99.99	99.95	100

En la tabla 1 se reportan los resultados de almidón tanto en las muestras esterilizadas como en las no esterilizadas, allí se ve que el porcentaje de almidón, se tiene que a pesar de que la composición de las muestras de frutas y verduras son muy diferentes, la concentración de almidón no tiene tanta variación, encontrándose en el rango de 6.4 ± 1.04 para las muestras que se analizaron sin esterilizar y de 4.0 ± 0.82 para las muestras que se esterilizaron. Se infiere que la diferencia entre las concentraciones de almidón en las muestras esterilizadas, se debe a que al calentar, se adiciona energía suficiente para romper algunos enlaces de los carbohidratos, produciendo azúcares reductores y polisacáridos de menor peso molecular y en consecuencia la disminución en la concentración de almidón. De estos datos se decidió trabajar con la muestra del 13 de agosto para la determinación de la concentración de hidrógeno, ya que fue la que presentó mayor cantidad de almidón.

Tabla 2. Porcentaje en peso de las muestras de frutas y verduras

Muestras	Promedio % en peso	% en peso de almidón
Sin esterilizar		
04-Jun	5.0 \pm 0.4	6.4 \pm 1.04
18-Jun	6.6 \pm 1.0	
13-Ago	7.8 \pm 1.1	
Esterilizadas		
04-Jun	3.0 \pm 0.2	4.0 \pm 0.82
18-Jun	4.0 \pm 0.4	
30-Jul	5.0 \pm 0.1	
13-Ago	4.2 \pm 0.5	

En la figura 2 se muestra la grafica de la concentración de hidrógeno obtenida por el consorcio de las bacterias *Enterobacter cloacae* y *Clostridium butyricum*, donde se observa como las bacterias comenzaron a generar hidrógeno a las seis horas del proceso, deduciendo que fue el tiempo que tardaron en adaptarse al medio y al sustrato, la mayor concentración fue de 20 mmol/L a las 16 horas y en promedio se obtuvieron 7.45 ± 0.6 mmol/L de hidrógeno.

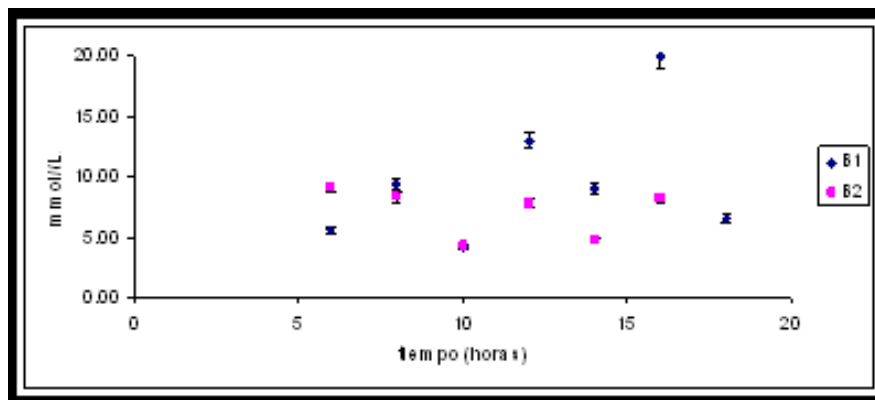


Figura 2. Concentración de hidrógeno producida por el consorcio de bacterias *E. cloacae* y *C. butyricum*

Los AOV se observaron desde el inicio del experimento, incrementándose desde 6 mmol/L hasta 16 mmol/L durante las seis primeras horas, manteniéndose prácticamente constante después este tiempo hasta el final del experimento. La concentración de ácido butírico se observó desde el inicio de la prueba, sin embargo, la concentración de éste se mantuvo por debajo de 1 mmol/L. con lo que se deduce que estas bacterias siguen la ruta metabólica hacia el ácido acético desprendiendo bióxido de carbono e hidrógeno en el proceso.

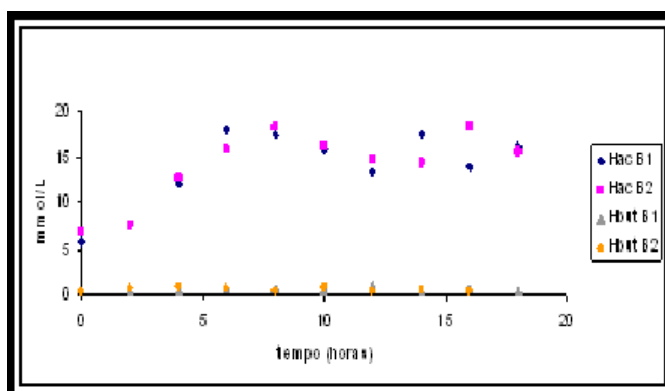


Figura 3. Concentración de AOV producidos por el consorcio de bacterias *E. cloacae* y *C. butyricum*

CONCLUSIONES

La caracterización realizada por el método de cuarteo mostró que la concentración por frutas y verduras en las muestras hechas fue muy diferente, pero la concentración de almidón fue similar.

El calentamiento de las frutas y verduras rompe los enlaces del almidón dando lugar a carbohidratos de menor peso molecular como son los azúcares reductores.

La producción de hidrogeno en el sistema formado por el sustrato de frutas y verduras y el medio de crecimiento utilizando el consorcio de las dos bacterias fue de 7.45 ± 0.6 .

El consorcio de microorganismos propuesto, metaboliza adecuadamente los carbohidratos para generar hidrógeno.

La ruta metabólica que siguió es consorcio de las bacterias *E. cloacae* y *C. butyricum* para degradar las frutas y verduras fue para producir ácido acético.

AGRADECIMIENTOS

Los autores externan su gratitud al DGEST por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de esta investigación a través del proyecto 430.6 y por la beca otorgada al C. Evaristo Ávila Vera para el desarrollo de su programa Doctoral en el ITT. Y a los alumnos de licenciatura Julio Daniel Cruz Márquez, Humbeto A. García García y Gleibys I. Molina-Ruvalcaba por su valiosa participación en este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

1. Cakir F. Y. Stenstrom M. K. (2005), Greenhouse gas production: A comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology, *Water Research*, **39**, 4197-4203.
2. Chang F.- Y. Lin C.-Y. (2004), Biohydrogen production using an up-flow anaerobic sludge blanket reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*, **29**, 33-39.
3. Chen X. Sun Y. Xiu Z. Li X. Zhang D. (2006), Stoichiometric analysis of biological hydrogen production by fermentative bacteria, *International Journal of Hydrogen Energy*, **31**, 539-549.
4. Das D. Veziroglu T. N. (2001). Hydrogen production by biological processes: a survey of literature. *International Journal of Hydrogen Energy*. **26**, 13– 28.
5. Dinsdale R.M. Premier G.C. Hawkes F.R. Hawks D.L. (2000). Two-stage anaerobic co-digestion of waste activated sludge and fruit/vegetable waste using inclined tubular digesters. *Bioresource Technology*. **72**. 159-168.
6. Fernández-Valverde S.M. (2002) Hydrogen as energy source to avoid environmental pollution. *Geofísica International*, **41**, 223-228.
7. Han S.-K. Shin H.-S. (2004). Biohydrogen production by anaerobic fermentation of food waste. *International Journal of Hydrogen Energy*. **29**, 569-577.
8. Lay J.-J. Lee Y.-J. and Noike T. (1999). Feasibility of biological hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste. *Water Resource*. **33**, 2579-2586.
9. Levin D. B. Pitt L. Love M. (2004). Biohydrogen production Prospects and limitations to practical application. *International Journal of Hydrogen Energy*. **29**, 173-185.
10. Mishra J. Kumar N. Ghosh A. K. Das D. (2002). Isolation and molecular characterization of hydrogenase gene from a high rate of hydrogen-producing bacterial strain *Enterobacter cloacae* IIT-BT 08. *International Journal of Hydrogen Energy*. **27**, 1475-1479.

11. Mishra J. Khurana S. Kumar N. Ghosh A. K. Das D. (2004). Molecular cloning, characterization, and overexpression of a novel [Fe]-hydrogenase isolated from a high rate of hydrogen producing *Enterobacter cloacae* IIT-BT 08. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. **324**, 679-685.
12. Popoff M. R. (1984). Selective Medium for Isolation of *Clostridium butyricum* from Human Feces. *Journal of Clinical Microbiology*. **20**, 417-420.
13. Zhang H. Bruns M. A. Logan B. E. (2006). Biological hydrogen production by *Clostridium acetobutylicum* in an unsaturated flow reactor. *Water Research*. **40**, 728-734.

IDENTIFICACIÓN DE ACTITUDES AMBIENTALES EN LA GENERACIÓN DE ENVASES

G. Lozano-Olvera¹, S. Ojeda-Benítez¹ y C. Armijo-de-Vega²

¹Investigadoras del Instituto de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Baja California
Calle de la Normal S/N, Insurgentes Este, Cp. 2100
gabrielalo.lozano.olvera@gmail.com y sara.ojeda.benitez@gmail.com

²Profesora de la Facultad de Ingeniería Ensenada
Universidad Autónoma de Baja California

RESUMEN

En este trabajo se aplica la lógica difusa para identificar las actitudes ambientales y relacionarlas con el comportamiento de los habitantes de tres estratos socioeconómicos en la generación de residuos en una ciudad Mexicana. Para obtener la información de los datos cualitativos se aplicó una encuesta a los miembros de las familias incluidas en la investigación. Las preguntas se estructuraron con base a una escala de tipo likert, con cinco opciones de respuesta, el objetivo de este instrumento fue analizar los tres componentes de las actitudes que son: afectivos (Agrado o desagrado al tema ambiental), Cognitivo (creencias y conocimiento ambiental) y conativo (comportamiento o prácticas). Para el análisis de los datos cualitativos se aplicó la lógica difusa, lo cual nos permitió evaluar las actitudes ambientales de los habitantes de las viviendas, esta herramienta permita evaluar las variables que generan incertidumbre o son ambiguas. Al aplicar la lógica difusa para determinar actitudes ambientales, nos ha permitido proponer un sistema que procesa simultáneamente datos cuantitativos y cualitativos así como eliminar la imprecisión y generar conocimiento.

Palabras Clave: Residuos sólidos domiciliarios; Lógica difusa, Componentes de las Actitudes.

INTRODUCCIÓN

La sociedad del siglo XXI requiere de una enorme cantidad de satisfactores, los cuales son provistos a través de procesos de industrialización y comercialización, esto representa una explotación de recursos naturales y generación de residuos en grandes volúmenes y de diversa composición, entre ellos se encuentra el flujo de envases, el cual puede ser atribuido al boom de los empaques, entre ellos los de plástico (Carvalho, et al, 2007; Darron, et al, 2009; Grodzinska-Jurczak et al, 2004 y Pongstabodee, et al 2008).

Los residuos como un subproducto de la actividad humana, pierden su valor al ser desechados. Al respecto Mc Dougall, et al, (2004) señalan que la falta de valor está relacionada con la composición mixta y a menudo desconocida de los residuos. Por lo que la separación de los residuos generalmente incrementa su valor cuando existen usos disponibles para los materiales recuperados.

En la actualidad el consumo es uno de los grandes distractores de la sociedad, porque cada familia trata de satisfacer sus necesidades de la forma más práctica posible. De esta forma, el consumo como una práctica de la sociedad de este siglo provoca problemas de contaminación por la cantidad de desechos que genera sin recuperar el valor que tienen como residuo, al respecto Tsilyannis (2005) señala que los residuos de empaque constituyen una parte significativa de los residuos municipales por el volumen que representan.

El incremento sistemático del consumo causa el aumento de la cantidad de envases usados, lo que supone un peligro para el medio ambiente. El número de tiraderos aumenta y los residuos que se desechan no se desintegran espontáneamente. (Kaczmarek, 2003)

México al igual que muchos países del mundo enfrenta grandes retos en el manejo de sus residuos municipales, especialmente a causa del elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país y las costumbres de la población, orientada al consumo de artículos desechables. El exceso de residuos ha terminado por convertirse en un fenómeno característico de la cultura (Darron, et al 2009). Los envases y empaques son inventos que ha mejorado la calidad de vida de los seres humano de tal forma que se han modificado las costumbres, hoy en día es común comprar y tirar, así se pueden encontrar una gran diversidad de materiales en la basura domiciliaria: Plástico, vidrio, metales, papel y cartón son los materiales más comúnmente empleados para envasar los productos.

Otro problema asociado a los sistemas de manejo de residuos sólidos, es el flujo de envases que se generan, en el que los generadores juegan un papel importante y es necesario explicar el comportamiento de quienes consumen los envases para después disponerlos. Ya que diariamente se consumen y tiran a la basura grandes cantidades de productos de corta duración. Los envases de los productos de corta duración representan un importante porcentaje de la basura doméstica, y son nocivos para el medio ambiente (Tsilyannis, 2005 y Ojeda, 2005). Sin embargo, una vez que las personas colocan la

basura en la calle para ser recolectada, se olvidan del problema; a partir de ahí, se convierte en un problema de los municipios.

Hanssen, et al (2003) señalan que los residuos de envases ha sido un problema que tanto a nivel nacional como internacional se ha incluido en las políticas ambientales. En otro estudio, Aarnio y Hamalainen (2008), indican que para aprovechar los residuos de los envases es necesario establecer nuevas prácticas de manejo de residuos.

Williams, et al (2008), afirman que el empaque es necesario para proteger el producto que transportan, pero también juega un rol importante en la marca del producto y en la comunicación con el consumidor, en el estudio que realizaron presentan un enfoque que ayuda a identificar las mejoras ambientales cuando el empaque es desarrollado, tomando en cuenta la opinión de los consumidores.

Es así que conocer sobre la generación y composición de los envases que están en el flujo de residuos domiciliarios, así como las actitudes de los generadores representa un reto para los estudiosos de la basura. Ya que el conocimiento sobre la composición del material de los envases, la función que tienen y el volumen que se genera, el comportamiento de los generadores entre otros, implica proponer estrategias para estudiar esta problemática y presentar alternativas de manejo. En este sentido es importante buscar formas de analizar la problemática para presentar alternativas de solución, por ello en esta artículo se aplica la lógica difusa, para la evaluación de los datos y generar conocimiento. Es así que se aplica la lógica difusa, como una herramienta que responde a la problemática de análisis de los datos que se presentan en este trabajo, porque combina variables cuantitativas y cualitativas. La aplicación de esta herramienta permite extraer conocimiento, porque trabaja con reglas para generar conocimiento de las bases de datos y las reglas son reconocidas como un medio efectivo e incluso natural para transmitir conocimiento entre los humanos, tomar decisiones y justificar las mismas tal y como lo han hecho Pham y Chen (2002), destacan que la lógica difusa es una herramienta ha sido usada para interpretar vaguedades, analizar información incompleta y contradictoria; para ello se basa en la inteligencia artificial. Por lo tanto, las herramientas difusas se adaptan de manera excelente a la obtención del conocimiento de los expertos, que describen su experiencia en términos de probablemente y muy probablemente. Por ejemplo, Karavezyris, et al (2002), en el modelo que propusieron analizaron la influencia del comportamiento y las regulaciones como variables cualitativas.

METODOLOGIA

Para realizar este estudio se analizó la información de generación de envases y actitudes de los generadores, correspondiente a tres colonias de la ciudad de Mexicali y almacenada en dos bases de datos

Extracción de los datos.

La información de la primera base de datos, fue obtenida de un muestreo de residuos sólidos por estrato socioeconómico, el cual se realizó para determinar la composición de envases generados durante ocho días consecutivos. Los datos almacenados en esta base de datos se caracterizan por ser cuantitativos. En la segunda, se almacenaron datos cuantitativos y cualitativos de los generadores de residuos, los cuales reflejan la composición de la familia y el comportamiento ambiental de los miembros de la familia, que respondieron al instrumento que se diseñó utilizando una escala de tipo likert que contenía un conjunto de frases presentadas en forma de afirmaciones o juicios que reflejan el conocimiento y comportamiento ambiental, así como los hábitos de consumo de los miembros de una familia.

Análisis de los datos

En esta etapa, se llevó a cabo la validación de la información, para lo cual se aplicaron tres procesos de normalización, esto con el fin de eliminar errores de captura y redundancia en la información, para evitar generar una interpretación errónea de la información extraída de ambas bases de datos. Una vez realizada esta validación se aplicó la estadística básica (media, varianzas, correlación y análisis factorial), para identificar los diversos escenarios del comportamiento de los datos y encontrar las variables dependientes e independientes existentes, con el propósito de encontrar perfiles de generación de envases por familia e identificar las actitudes ambientales de los habitantes de las viviendas seleccionadas para la investigación.

Análisis de datos cualitativos

En esta etapa se analizaron los instrumentos aplicados a los participantes de este proyecto, el objetivo fue identificar las actitudes ambientales de los miembros de las familias en tres categorías: Amas de casa, mayores de 24 años y jóvenes de 13 a 24 años. El análisis que se incluye, corresponde al instrumento que se elaboró para determinar las actitudes ambientales. Como se muestra en la tabla 1, el miembro de la familia que responde, elige una de las cinco opciones que se le presentan en la escala, cada opción tiene asignado un valor numérico, que va de 1 a 5. Así el sujeto obtiene una puntuación respecto a la afirmación y al final se obtiene su puntuación total sumando

las puntuaciones obtenidas en relación a todas las afirmaciones. Estas afirmaciones califican la actitud que está midiendo y deben expresar solo una relación lógica. Para iniciar este análisis fue necesario identificar los tres componentes que definen la actitud: afectiva (agrado y desagrado), cognitivo (creencias y conocimiento) y conductual (comportamiento); propuestos por (Aragón y Américo, 2000).

Tabla 1 Estructura del instrumento para determinar actitudes

Pregunta	TD	D	I	A	TA
1.- Cuando voy a comprar solo adquiero las cosas que realmente necesito.	1	2	3	4	5
2.- Antes de comprar los productos que necesito los comparo para seleccionar el que tenga menos empaques y envolturas.	1	2	3	4	5
11.- Al comprar bebidas, prefiero consumir en envases no retornables.	5	4	3	2	1
12.- Compró las cosas porque me gustan.	5	4	3	2	1

TD = Totalmente desacuerdo I= Indeciso A= Acuerdo
D = Desacuerdo TA = Totalmente de acuerdo

Una vez clasificados los ítems en su subconjunto se obtuvieron las tres dimensiones de las actitudes, representadas en tres conjuntos, el conjunto de variables afectivas (F1), variables cognitiva (F2) y variables conductual (F3). Cada uno de los subconjuntos fue analizado individualmente para conocer con exactitud cada respuesta. (Tabla 2)

Tabla 2 Propuesta para el análisis de las actitudes

Actitudes	Nomenclatura	Rango
1.- Totalmente en desacuerdo	Muy negativo	$1 \leq \text{Actitud} < 2$
2.- Desacuerdo	Negativo	$2 \leq \text{Actitud} < 2.5$
3.- Indeciso	Indeciso	$2.5 \leq \text{Actitud} < 3.5$
4.- De acuerdo	Positivo	$3.5 \leq \text{Actitud} < 4$
5.- Totalmente de acuerdo	Muy positivo	$4 \leq \text{Actitud} \leq 5$

Generación de conjuntos difusos y definición de variables lingüísticas.

Después de identificar los conjuntos y subconjuntos se formaron los conjuntos difusos finitos, de los tres componentes de la actitud, en la ecuación 1 se presenta el conjunto difuso del componente afectivo.

$$F_1 = \{x | 19 \geq x \leq 24\} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Los conjuntos difusos del componente cognitivo, se presenta en la ecuación 2, la ecuación 2a corresponde a la creencia, la ecuación 2b corresponde al conocimiento.

$$F_2 = [Y_1 \cup Y_2] \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$$Y_1 = \{x | x \leq 9\} \quad \text{Ecuación (2a)}$$

$$Y_2 = \{x | x \leq 8\} \quad \text{Ecuación (2b)}$$

La ecuación 3 representa el conjunto difuso del componente conductual.

$$F_3 = \{x | x \leq 13\} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Posteriormente se definieron las variables lingüísticas que representan las salidas del sistema, en la ecuación 4 se representa la salida que corresponde a la dimensión afectiva.

$$F_1 = \{(x, A_{x_1}(x)) : x \in U, A_{x_1} \in \{24, 125\}\} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

X = Afectiva

A_{x_1} = variables lingüísticas de X_1 .

X_1 = {Agrado, Desagrado, indeciso}

U = Es el rango del universo de trabajo [24, 125]

En la ecuación 5 se representa la salida que corresponde a la dimensión cognitiva, y es la unión de las ecuaciones 6 y 7, las cuales corresponden a la evaluación de las creencias y el conocimiento del sujeto.

$$F_{2(Y_1 \cup Y_2)}(x) = \max \{F_{Y_1}(x), F_{Y_2}(x)\} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

F_{Y_1} : Representa el nivel de creencia del sujeto

x: Es el valor máximo que representa el dato

F_{Y_2} : Representa el Nivel de Conocimiento

$$Y_1 = \{(y, B_{Y_1}(y)) : y \in U, B_{Y_1} \in \{9, 45\}\} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

Y_1 = Creencia

B_{Y_1} = Variables lingüísticas de Y_1 .

Y_1 = {Con creencia, Sin Creencia, indeciso}

U = Es el rango del universo de trabajo [9, 45]

$$Y_2 = \{(y, B_{Y_2}(y)) : y \in U, B_{Y_2} \in \{8, 40\}\} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

Y_2 = Conocimiento

B_{x2} =variables lingüísticas de Y_2 .

Y_2 ={Mucho, Poco, Medio, Nada}

U = Es el rango del universo de trabajo [8, 40]

La ecuación 8, representa la salida de la dimensión conductual

$$F_3 = \{(x, A_{x_3}(x)) : x \in U, A_{x_3} \in \{13,65\}\} \text{ Ecuación (8)}$$

Donde:

X = Conductual

A_{x1} =variables lingüísticas de X_1 .

X_1 ={Comportamiento positivo, negativo o Indiferente}

U = Es el rango del universo de trabajo [13,65]

Posterior a la definición de los conjuntos difusos y las variables lingüísticas se asociaron a la funciones de membresía, para lo cual se requirió definir las variables lingüísticas con sus propios rangos. Así como presentar los subconjuntos de creencias y conocimientos, que son las variables de entrada.

En la ecuación 9 se define la función de membresía que corresponde a las actitudes cognitivas.

$$\mu_1(x) = \frac{F(x)}{N} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

μ_1 : Es la función de membresía

N : Es el total de respuestas relacionadas con (X).

X : Es el dato real

$F(x)$: Es el dato difuso

Reglas de Inferencia difusa

La lógica difusa proporciona un mecanismo apropiado de inferencia para obtener nuevo conocimiento a partir de información con incertidumbre. Este mecanismo se basa en representaciones adecuadas para poner en evidencia que cada premisa o proposición es una restricción sobre una variable, y que la conclusión es una restricción calculada como propagación de la restricción. De esta forma, el proceso de razonamiento difuso se reduce a la solución de un sistema no lineal de ecuaciones, y por lo tanto es programable en una computadora.

La regla utilizada fue el razonamiento cualitativo que permite modelar el problema mediante un conjunto de relaciones difusas del tipo “*si condiciones entonces acciones*”.

Es el que soporta la mayoría de las aplicaciones reales de la lógica difusa. Una vez que se definieron las funciones de pertenencia correspondiente, se desarrollaron las reglas de inferencia, estas reglas se utilizaron en la definición de cada dimensión. Las reglas de inferencia difusa se estructuran de la siguiente forma:

If (Creencia is TD) and (Conocimiento is D) then (Salida is NEG)

Donde TD, D, I, A y TA son conjuntos difusos.

Generadas las reglas, el siguiente paso es la defuzificación. Esta consiste en convertir la salida difusa del mecanismo de inferencia en una salida que pueda ser interpretada por elementos externos que sólo manipulen información numérica. La salida del mecanismo de inferencia es un conjunto difuso y para generar la salida numérica a partir de este conjunto existen varias opciones como el centro de gravedad y los centros promediados, entre otros. Para fines de nuestro estudio se utilizó el centro promediado o también conocido como centroides (Max).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar los datos cualitativos se aplicó la lógica difusa, en la figura 1 se puede observar el comportamiento de la salida con respecto a la conducta.

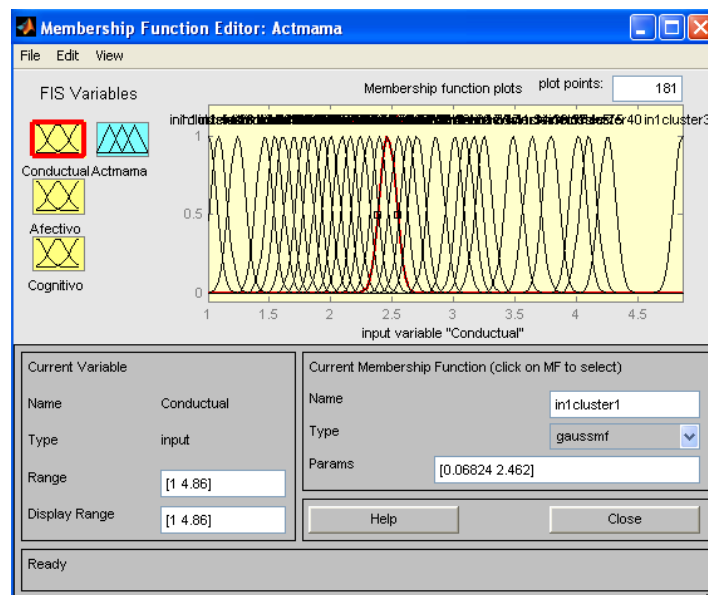


Figura 1 Definición de la forma y geometría de los conjuntos difusos para la conductas. Al evaluar los resultados de la parte conductual de las personas se puede observar los datos se encuentran con mayor frecuencia en el rango de 1.5 a 2.5, la cual refleja que las conductas ambientales de las personas encuestadas más del 80% conductas negativas.

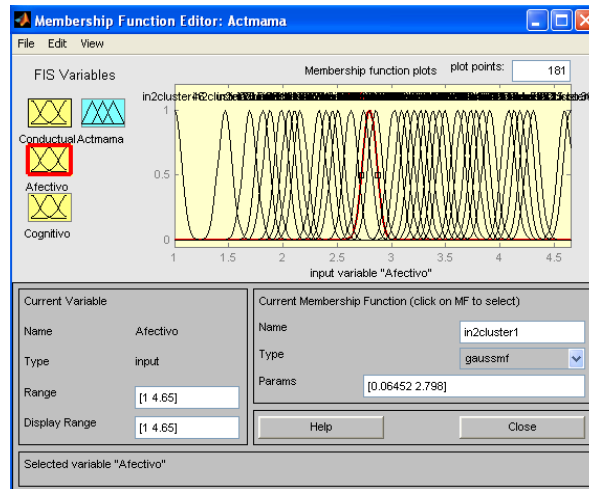


Figura 2 Definición de forma y geometría de los conjuntos difusos de la dimensión afectiva

Así mismo al analizar las variables afectivas se evaluó el agrado o desagrado que tiene la persona hacia el cuidado ambiental que debe de tener. En la Figura 2 se observa que un 60% de las personas muestran una actitud de agrado al tema ambiental.

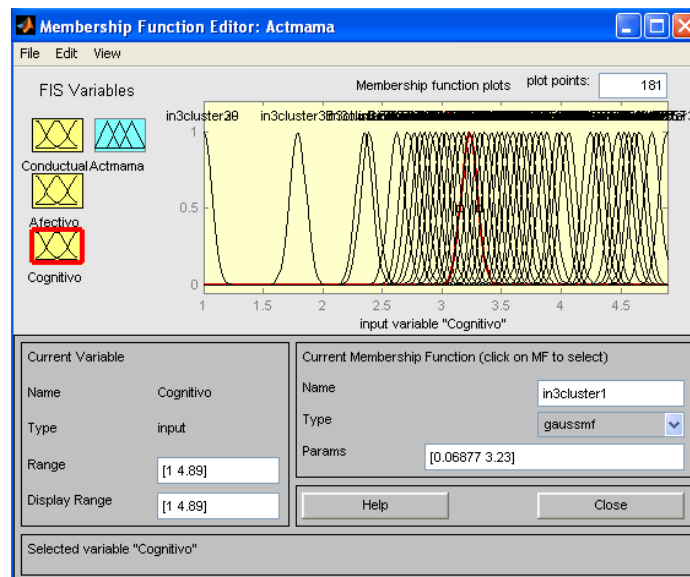


Figura 3 Definición de la forma y geometría de los conjuntos difusos para la parte Cognitiva

En la figura 3 se presenta la dimensión cognitiva de la actitud, se muestra que las creencias y el conocimiento ambiental de la población tienen una tendencia positiva. Esto significa que solo es necesario impulsar y estimular a la población a participar en campañas ambientales. En donde ellos tengan la oportunidad de poner en práctica estos conocimientos que se poseen.

En la figuras 4, 5 y 6 se presentan resultados de la población analizada, en las figuras se observa el comportamiento de las tres dimensiones de una actitud de los miembros de la familia, por tipo de rol que juegan. En la figura 4 se presenta el comportamiento de las amas de casa, se observa una actitud de indecisión tanto en la dimensión conativa como en la cognitiva; en cambio en la dimensión afectiva la tendencia es hacia una actitud positiva.

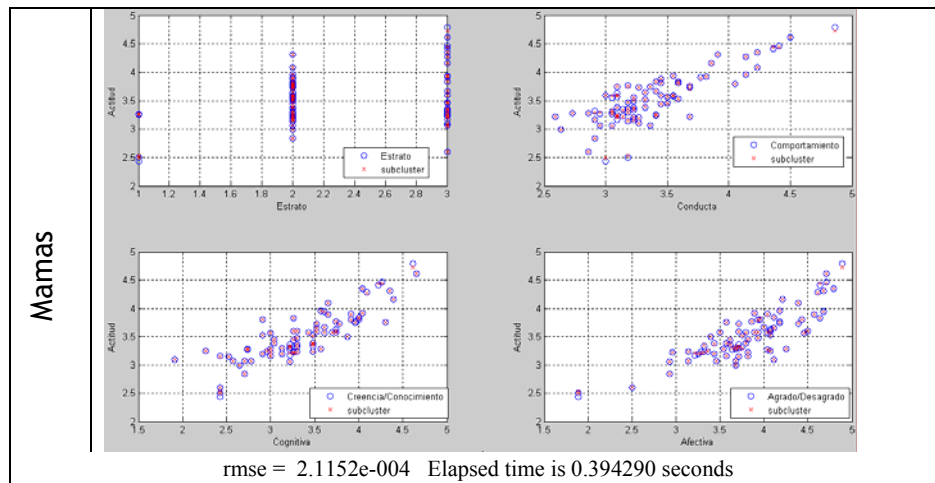


Figura 4 Evaluación de las actitudes ambientales de las amas de casa

En la figura 5, se presentan los resultados de los adultos mayores de 24 años, se observa un comportamiento similar a las amas de casa en la dimensión conativa, en la que los mayores de 24 años en su mayoría también se ubican en la indecisión. Pero en la parte cognitiva en donde se miden las creencias y el conocimiento, reflejan una actitud positiva la mayoría de los encuestados.

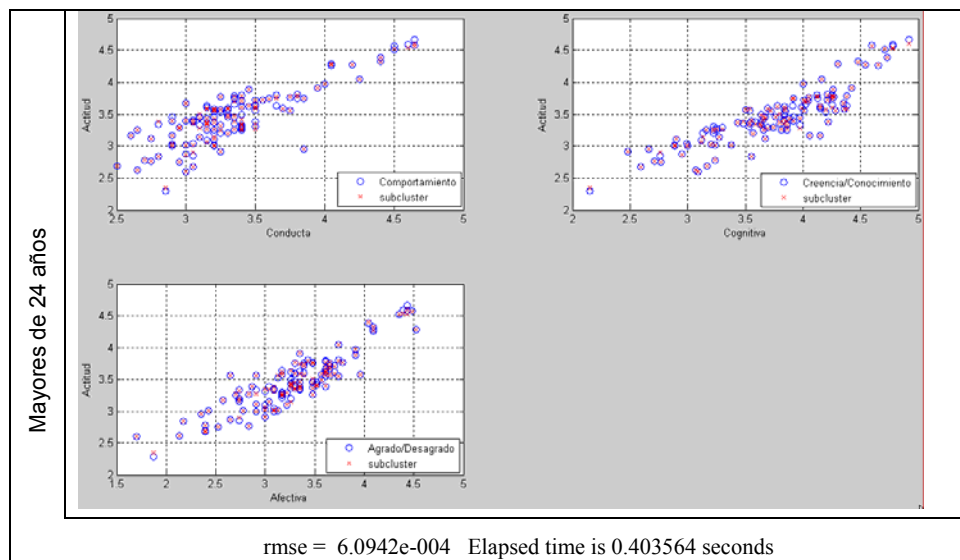


Figura 5 Evaluación de las actitudes ambientales de los mayores de 24 años

En la figura 6 se observa como en esta edad, los resultados muestra una actitud positiva o indeciso, lo cual permitiría trabajar un poco más en sus educación ambiental para promover un comportamiento de protección al ambiente a través del manejo sustentable de los residuos que generan.

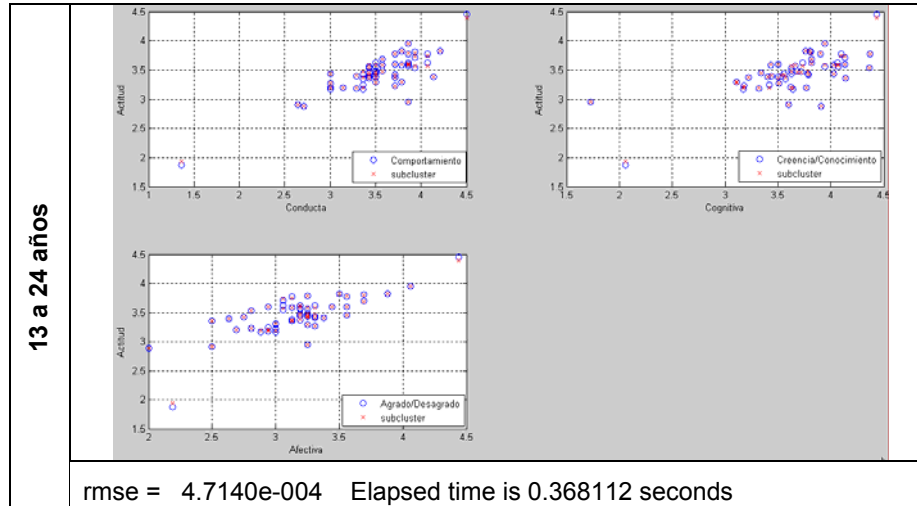


Figura 6 Evaluación de las actitudes ambientales de los jóvenes de 13 a 24 años

CONCLUSIONES

Aplicar la lógica difusa en la problemática de generación y comportamiento ambiental aporta una herramienta para analizar el problema incorporando el lenguaje común al diseño de sistemas difusos, lo cual aporta elementos para estos análisis ya esta característica permite incluir el conocimiento empírico de la población estudiada, que corresponde a las variables cualitativas. Con relación a esta variables analizadas con la herramienta, los resultados muestran evidencia que existe discrepancia entre la dimensión afectiva de la actitud y la dimensión conductual. Con este trabajo se puede comprobar lo dicho por Fernández (2003), Rovira (2000) y Rickinson (2001) en donde señalan que la práctica ambiental no está unida a la conciencia ambiental. Por mas conocimiento que se tenga, la generación de envases no está relacionado con ese conocimiento.

Referencias

1. Carvalho *, E. Agante, F. Duraño (2007) Recovery of PET from packaging plastics mixtures by wet shaking table M.T. *Waste Management* 27 (2007) 1747–1754
2. Darron W. Dixon-Hardy, Beverley A. Curran (2009) Types of packaging waste from secondary sources (supermarkets) – The situation in the UK *Waste Management*. 29 (3); 1198-1207
3. Grodzińska-Jurczak, M. Z. Hanna and A. Read, (2004) Management of packaging waste in Poland—development agenda and accession to the EU, *Waste Management & Research* 22: . 212–223.
4. Hanssen O.J., Olsen A., Møller H. y Rubach S. (2003) National indicators for material efficiency and waste minimization for the Norwegian packaging sector 1995–2001 *Resources, Conservation and Recycling*, 38 (2):123-137
5. Karavezyris V., Timpe K-P, & Marzi R (2002) Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. *Mathematics and Computers in Simulation* 60: 149–158
6. Mc Dougall, F. M. White, M. F. and Hindle, M. (2004) Integral management of solid residues: inventory of the life cycle, Procter & Gamble Industrial, Venezuela
7. Ojeda BS. (2005) Flow of packages and packing present in the domiciliary solid remainders. An analysis of the life cycle. Unpublished report. UABC—Instituto de Ingeniería
8. Pham T.T. y Chen G. (2002) Some applications of fuzzy logic in rule-based expert systems. 19: 208-223.
9. Pongstabodee S. , Kunachitpimol N., Damronglerd S (2008) Combination of three-stage sink–float method and selective flotation technique for separation of mixed post-consumer plastic waste. *Waste Management* 28: 475–483.
10. Tsiliyannis C. A. (2005) A new rate index for environmental monitoring of combined reuse/recycle packaging systems. *Waste Management & Research*. 23 (4): 304-313.
11. Williams H., Wikstrom F. y Lofgren M. (2008) A life cycle perspective on environmental effects of customer focused packaging development. *Journal of Cleaner Production*. 16: 853-859.



COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS CONFINADOS EN UN TIRADERO NO CONTROLADO EN UNA ZONA RURAL DE UNA CIUDAD FRONTERIZA

S. Ojeda-Benítez¹, G. Lozano-Olvera¹, Francisco Javier Gómez Puentes², Melissa Valdez Carrillo² Concepción Carreón Diazconti¹, H. Favela-Ávila²

¹Investigadores del Área de Medio Ambiente
Instituto de Ingeniería

Universidad Autónoma de Baja California

Boulevard Benito Juárez y calle de la Normal S/N Col. Insurgentes Este, Mexicali, Baja
California c.p. 21280

sara.ojeda.benitez@gmail.com, (686) 5.66.41.50 ext 2210

²Estudiantes de Maestría del Programa Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería
Instituto de Ingeniería

Universidad Autónoma de Baja California

RESUMEN

El manejo de los residuos domiciliarios en México se caracteriza por la utilización de sistemas y procedimientos tradicionales, así como de tecnologías modernas de mayor complejidad. Por lo cual, a nivel nacional encontramos la coexistencia de sitios de rellenos sanitarios con diferentes grados de control. La disposición final de los residuos sólidos municipales se realiza depositándola en sitios con características diferentes tales como el relleno sanitario, los rellenos de tierra no controlada y en tiraderos a cielo abierto. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio de caracterización y composición de los residuos domiciliarios de un área rural, los cuales son depositados en un tiradero no controlado por las autoridades municipales. La importancia de este trabajo radica en que el sitio de disposición se encuentra muy cerca de los cauces del río Colorado, el cual abastece el recurso agua a una región importante de la capital del estado, tanto en él área urbana como en la rural, además de ser una fuente de contaminación de los mantos freáticos cercanos. En el trabajo se presentarán los resultados de la composición y el manejo que el municipio realiza de este sitio el cual es una fuente de contaminación.

Palabras clave: Cuantificación de residuos, sitio no controlado, contaminación

INTRODUCCIÓN

La generación y el manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) es un tema de interés mundial, éstos conforman un ciclo compuesto por diversas etapas estrechamente vinculadas

entre sí. En México, se ha estudiado el problema de los residuos en diversos estudios que abordan la problemática de algunas ciudades mexicanas, Bernache (2003), analiza la problemática que se presenta en la ciudad de Guadalajara; Buenrostro, et al, (2001); Buenrostro y Boccio (2003); Buenrostro & Israde (2003) e , evalúan la problemática del manejo de los residuos en Morelia. Ojeda y Beraud, (2003) realizaron una investigación en la que comparan métodos de disposición final en cuatro ciudades del país. En un estudio más reciente, Bernache (2007) analiza los estudios de residuos que se han hecho en México desde 1980 hasta el 2006, destacando las problemáticas y alternativas de manejo que se han propuesto para nuestro país a lo largo de este periodo. Muñoz-Cadena, et al (2009) analizan laproblematca en una delegación de la ciudad de México.

La gestión de los residuos sólidos es un problema de carácter mundial que progresivamente están afrontando la mayoría de los municipios. La generación y el manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) es un tema de interés mundial (Narayan, 2000, Yuan, et al 2006; éstos conforman un ciclo compuesto por diversas etapas estrechamente vinculadas entre sí. El ciclo se inicia con la producción de bienes de consumo y continúa con la generación, almacenamiento, barrido, recolección y disposición final. Los estudios que se han realizado, sobre el manejo de los residuos sólidos, se centran en el ciclo completo o en algunas de las etapas.

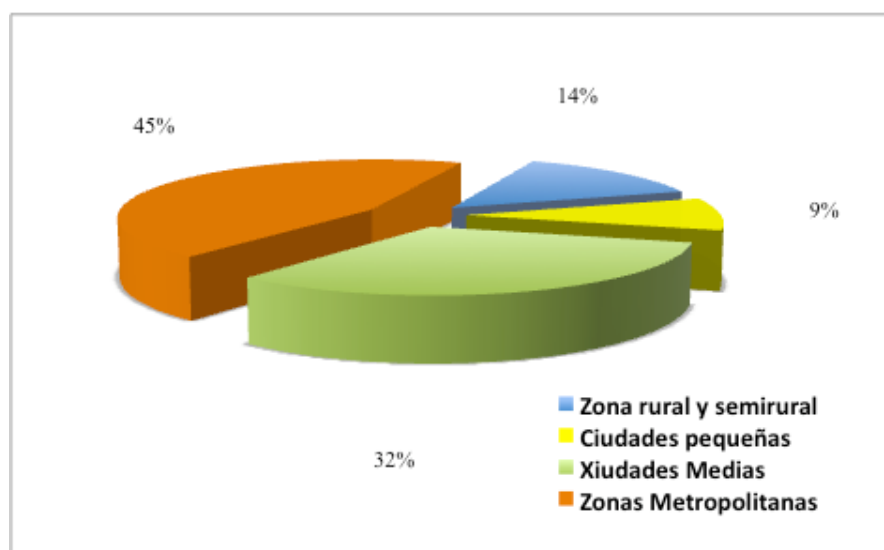


Figura 1. Generación de basura por tamaño de localidad en el 2006

La cantidad de residuos que generamos está directamente relacionada con nuestro estilo de vida. Esto quiere decir que si compramos una gran cantidad de productos, ya sea para nuestra subsistencia, arreglo personal o entretenimiento, grande será también la cantidad de basura que produciremos es en las ciudades donde más residuos se generan, por el número de personas que las habitan, y por su estilo de vida caracterizado por un mayor consumo de productos que en las zonas rurales, como se muestra en la figura 1.

Generalmente el propósito de los estudios que se realizan es alcanzar beneficios tales como implantar un manejo de los residuos sólidos municipales más sostenibles, promover la participación y el bienestar de los ciudadanos, contribuir a la conservación ambiental, conocer a los generadores Hage Söderholm y Berglund (2009), entre otros. Este trabajo se centra en la generación y caracterización de los residuos sólidos en una comunidad rural y el impacto que provoca el disponerlos y manejarlos en forma inadecuada. Las ciudades mexicanas, al igual que otras ciudades del resto del mundo, enfrentan el grave problema de la progresiva contaminación del medio ambiente, ocasionado fundamentalmente por la inadecuada e ineficiente disposición final de los residuos sólidos y líquidos que se generan. En este artículo se presentan un análisis del manejo de los residuos sólidos una zona rural en México.

La disposición final de los residuos sólidos en las ciudades se ha convertido en un serio problema, ya que el acelerado crecimiento poblacional y los cambios en los hábitos de consumo han originado un incremento considerable en la generación de residuos sólidos, por lo que la cantidad de basura que se dispone en los sitios de disposición final satura rápidamente la capacidad de éstos.

En México la disposición final de los residuos sólidos municipales se realiza depositándola en sitios con características diferentes tales como el relleno sanitario, los rellenos de tierra no controlado y en tiraderos a cielo abierto

- A) Rellenos de tierra controlado –Relleno sanitario (Sanitary Landfill)-: estos son sitios destinados para la disposición final de residuos sólidos municipales que cuentan parcialmente con inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas. Estos sitios de disposición deben cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996, la cual establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la

disposición final de los residuos sólidos municipales; incluyendo restricciones por afectación a obras civiles y áreas naturales protegidas, distancias mínimas a aeropuertos, caminos, ferrocarriles, aspectos hidrológicos, geológicos, hidrogeológicos, y aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes.

- B) Relleno de tierra no controlado. Sitio donde son vertidos y mezclados diversos tipos de residuos sólidos municipales sin ningún control o protección del ambiente.
- C) Tiradero a cielo abierto. Comúnmente se trata de tiraderos clandestinos, definidos como los sitios donde clandestinamente se depositan y acumulan los desechos sólidos Municipales sin ningún control técnico. Estos sitios pueden ser baldíos, barrancas, ríos, arroyos y otros cuerpos de agua.

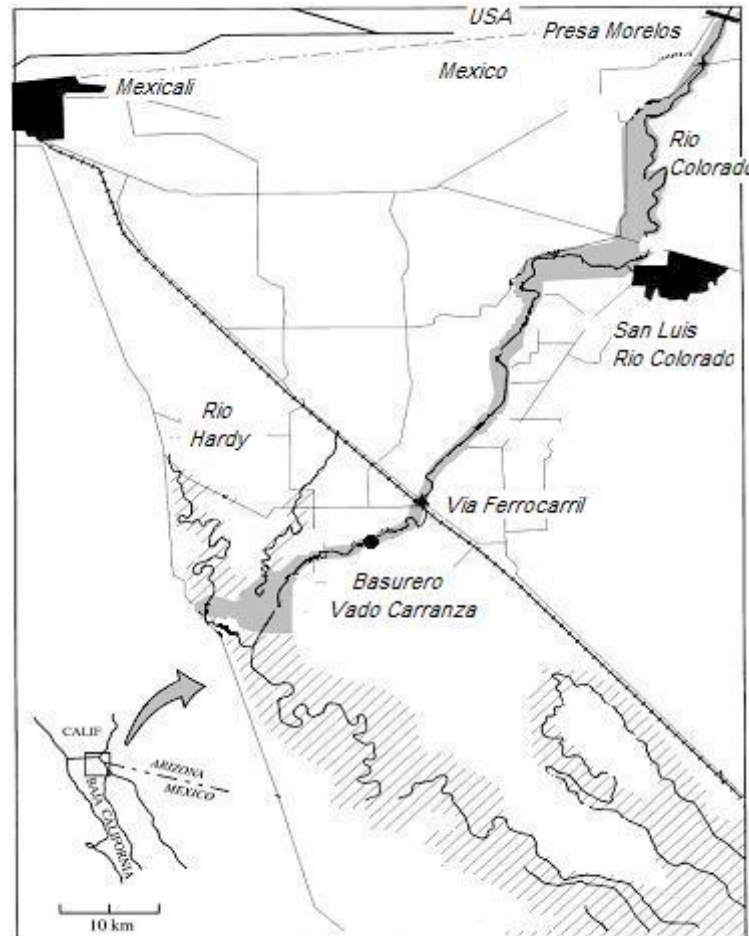
La falta de control en la disposición de los residuos sólidos en la ciudad de Mexicali, ha generado un problema de contaminación transfronteriza, ya que el sistema de drenes del Valle de Mexicali, en el área urbana, ha sido el destino de muchos de estos residuos, lo que provoca que las aguas que escurren hasta el Río Nuevo arrastren materiales y basura con carga contaminante. El caso que se analiza en este trabajo se clasifica como un relleno de tierra no controlado, operado por el ayuntamiento de Mexicali en la zona rural, el cual contribuye a la contaminación transfronteriza por encontrarse ubicado en una zona muy cercana a los acuíferos e incumplir con la norma para disponer los residuos, este relleno de tierra no controlado podría estar percolando lixiviados al acuífero, el cual está aproximadamente 2.5 metros bajo la superficie del suelo.

DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Valle de Mexicali tiene una superficie de 181,318 ha, con una red de canales de 2,902 kilómetros, y de drenes con longitud de 1,687 kilómetros. En la parte urbana de Mexicali, que ocupa un área de 14,890 ha, mientras la red de drenes principales, y los cuales son motivo del presente programa, tiene una longitud de 152.32 km

En la región de Mexicali y su valle los problemas que se presentan en la misma respecto de la contaminación de agua, aire y suelo, se generan principalmente por las actividades industriales, agrícolas y pecuarias, así como por otros factores, como el crecimiento urbano no planificado, el déficit de infraestructura urbana, la generación de residuos sólidos y la falta de sitios adecuados para el tratamiento y la disposición final de los mismos

En la zona del corredor ripario, ubicada en el valle de Mexicali, en se encuentra un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales (RSM), conocido como el basurero Vado Carranza. (Ver figura 2).



Fuente: Valdez Carrillo Melisa. (2008) Impacto de los lixiviados de un Relleno Sanitario-irregular sobre la calidad del agua subterránea. Tesis de maestría

Figura 2. Ubicación geográfica del relleno sanitario no controlado en el Vado Carranza

Este sitio no cumple con los requerimientos de la NOM-083-SEMARNAT-2006, la cual establece las especificaciones de selección del sitio, el diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y manejo especial. Al incumplir estos requisitos el basurero podría estar percolando lixiviados al acuífero, ya que se encuentra en el margen derecho de la region baja del Río Colorado, en el que el acuífero en esta zona, esta aproximadamente 2.5 metros bajo la superficie del suelo.

Metodología

La investigación se realizó en una zona rural del municipio de Mexicali, situada en la región fronteriza entre México y Estados Unidos. El sitio de estudio, tiene una superficie de operación de 120 m por 400 m, esta ubicado en el valle de Mexicali, a 43 Km. al sureste de la ciudad de Mexicali, B. C.

Para realizar la investigación, se determinó realizar un muestreo durante cinco días en el mes de marzo del 2008. Para extraer la muestra del camión recolector a caracterizar se utilizó el método del cuarteo, tal y como se establece en la Norma Mexicana NOM-AA-015. Este método consiste en ir reduciendo la muestra compuesta hasta obtener el tamaño adecuado. Homogeneizar perfectamente la muestra bruta. La homogenización se realizó mezclando los residuos de forma manual con una pala. Posteriormente se dividió la muestra en cuatro partes. Para ello se extendió la muestra sobre una superficie y dividió en cuatro cuadrantes numerados, con letras. El siguiente paso fue separar los cuadrantes opuestos (A y D), y el resto de la muestra se retiró. La nueva muestra se homogenizó nuevamente, posteriormente se dividió la muestra y en esta ocasión se seleccionaron los cuadrantes opuestos (B y C). El procedimiento se repitió hasta obtener el tamaño de muestra que se analizó

El muestreo se realizó en el sitio de disposición final en el Vado Carranza, la muestra se seleccionó del camión recolector, una vez seleccionada la muestra se prosiguió a separar los residuos, para determinar la composición de los residuos que se depositan en el sitio, la separación se realizó, de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-AA-22. La caracterización se determinó para conocer la composiciónse con el objetivo de identificar el tipo de material que pudiera estar provocando la generación de lixiviados y afectando la calidad del agua subterránea.

RESULTADOS

Los resultados derivados de los cinco muestreos realizados en el mes de marzo de 2008 revelan claramente que los residuos dispuestos en el basurero corresponden al tipo denominado como residuo sólido municipal (urbano o domiciliario como también se les llama) Cada muestreo fue realizado por cuarteo a partir de los residuos depositados por uno de los camiones de carga que diariamente disponen unas 3.5 toneladas de residuos por viaje. Se contabilizaron un total de 307 Kg. de residuos. Las fracciones dominantes consisten en plásticos, metal ferroso, orgánicos y otros. (Ver figura 3).

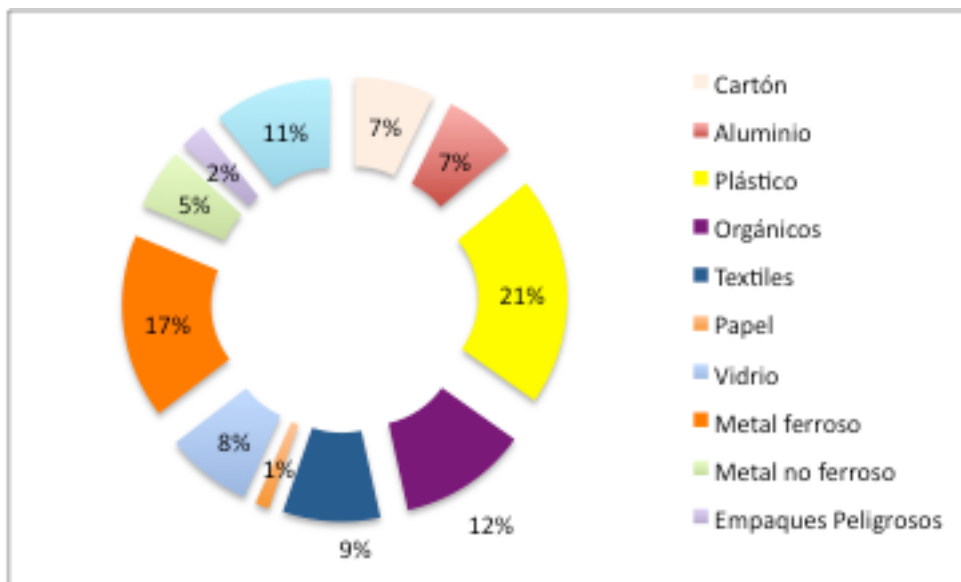


Figura 3. Composición de los residuos generados en el Vado Carranza

En la figura 4 se presentan los resultados de la composición de residuos inorgánicos por composición, se observa que la generación más alta corresponde a los residuos de plástico.

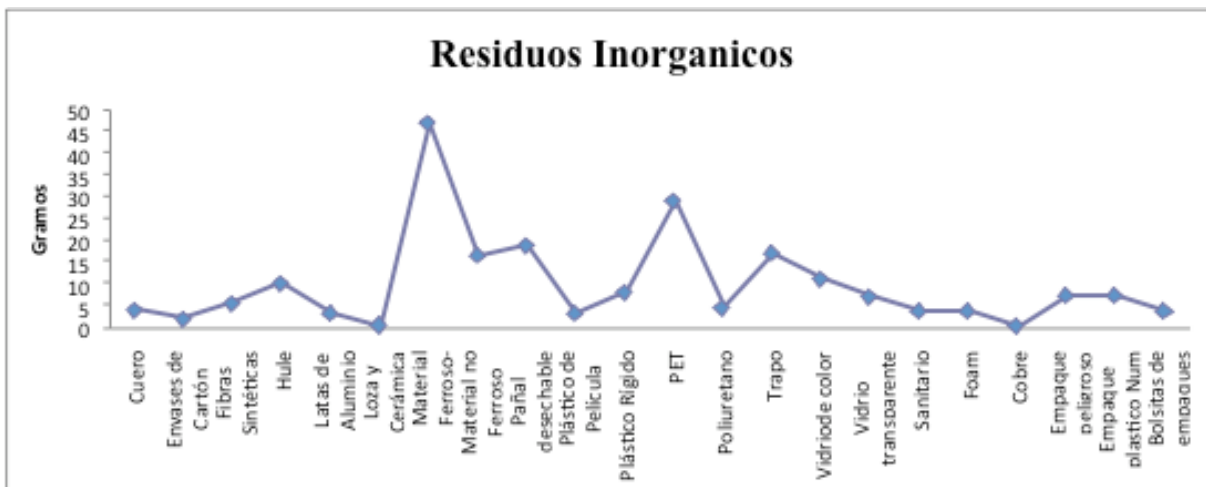


Figura 4. Composición de residuos por subproductos inorgánicos

En la figura 5 se presentan los resultados de la composición por residuos orgánicos, la categoría que predomina son los residuos de Madera.

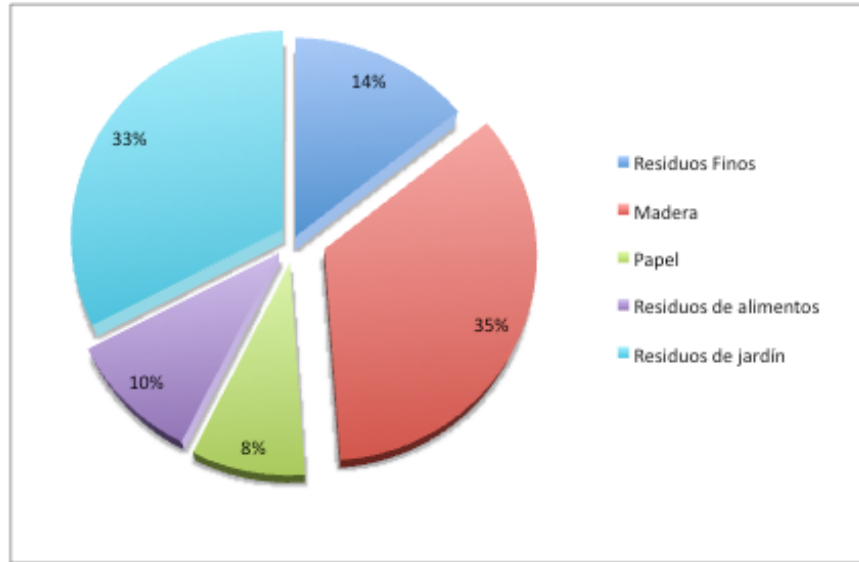


Figura 5. Composición de residuos por subproductos orgánicos

De acuerdo a los resultados presentados se observa que la composición de los residuos en una zona rural es muy diferente a una zona urbana.

El confinamiento de los desechos en sitio de disposición final se realiza desde 1995 en el que actualmente se depositan 32 toneladas por día, los residuos son llevados en camiones recolectores que en promedio descargan 3.5 toneladas en promedio por cada viaje realizado. El tratamiento que se les da a estos residuos es la quema a cielo abierto, lo cual representa un problema doble, ya que los residuos impactan al aire y a los mantos freáticos cercanos al lugar. Es así que la quema a cielo abierto de los residuos que se generan en esta comunidad rural ocasiona la emisión de distintos contaminantes. Entre los que se encuentran SO_2 , NO , y CO . Generando gases como el metano y el bióxido de carbono, cuyas propiedades son retener el calor generado por la radiación solar y elevar la temperatura de la atmósfera, provocando los gases efecto invernadero.

Conclusión

La basura es una de las fuentes principales de la contaminación de las aguas subterráneas, esto por el tratamiento inadecuado de la basura y los diversos materiales, que se concentran en este sitio de disposición los cuales son fuente de contaminación, ya que en la basura que se genera

en esta area rural del municipio de Mexicali, encontramos una gran variedad de productos y sustancias nocivas para el medio ambiente.

La contaminación de los mantos freaticos es latente en el sitio ya que al ser un relleno de tierra no controlado, carente de diseño siguiendo las normas técnicas. Puede haber contaminación de aguas subterráneas o de cuerpos de agua superficiales por percolado de lixiviados. Para el caso específico de la quema de basura, también existirá contaminación del agua si las partículas producidas llegan hasta los cuerpos de agua.

A diario se generan toneladas de basura, sin que haya separación de materia orgánica e inorgánica; la reutilización constituye un ideal compartido por pocos ciudadanos, mientras la prioridad para el grueso de la población consiste en eliminar irreflexivamente basura del hogar, soslayando los impactos negativos que reciben suelos, cuerpos de agua, mantos freáticos y aire.

México necesita trabajar en un sistema integral que abarque la incorporación de herramientas tecnológicas y administrativas modernas, la participación responsable de los diversos sectores de la sociedad, el fortalecimiento de las instituciones involucradas en el manejo y operación de los sistemas de aseo urbano y la búsqueda de esquemas de financiamiento adecuado a las capacidades de pago de los municipios.

Referencias

1. Bernache G. (2003) The environmental impact of municipalwastemanagement: the case of Guadalajarametro area. *Resources, Conservation and Recycling* 39:23–37.
2. Buenrostro O, Bocco G, Bernache G. 2001 Urban solid waste generation and disposal in Mexico: a case study. *Waste Management and Research* 19:169–76
3. Buenrostro O. y Bocco G. Solid Waste Management in municipalities in Mexico: Goals and pespectives. *Resources, Conservation and Recycling*. 2003: 9, (3) 251-263
4. Buenrostro, O. e Israde, I., (2003). La gestión de los residuos sólidos en la cuenca del lago de Cuitzeo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 19 (4), 161-169.
5. Hage O., Söderholm P, Berglund CH. (2009) Norms and economic motivation in household recycling:Empirical evidence from Sweden *Resources, Conservation and Recycling* 53: 55–165
6. Jiang,J Lou Z, Ng,S., L. Duo Ji. (2009) The current municipal solid waste management situation in Tibet. *Waste Management*, 29 (3):1186-1191
7. Muñoz-Cadena, C.E. Arenas-Huertero, F.J. Ramón-Gallegos E. (2009) Comparative analysis of the street generation of inorganic urban solid waste (IUSW) in two neighborhoods of Mexico City *Waste Management*, 29 (3): 1167-1175
8. Ojeda-Benitez S, Beraud-Lozano J.L. (2003) The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal. *Resources Conservation and Recycling* 39(3):239–50



CARACTERIZACIÓN DEL BIOGAS EN EL RELLENO DE TIERRA DE MORELIA, MICHOACÁN

Carlos Alberto González Razo¹, Otoniel Buenrostro Delgado²

1, 2. Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Av San Juanito Itzicuaró S/N, Col. San Juanito Itzicuaró, Morelia, Mich. C.p.58302

razogca@yahoo.com.mx¹, otonielb@zeus.umich.com², (443) 3.34.04.75 ext 115

RESUMEN

La mayor parte de los sitios de disposición de residuos sólidos urbanos (RSU) en México no cumplen con especificaciones de la normatividad ambiental, lo que ocasiona riesgos ambientales entre los que destaca la producción de biogás que ha contribuido al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), tal es el caso del antiguo Relleno de Tierra Controlado (RTC) de Morelia, Michoacán que lo arroja sin ningún control a la atmósfera. Actualmente, estas emisiones se cuantifican mediante modelos matemáticos predictorios como el LandGEM de la USEPA, que involucra parámetros de la tasa de producción del gas metano (k) y el potencial de generación (L_0), cuyos valores utilizan una constante de RESA que han sido estudiados; sin embargo, se ha comprobado que la generación de biogás varía de un lugar a otro. El objetivo del trabajo es mejorar estas estimaciones, mediante la calibración de las constantes utilizadas. Para ello, como primera fase realizó una caracterización de RSU además de los análisis físicos y químicos requeridos en los parámetros de muestras de RSU de 16 sitios. Posteriormente, se efectuaron mediciones del % de CH_4 , CO_2 y H_2S . Los resultados al momento muestran que variables de temperatura, humedad y ST presentan diferencia estadísticamente significativa en cuanto a estrato, mientras que las variables de cenizas, sólidos volátiles, pH, fracción orgánica e inorgánica no presentan diferencia estadística.

Palabras Clave: factores físicos y químicos, biogás, metano, tiradero controlado.

INTRODUCCIÓN

La situación por la que atraviesa México en los últimos años con respecto al manejo de Residuos Sólidos (RS) es preocupante. A pesar de que la legislación mexicana tiene conceptos y requisitos bien definidos sobre manejo y vertido adecuado de los RS; la mayor parte de los sitios donde se depositan no cumplen las medidas adecuadas con respecto a su

control, lo que ocasiona impacto ambiental y riesgos en la salud pública. La ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en el artículo 3, fracción XIX define el término impacto ambiental como la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza (LGEEPA, 2005). En México, alrededor del 90% de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) producidos continúan arrojándose directamente en el suelo, bajo diferentes modalidades; en tiraderos a cielo abierto que es el medio más utilizado donde no se presenta ningún control sobre la cantidad y el tipo, en rellenos de tierra no controlado, tiraderos controlados y en menor cantidad en rellenos sanitarios (RESA) (SEDESOL, 1994).

Entre los principales factores de riesgo que ocasionan los RESA están la producción de lixiviados y la producción de biogás que contribuye al aumento en volumen de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). El biogás se define como una mezcla de gaseosa resultado del proceso de descomposición anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos (NOM-083-SEMARNAT-2003).

El IPCC, (2007) indico que la mayoría de los GEI que incluyen el vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), y ozono (O_3), se producen de manera natural en la atmósfera; sin embargo, se ha presentado un aumento en un 70 % de su concentración durante los últimos veinte años debido principalmente a las actividades humanas entre las que destaca la industrialización de materias primas para la obtención de alimentos así como la inadecuada disposición de RSU en sitios no controlados.

La U.S. EPA (2008) estimó que los RESA aportaron aproximadamente un promedio del 22% de las emisiones globales del metano en el lapso del año 2000 al 2006 en los Estados Unidos.

El sitio de disposición final se localiza a 15 kilómetros al Oeste de la ciudad de Morelia Michoacán, en la región centro occidente de México. Se encuentra ubicado dentro de las coordenadas $19^\circ 41' 40''$ Latitud Norte y $101^\circ 20' 54''$ Longitud Oeste con una topografía irregular y a una altura de 2075 metros sobre el nivel del mar. El relleno de tierra de Morelia estuvo operando aproximadamente 24 años a partir de 1984 (Israde et al, 2005). Recientemente fue clausurado pues término su ciclo de vida útil y fue sustituido por un nuevo RESA que se encuentra al oeste, a un costado del sitio de estudio. De las labores realizadas para su clausura, se llevo a cabo la colocación de 53 pozos de venteo de biogás a una profundidad máxima de 3 metros de los cuales no se lleva a cabo ninguna actividad de aprovechamiento de gases para producción de energía.

Se han elaborado diversos modelos matemáticos para medir la cantidad de biogás que se genera en un RESA la cual ha sido usada en literatura científica (US EPA 1998). Estos modelos incluyen estimaciones estequiométricas y cinéticas (Paraskaki, 2005). Uno de los modelos es el LandGEM (Landfill Gas Emissions Model) propuesto por la US EPA en 1998. Esta herramienta modela las cantidades de emisión de varios compuestos presentes en el biogás del produce los RSU en el RESA en un cierto periodo de tiempo. De igual forma, se puede calcular los índices de emisión del metano usando este modelo si se conoce la cantidad de residuos depositados en el sitio año con año.

Para diseñar sistemas eficientes de extracción sin tener afectaciones al ambiente se debe conocer, entre otra información, algunos parámetros presentes en el modelo LandGEM como es el potencial de generación (L_0) y la constante de la tasa de producción (k) de gas metano. En caso de no disponer de datos para un sitio en particular, los valores para estos parámetros son dados por default por la US EPA (Paraskaki, 2005); Sin embargo, recientes investigaciones han demostrado que la generación de biogás difiere de un sitio con respecto a otro e incluso dentro del mismo RESA (Levelton; & Associates 1991). Por ello, es importante monitorear las emisiones directamente del RESA y no extrapolar a otros rellenos pues las lecturas difieren de un sitio con respecto a otro por las condiciones del sitio, uso de tecnologías más avanzadas; la región y el clima; lo que conlleva a la diferencia de los parámetros físicos y químicos en donde están involucrados los RSU. De esta forma es necesario contar con datos de generación y poder calibrar el potencial de generación (L_0) y la constante de la tasa de producción de biogás (k) distinto al método de estimación de la producción que se esta tomando en cuenta. Como primera fase se esta realizando un estudio de composición de residuos, posteriormente análisis físicos y químicos de ellos y por ultimo monitorear las cantidades de biogás producido.

METODOLOGIA

La presente investigación consta de cinco fases en función de los datos que se requieren obtener para establecer una relación entre los factores físicos, químicos y biológicos con los factores de emisión de la cantidad de biogás que se produce en el sitio.

Fase I. Selección de los puntos y muestreo de RSU

Actividad 1. Procedimiento de campo y muestreo de RSU

Los sitios de muestreo se seleccionaron por medio de un sistema de cuadrantes orientados de SO a NE de acuerdo al acomodo de los pozos de captación de biogás que están espaciados a 57.7 metros uno de otro. De tal forma, se consideraron 16 puntos aleatoriamente entre los pozos de venteo de biogás (Fig. 2); ocho de ellos tomados directamente del sitio donde se colocaron los tubos y los demás aproximadamente a la mitad entre un tubo y otro.



Figura 2. Localización de los puntos de muestreo

En cada punto se realizó una perforación con ayuda de una retroexcavadora con extensión marca Case 2002 a una profundidad máxima de 3 metros. Hecha la perforación se tomó la muestra de RSU por sitio a cada metro de profundidad. Se recogieron las muestras en bolsas transparentes para cada estrato a las cuales se les colocó una etiqueta de identificación. Estas a su vez fueron puestas en bolsas negras de polietileno de tamaño de 1.10 m x 0.90 m por cada sitio. Se catalogaron con una clave y número de identificación y por ultimo estas muestras se trasladaron en una hielera al laboratorio para su posterior análisis.

Fase II. Análisis de las muestras en laboratorio

Actividad 1. Caracterización y cuantificación de subproductos

En el laboratorio, antes de llevar a cabo el vaciado de los subproductos se pesaron las bolsas con residuos. Posteriormente, se realizó la selección y cuantificación de

subproductos con base en una variante de la Norma de Clasificación NTRS-5, propuesta por la SEDUE e incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985 Residuos Sólidos Municipales - Selección y cuantificación de subproductos (INE/SEMARNAP, 1985). El proceso consiste en vaciar la bolsa en una charola grande de peso conocido para separar manualmente cada residuo que se pueda retirar de la mezcla homogénea pues se conoce su consistencia producto del proceso de degradación. Estos se pesaron en balanzas de precisión Trans-Cell Modelo TI-500 con capacidad de 30 kilogramos y una sensibilidad de dos gramos y los pesos de cada subproducto se anotaron en el formato de clasificación de subproductos antes expuesto (NOM-AA-22-1985).

Actividad 2. Determinación de parámetros físicos y químicos

La preparación de las muestras en el laboratorio para su análisis se realizó de acuerdo con la norma (NOM-AA-52-1985). Para homogeneizar la muestra, se trituraron sus componentes a una fracción de un centímetro, y así realizar los análisis fisicoquímicos de la investigación. Estos análisis incluyeron:

Determinación de la fracción orgánica e inorgánica de los residuos analizados

Para la determinación de la fracción orgánica en cada muestra se procedió a cuantificar los subproductos de residuo fino, residuo de jardinería y residuo alimenticios, y como fracción inorgánica todos los demás subproductos encontrados en las muestras analizadas.

Determinación de la Temperatura

Junto con la toma de muestras de residuos en campo se registraron lecturas de la temperatura con ayuda de un termómetro digital de bolsillo con vástago delgado de marca Taylor Precision Products modelo 9878 que detecta temperaturas desde -50 hasta 260 °C el cual fue enterrado a la matriz de RS por medio del vástago en el punto donde se tomó la muestra, durante aproximadamente 20 segundos para lograr su estabilidad. Al medir la temperatura del experimento también se monitoreo la temperatura del ambiente.

Determinación del Potencial Hidrógeno (pH)

El pH de los residuos sólidos se midió con un potenciómetro modelo pc-18 marca felisa, previamente calibrado a un ph= 7.0 con una solución amortiguadora. El procedimiento se llevo a cabo de acuerdo a la NMX-AA-25-1984.

Determinación de Humedad de acuerdo a la NMX-AA-016-1984

Para la determinación de humedad las muestras fueron tratadas de acuerdo con la NMX-AA-016-1984.

Para efectuar los cálculos se utilizó la formula:

$$\% H = \frac{PH - PS}{PH} * 100$$

Donde:

PH= Peso en gramos de la muestra húmeda.

PS= Peso en gramos de la muestra seca.

Determinación de cenizas de acuerdo con la NMX-AA-018-1984

Con la muestra obtenida en el proceso de obtención de humedad, se trabajo con las muestras de acuerdo con la NMX-AA-018-1984.

Para calcular el porcentaje de cenizas se utilizó la formula:

$$\% C = (\text{Pesodecenizas} * 100) / PS$$

Determinación de Sólidos Volátiles (SV)

Además del procedimiento anterior, con las mismas muestras, se realizaron los cálculos para la determinación de los SV con la formula:

$$\%SVT = \frac{PS - PC}{PS} * 100$$

Donde:

PC= Peso en gramos de la muestra calcinada.

Para determinar la biodegradabilidad de los residuos sólidos se hará con base en determinaciones de lignina, hemicelulosa y celulosa.

Fase III. Determinación de emisiones de biogás en el sitio de estudio

Actividad 1. Medición de flujos de biogás y procedimiento de campo

Para conocer la cantidad de biogás que se produce en el sitio, la selección de los puntos de muestreo y la ubicación de éstos fue determinada por el lugar donde se encuentran los pozos de captación y extracción de biogás. La investigación en campo abarcará un periodo de un año buscando registrar los datos en función de los patrones de estacionalidad e influencia de la época del año llevando a cabo la recolección de gas cada 15 días con registros para todos los pozos. Cada pozo cuenta con un tubo de venteo perforado que tiene un diámetro de 4 pulgadas por el cual se realizará la adquisición de muestras. Los muestreos se efectuarán por la mañana en un lapso de 9:00 am a 12 pm buscando una menor influencia de factores externos como los cambios de humedad y temperatura. Para tomar las lecturas se contará con un analizador GEM-200 Plus con detector de rayos infrarrojos. Este aparato mide el porcentaje de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2) así como la cantidad de sulfuro de hidrógeno (H_2S), y monóxido de carbono (CO).

Fase IV. Determinación del potencial de generación (L_0) y de la constante de la tasa de producción (k) del gas metano

El potencial de generación del metano (L_0) es una variable la cual esta en función de la composición y la letra “k” es una constante de reacción de primer orden para describir el promedio producido de gas metano en un relleno. Se utiliza para extrapolar los resultados de emisión de un relleno a otros sitios de depósito con características y condiciones similares con el objetivo de presentar modelos predictorios.

Actividad 1: Determinación de L_0 y la constante k

Para determinar L_0 se necesita de la caracterización efectuada de los residuos para poder observar su comportamiento y contraponerla con respecto a la de otros sitios.

Por otro lado la constante k es dependiente de muchos parámetros tales como composición, contenido de agua, temperatura, potencial de oxidación-reducción, alcalinidad, pH, densidad, tamaño de partícula y fracción biodegradable de los residuos (Levelton; & Associates 1991). Como constante se piensa que todos los sitios de disposición final cumplen criterios en los cuales se da una estabilidad en la producción de este tipo de gases; sin embargo, recientes investigaciones han descubierto que la generación de metano puede variar significativamente de un lugar con respecto a otro e incluso dentro del mismo sitio de depósito. De esta forma; con los monitoreos periódicos que se realicen en los tubos de venteo del gas metano así como con los datos de L_0 del sitio de disposición y el análisis de los factores antes expuestos se podrá determinar esta variable.

Fase V. Análisis estadísticos de los datos

Los datos de campo y de laboratorio se ordenaron por pozo y estrato. Estos se capturaron para formar una base de datos en el programa Excel (Microsoft Office XP, 1985-2001) Posteriormente se efectuaron los análisis estadísticos utilizando el programa estadístico JMP (Versión: 6.0.0 SAS Institute Inc, 2005). Una vez obtenidos los resultados se procedió a interpretarlos y discutirlos. Se consideran 16 sitios para el muestreo ya que la prueba para la determinación del tamaño de muestra arrojó que con esta cantidad de sitios se alcanza un nivel de confianza del 95 %.

Fase V. Análisis estadístico de los resultados de los análisis fisicoquímicos.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de conocer si existen diferencias estadísticamente significativas entre los estratos con respecto al comportamiento de las variables respuesta que son la fracción orgánica e inorgánica, temperatura, pH, contenido de humedad, Sólidos Totales (ST), cenizas y sólidos Volátiles (SV).

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de la investigación obtenidos hasta el momento:

Fase I. Selección de los puntos de muestreo

En el trabajo realizado en campo se tomaron muestras de 16 pozos de tres estratos distintos ubicados a cada metro de profundidad a partir de la superficie. La tabla 1 presenta la cantidad total de muestra obtenida por estrato:

Tabla 1. Peso total de residuos obtenido en campo (kilogramos peso fresco)

Numero de Pozo	Estrato		
	1	2	3
1	5.556	4.685	5.525
2	2.079	2.902	2.581
3	2.282	1.350	1.336
4	1.348	1.036	1.832
5	1.952	2.597	1.419
6	1.488	4.513	1.633
7	1.329	1.963	2.294
8	4.017	2.361	5.364
9	9.62	9.804	9.057
10	4.671	7.711	6.59
11	4.925	7.557	10.232
12	8.078	6.985	11.845
13	9.532	10.641	10.187
14	7.294	5.635	5.618
15	11.808	9.324	8.149
16	8.866	8.283	8.693

Fase II. Análisis de las muestras en laboratorio

Actividad 1. Caracterización y cuantificación de subproductos

La tabla 2 presenta los principales subproductos encontrados en la caracterización de los residuos sólidos del Relleno de Tierra Controlado (RTC) de Morelia, Michoacán.

Tabla 2. Principales subproductos caracterizados de las muestras de residuos sólidos de los 16 sitios del RTC de Morelia (% Peso fresco)

Principales subproductos	Estrato		
	1	2	3
Fracción orgánica	52.65	58.23	52.37
Cartón	2.95	3.58	5.40
Madera	0.61	0.68	1.58
Papel	1.82	0.93	0.67

Pañal desechable	3.68	3.47	4.23
Plástico en película	8.35	6.59	7.33
Vidrio	1.62	3.96	2.91
Piedras	13.41	8.49	12.16
Material ferroso	1.41	2.90	1.61
Plástico rígido	4.64	4.28	4.43
Loza y cerámica	1.13	1.58	0.59
Trapo	2.38	1.51	2.26
Otros	5.35	3.78	4.46
TOTAL	100	100	100

Actividad 2. Determinación de parámetros físicos y químicos

La determinación de los parámetros físicos y químicos se realizó por triplicado para cada parámetro considerado. Las tablas muestran un promedio para cada estrato. A continuación las tabla 3, 4 y 5 presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de los sitios tomados en consideración:

La tabla 3 muestra la composición con respecto a la materia orgánica e inorgánica:

Tabla 3. Porcentaje de materia orgánica e inorgánica de las muestras de residuos del RTC de Morelia por pozo y estrato (%)

POZO	FRACCIÓN ORGÁNICA			FRACCIÓN INORGÁNICA		
	ESTRATO			ESTRATO		
	1	2	3	1	2	3
1	85.14	76.12	77.39	14.86	23.88	22.61
2	78.93	73.26	72.07	21.07	26.74	27.93
3	64.01	35.30	56.04	35.99	64.70	43.96
4	57.43	51.75	36.34	42.57	48.25	63.66
5	28.33	49.04	45.24	71.67	50.96	54.76
6	40.95	67.12	32.70	59.05	32.88	67.30
7	46.46	48.75	45.59	53.54	51.25	54.41
8	55.06	68.68	75.14	44.94	31.32	24.86
9	22.67	59.16	57.90	77.33	40.84	42.10
10	37.44	68.41	70.17	62.56	31.59	29.83
11	39.56	38.83	23.89	60.44	61.17	76.11
12	44.87	46.51	23.85	55.13	53.49	76.15
13	61.23	63.05	35.43	38.77	36.95	64.57
14	13.61	26.09	14.76	86.39	73.91	85.24
15	51.60	46.40	38.57	48.40	53.60	61.43
16	46.93	52.28	38.10	53.07	47.72	61.90

A continuación se muestra en la tabla 4 muestra los resultados promedio de los parámetros físicos y químicos de los residuos analizados.

Tabla 4. Promedio de los parámetros físicos y químicos de las muestras de residuos del RTC de Morelia por pozo y estrato (%)

Pozo/ Estrato	T (°C)			pH			Humedad		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	30	26.2	27.2	8.14	8.28	8.34	24.23	23.36	42.13
2	22.3	23.5	24.4	8.49	8.17	8.25	27.86	31.82	37.61
3	24.3	27.8	29.2	8.05	8.36	8.43	17.19	31.26	31.43
4	28.2	34.6	35.3	7.39	5.87	7.77	33.52	41.65	33.32
5	29.1	32.6	33.4	8.24	8.04	8.17	23.48	30.98	31.66
6	30.9	42.5	41.8	8.45	8.70	8.70	27.71	27.88	27.01
7	32.5	40.1	41.9	8.91	8.96	8.54	33.99	38.14	32.34
8	27.7	27.9	26.2	8.54	8.48	8.71	53.20	31.06	30.10
9	32.9	42.7	44	7.79	6.78	6.95	15.52	30.62	31.19
10	32.7	37.7	40.4	8.38	8.71	9.14	32.39	32.12	35.51
11	33.5	34.6	35.5	8.42	8.74	8.82	40.33	33.14	41.46
12	28.9	28.9	34.3	6.23	6.90	6.12	29.88	40.12	31.17
13	24.3	26.5	26.5	7.35	9.19	9.05	21.06	28.54	35.91
14	25.7	27	28.5	8.85	8.83	9.03	45.16	42.46	47.97
15	25.9	26.6	28.1	8.13	8.95	9.12	24.50	47.24	38.70
16	24.9	27.1	27.5	6.69	7	7.13	26.99	22.84	21.84

La tabla 5 muestra los resultados en porcentaje de los parámetros físicos y químicos de las muestras de residuos considerados en el muestreo.

Tabla 5. Porcentaje de los parámetros físicos y químicos de las muestras de residuos del RTC de Morelia por pozo y estrato (%)

Pozo/ Estrato	ST			Cenizas			SV		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	75.8	76.6	57.9	93.43	95.76	90.95	77.32	84.30	69.90
2	72.1	68.2	62.3	45.28	44.39	35.57	88.72	81.07	58.55
3	82.8	68.7	68.6	43.50	40.28	39.86	87.99	78.92	78.58
4	66.47	58.35	66.67	91.41	87.60	82.61	59.85	32.99	38.26
5	76.52	69.01	68.34	86.53	86.07	84.83	35.04	47.10	32.18
6	72.29	72.11	72.98	80.67	90.51	39.39	24.78	72.08	60.76
7	66	61.86	67.66	93.05	91.39	92.60	74.96	67.59	79.82
8	46.8	68.9	69.9	90.73	90.37	93.35	28.99	65.67	49.55
9	84.98	67.24	68.46	90.46	66.42	72.79	9.54	33.58	27.21
10	67.61	67.88	64.49	67.63	80.78	82.67	32.37	19.22	17.33
11	59.67	66.86	58.54	62.53	71.52	64.12	37.47	28.48	35.88
12	70.12	59.88	68.83	56.76	56.99	63.62	43.24	43.01	36.38
13	78.94	71.46	64.09	79.72	76.83	50.73	20.28	23.17	49.27
14	54.84	57.54	52.03	48.41	45.04	60.81	51.59	54.96	39.19
15	75.50	52.76	61.30	87.36	66.98	65.75	12.64	33.02	34.25
16	73.01	77.16	78.16	64.43	78.25	62.81	35.57	21.75	37.19

Fase III. Determinación de emisiones de biogás en el sitio de estudio

Actividad 1. Medición del flujo de biogás y procedimiento de campo

El objetivo de esta actividad es conocer la cantidad de biogás superficial y subsuperficial que se genera en el sitio de estudio para posteriormente relacionarla con los análisis que se han efectuado en los residuos. El estudio de generación comenzará en el mes de Junio de 2009.

Fase IV. Determinación del potencial de generación (L_0) y de la constante de la tasa de producción (k) del gas metano

Actividad 1: Determinación de L_0 y la constante k

Con la conjunción de los datos de generación de biogás se dispondrá a efectuar los análisis respectivos y determinar L_0 y k en función de las características del RTC de Morelia Michoacán.

Fase V. Análisis estadísticos de los datos

El ANOVA se efectuó para conocer si existen diferencias estadísticamente significativas entre los estratos con respecto a los análisis físicos y químicos de las muestras de residuos obtenidas en campo.

Análisis estadísticos de los datos de los resultados de los análisis fisicoquímicos.

La tabla 6 muestra los resultados del ANOVA para los parámetros considerados en el muestreo.

Tabla 6. Resultados del ANOVA efectuado para los parámetros físicos y químicos.

Parámetro	Probabilidad > F
Fracción Orgánica	0.0684
Fracción Inorgánica	0.0684
Temperatura	0.0003
pH	0.3188

Humedad	0.0317
ST	0.0276
Cenizas	0.6757
SV	0.6757

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que hay diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$).entre los estratos con respecto a las variables de temperatura, humedad y Sólidos Totales (ST).

DISCUSIÓN

El análisis de generación arrojó una composición de los residuos heterogénea en los sitios de estudio. En la caracterización de RSU en el relleno de tierra de Morelia, se encontraron 38 subproductos diferentes en los estratos. Del total de subproductos encontrados en el sitio, el que se presenta en mayor proporción es el residuo fino para los tres estratos. Este resultado obedece a que en el sitio se han llevado a cabo ciertas condiciones de manejo como es el acomodo y cubrimiento con arcilla que de alguna manera modificó los RSU originalmente depositados en el sitio.

CONCLUSIONES

En la caracterización se encontraron 38 subproductos diferentes.. Estos resultados sugieren una heterogeneidad entre estratos, y por lo tanto, influyen en el proceso de descomposición de los residuos sólidos dentro del mismo tiradero.

En las variables de temperatura, humedad y ST se observa que las muestras presentan diferencia en cuanto a estrato ($P < 0.05$). El análisis de las variables de fracción orgánica e inorgánica, pH, cenizas y sólidos volátiles no presentan diferencia estadísticamente significativa en cuanto a estrato ($P > 0.05$).

Con la conjunción de todos los resultados se tendrán herramientas para efectuar acciones de postclausura del sitio de confinamiento para decidir sobre estrategias de manejo y en su caso, de utilización del biogás.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), con número de proyecto 00062100. Asimismo la beca otorgada al primer autor.

REFERENCIAS

1. Anurag G., Gomal, A. & Armes C.(2006) A Model to Estimate the Methane Generation Rate Constant in Sanitary Landfills Using Fuzzy Synthetic Evaluation. *Was Manag & Res.* **24**, 363-375.
2. Barlaz M.; Ham, R. & Schaefer D. (1990) Methane Production From Municipal Refuse: A Review of Enhancement Techniques and Microbial Dynamics. *Critical Rev in Environ Control.* **19** 557-584.
3. Buenrostro O. y Bocco, G. (2003) Solid Waste Management in Municipalities in México: Goals and Perspectives. *Resources, Conserv and Recycl.* **39** 251-263.
4. El-Fadel M., Findikakis, A. and Leckie J. (1996) Estimating and enhancing methane yield from municipal solid waste. *Hazard Was & Hazard Mat.* **13**, 309-331
5. INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2001) XII Censo General de Población y Vivienda, 2005. Resultados Definitivos, Tabulados Básicos, México, p 2384.
6. IPCC (2007): Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
7. Israde I., Buenrostro, O. y Carrillo, A. (2005) Geological Characterization and Environmental Implications of the Placement of the Morelia Landfill, Michoacan, Central Mexico. *Jour of the Air and Was Manag Assoc* **55** (6) 755-764.
8. LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente). (2005). Titulo 1°. Capitulo. 1. artículo 3, fracción XIX Diario Oficial de la Federación. PP 94.
9. Levelton, B. & Associates. 1991. Inventory of methane emissions from landfills in Canada. Environment Canada, Richmond, B.C., File 490-974, June, 1991.
10. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) (1984).. Norma Mexicana NMX-AA-016-1984. Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo - Determinación de Humedad, México, 5 P.
11. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) (1984).. Norma Mexicana NMX-AA-018-1984. Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo - Determinación de Cenizas, México, 5 P.
12. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) (1985).. Norma Mexicana NMX-AA-022-1984. Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo - Selección y Cuantificación de Subproductos, México, 7 P.
13. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) (1985).. Norma Mexicana NMX-AA-022-1984. Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo - Determinación del pH. Método Potenciométrico, México, 5 P.
14. Park S; Brown, K. and Thomas J. (2004)The use of biofilter to reduce atmospheric methane emissions from landfills: part I. Biofilter desing. *Wat, Air and Soil Pollutl* **155** 63-85.
15. SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social) (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1994. Diario Oficial de la Federación. México, 3 p.
16. Tagaris E; Rafaella, El; Sotiropoulou, P; Christodoulos, P and Constanitinos P.(2003) Atmospheric methane transport near landfill sites *Was Manag & Res* **21**, 62-73.
17. Tchobanoglous, G., Theisen H. and Vigil, S. (1993) Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues. Volume II Irwin McGraw-Hill, USA.
18. US EPA (2008): Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990 – 2006 The US Environmental Protection Agency, Office of *Air and Rad, Air Poll* 42 document, US EPAA.

PROGRAMA DE MANEJO DE PAPEL EN EL CAMPUS ENSENADA DE LA UABC

**C. Armijo de Vega¹, A. García-Gastelum², Q. Aguilar-Virgen¹, P. A.
Taboada-González¹**

1. Facultad de Ingeniería Ensenada

Universidad Autónoma de Baja California

Km 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California. C.P. 22870

carmijo@uabc.mx, (646) 175-07-44 ext 129

2. Facultad de Ciencias Marinas

Universidad Autónoma de Baja California

Km 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California. C.P. 22870

agarcia@uabc.mx

RESUMEN

El manejo adecuado de los residuos sólidos en centros escolares y universidades requiere de la participación conjunta y sistemática de diferentes niveles dentro de la organización. Aunque los apoyos por parte de las autoridades universitarias son importantes, a través de diferentes experiencias se encontró que en la Universidad Autónoma de Baja California funcionan mejor los programas de manejo de residuos que no dependen del personal de la institución sino que están basados en el trabajo y esfuerzo de profesores y estudiantes. En este trabajo se presenta la experiencia de doce meses de haber iniciado un programa de manejo de papel y cartón en el campus Ensenada de la UABC. Se trabajó con las estrategias de comunicación para fomentar el comportamiento sustentable propuestas por McKenzie-Mohr y Smith (1999). A la fecha se han enviado para su reciclaje más de tres toneladas de papel y cartón. Se considera que las estrategias utilizadas en el programa son exitosas por la creciente respuesta y por la dedicación y empeño con la que participan los involucrados. En este trabajo se describen además las estrategias utilizadas para el almacenaje temporal y transporte de residuos en el campus así como la salida de los residuos de papel fuera de las instalaciones universitarias así como los planes de crecimiento del programa.

Palabras clave: Programa universitario, reciclaje; residuos sólidos urbanos.

INTRODUCCIÓN

Los problemas generados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos (RSU) son complejos ya que los residuos se originan en sectores diversos (comercial, institucional, público, de servicios, etc.), distribuidos heterogéneamente en las ciudades y con intereses y contextos de desempeño también diferentes. Esta diversidad hace que el manejo adecuado de los RSU se dificulte. Para hacer frente a la complejidad del manejo de RSU se han propuesto, y en algunos países desarrollados se han puesto en marcha, estrategias de manejo de residuos sectorizadas. De esta manera los generadores de RSU de un mismo sector, por ejemplo el de servicios hoteleros, se organizan y crean planes comunes de manejo de RSU que incluyen desde la segregación por tipo de residuos hasta el almacenaje temporal, transporte y reciclaje. De esta forma se comparte la responsabilidad del manejo de los residuos entre los generadores de un mismo sector. Para lograr hacer este tipo de planes de manejo sectorizados es necesario en primer lugar conocer los tipos de residuos que genera cada sector y las cantidades aproximadas de los mismos. Asimismo es necesario haber implantado programas piloto de manejo de residuos para de esta manera detectar fallas, corregirlas y agregar estrategias que pudieran funcionar.

En el caso de México, las escuelas, colegios y universidades representan al sector educativo, el cual genera RSU peculiares en su composición comparados con los residuos de casas habitación. Por ejemplo en las universidades el componente de papel y cartón representa entre el 20 y el 50% en peso del total de los residuos generados (Armijo *et. al*, 2008; Espinosa, *et. al*, 2008; Maldonado, 2006; Florida State University, 2004; Felder, *et. al*, 2001,) mientras que estos residuos generados en casa habitación representan entre el 11% y el 20 % (Buenrostro, 2001; Cortinas de Nava, 2001; Ojeda-Benítez *et. al*, 2000; Sedesol, 1999; Restrepo *et. al* 1991). Otro residuo que muestra diferencias importantes son los orgánicos, presentándose en las universidades en proporciones que van del 20% al 48% (Armijo *et. al*, 2008; Espinosa, *et. al*, 2008; Maldonado, 2006) mientras que en casas habitación estos residuos representan del 25 al 55% (Semarnat, 2005; Buenrostro, 2001; Ojeda-Benítez *et. al*, 2000; Semarnap, 1999; Sedesol, 1999). En este sentido es importante que antes de proponer planes sectorizados de manejo de RSU en el sector educativo, se conozcan las cantidades y características de los residuos que se generan en cada sector. De la misma manera es de suma importancia el contar con programas piloto de manejo de

residuos que permitan proponer prácticas probadas eficientes que faciliten el buen desempeño de planes de manejo de residuos.

El estudio que aquí se reporta tiene por objeto poner en marcha y evaluar el desempeño de un programa de separación de papel y cartón en el campus Ensenada de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) bajo la estrategia de mercadeo social propuesta por McKenzie-Mohr y Smith (1999). Se espera que con los resultados obtenidos en este programa se puedan proponer estrategias sectorizadas para colegios y universidades de la ciudad de Ensenada.

En el año 1998 en el campus Mexicali de la UABC se puso en marcha un programa de separación de papel bond. La idea, coordinación y monitoreo de este programa estuvo a cargo de autoridades administrativas del departamento de obras e infraestructura. Después de ocho meses de funcionamiento el programa fue suspendido debido a la falta de participación de la comunidad universitaria y a problemas con el personal de intendencia (Arroyo, 2008). Posteriormente en el año 2001 se propuso un nuevo programa de manejo de residuos en el que se pretendía separar papel, cartón, plásticos y metales. Por diferentes causas, este programa también desapareció después de dos años de su inicio (Armijo *et. al* 2003). Los programas mencionados tenían en común que ambos habían sido anunciados y promovidos por autoridades en altos puestos administrativos, aunque la idea original surgiera de personal sin cargo administrativo alguno. Otro elemento en común es que ambos programas dependían de la participación del personal de intendencia. Un último elemento compartido entre ambos programas fue la dependencia económica para la logística involucrada para la publicidad del programa y la compra de recipientes para separar reciclables.

Considerando las experiencias los programas anteriores fue que se decidió iniciar un programa piloto de separación de papel y cartón para su reciclaje pero bajo una aproximación diferente, bajo la perspectiva del mercadeo social o “social marketing” para fomentar las conductas hacia el reciclaje.

Los programas de reciclaje y de manera más general, los programas que promueven alternativas sustentables, requieren la participación de la gente. Sin un cambio en el comportamiento por parte de la comunidad, los programas fallarán. Teniendo el comportamiento un papel central para el éxito de los programas es sorprendente que se le ponga tan poca atención al elemento humano en los programas de reciclaje. Sin embargo, los coordinadores de programas de este tipo tienden a enfocarse en los aspectos técnicos tales como camiones para el transporte y la recolección, contenedores para almacenaje o

los procesos post-colecta. Además de esto, la mayoría de los programas tienden a apoyarse en los métodos tradicionales para impartir educación y aumentar la conciencia. Desafortunadamente, estas aproximaciones tienen limitaciones importantes que pueden llegar a producir un efecto de rechazo hacia los programas. Aunque la información y las campañas de sensibilización pueden aumentar positivamente las conciencia y cambiar las actitudes hacia un determinado comportamiento o problema, son poco efectivas creando cambios de comportamiento duraderos (Schultz, 2002).

El mercadeo social para fomentar las prácticas ambientalmente amigables como el reciclaje ha emergido como una alternativa a las campañas de información tradicionales (McKenzie-Mohr y Smith, 1999; Werder, 2005; Tabanico y Schultz, 2007; Ball, 2008). Es una aproximación única ya que incluye los principios básicos de la psicología con métodos aplicados de tal manera que brinda un marco de referencia para quienes necesitan promover cambios de conducta en diversos establecimientos. El mercadeo social inicia con la selección de un “comportamiento objetivo” y posteriormente utiliza un proceso de cuatro etapas para fomentar el cambio hacia el comportamiento sustentable. Las cuatro etapas son: 1) Identificación de las barreras que impiden que se presente el comportamiento objetivo, 2) Uso de herramientas de cambio de comportamiento para superar las barreras, 3) Monitoreo de las herramientas seleccionadas usando métodos empíricos de investigación, y 4) Evaluación del proyecto una vez que ha sido ampliamente implementado.

METODOLOGÍA

El programa piloto de separación de papel y cartón para su reciclaje que aquí se reporta tuvo lugar en la Campus Ensenada de la Universidad Autónoma de Baja California. La evaluación se realizó durante doce meses de enero a diciembre de 2008. Los pasos seguidos para poner en marcha el programa mencionado fueron los propuestos por McKenzie-Mohr and Smith (1999) que a continuación se describen con más detalle:

Identificar el comportamiento objetivo

La primera pregunta que debe responderse es esta etapa es ¿qué comportamientos deben ser promovidos? Frecuentemente es posible alcanzar un objetivo ambiental a través de diversas acciones. Aunque valga la pena fomentar todas esas acciones, no existen recursos suficientes para lograr todas. Decidir qué comportamientos promover debe basarse principalmente en una pregunta ¿cuál es el potencial de que una acción genere el cambio

deseado?. Para contestar esto se analizó a detalle cuál era el cambio deseado, éste análisis se hizo en base a las experiencias previas de manejo de residuos en la UABC y al contexto actual universitario.

La segunda pregunta que se debe responder en esta etapa es ¿a quién debe dirigirse el programa? Un programa exitoso debe enfocarse en aquellos individuos quienes están involucrados en el comportamiento objetivo. El mercadeo social efectivo debe identificar quién entre toda la gente, es más probable que cambie, dadas las barreras y beneficios que existen para que un comportamiento alternativo sea promovido.

Identificar las barreras para que el comportamiento objetivo tenga lugar

La investigación indica que cada forma de comportamiento sustentable tiene su propio grupo de barreras. Las barreras para un comportamiento sustentable pueden ser internas a un individuo, tales como la falta de conocimiento o ausencia de motivación. Por otro lado, las barreras pueden residir fuera del individuo, como por ejemplo cambios que deben hacerse para que el comportamiento sea más conveniente. Para detectar las barreras se siguieron tres pasos:

- 1) Revisión de literatura relevante: Se revisaron artículos y libros académicos sobre el comportamiento específico que se desea cambiar
- 2) Obtención de información cualitativa a través de entrevistas y observación: Se hicieron recorridos por las oficinas, pasillos y otros lugares en los que se genera papel y cartón para identificar las formas y características de la generación y desecho de los materiales en cuestión. Se entrevistó de manera informal a quince de los generadores (cinco secretarías, cinco profesores y cinco intendentes) para conocer el porqué manejaban esos residuos de esa manera y para saber si tenían algún conocimiento de las implicaciones de su comportamiento.
- 3) Aplicación de una encuesta. Se construyó, validó y aplicó una encuesta a 30 empleados elegidos al azar para identificar sus actitudes hacia el manejo de residuos, su disponibilidad para participar en un programa de separación de papel y cartón y sus preferencias sobre la forma de recibir información sobre el programa.

Usar herramientas de cambio para superar las barreras identificadas

El mercadeo social se fundamenta en investigación de las ciencias sociales, y particularmente en la psicología, que ha identificado una variedad de herramientas efectivas para promover el cambio de comportamiento. Estas herramientas suelen ser más

efectivas cuando se usan de manera combinada. Las herramientas que se usaron en este trabajo fueron las siguientes:

- 1) Compromiso: buscar el compromiso inicial de la gente generalmente altera la forma en que se perciben a ellos mismos y posteriormente resulta más sencillo involucrarse en una actividad que demanda más compromiso.
- 2) Recordatorios: Numerosos comportamientos que fomentan la sustentabilidad son susceptibles al olvido. Los recordatorios pueden ser muy efectivos en recordar el desarrollar estas actividades.
- 3) Comunicación: Los programas que desean fomentar el comportamiento sustentable incluyen un componente de comunicación importante. En este programa se siguieron los lineamientos propuestos por McKenzie-Mohr and Smith (1999) para la compañía de comunicación.
- 4) Incentivos: Aunque los incentivos han mostrado tener un impacto importante en una variedad de programas para fomentar la sustentabilidad incluyendo el reciclaje, en este programa no se incluyeron incentivos por la ausencia de apoyos para esto, sin embargo se planea utilizarlos en etapas posteriores.
- 5) Eliminación de barreras externas: Las estrategias para el cambio de comportamiento presentadas en esta metodología pueden tener una influencia significativa sobre la adopción y el mantenimiento de un comportamiento. Sin embargo éstas no serán efectivas si existen barreras externas significativas que impidan que el comportamiento buscado se presente.

Diseño y evaluación

Una vez identificadas y priorizadas las barreras se seleccionaron las herramientas de cambio que serían útiles en este programa. Se obtuvo retroalimentación de los participantes y posteriormente se arrancó el programa piloto en dos facultades. El programa piloto dejó correr por cuatro meses, se corrigieron algunas fallas y se amplió a todas las facultades del campus.

Para evaluar la eficacia de la campaña de comunicación e información se realizó una encuesta de siete reactivos con cinco puntos en la escala de Likert, donde 1 corresponde a estar en total desacuerdo, 3 corresponde a una posición neutral y 5 a una posición en la que se está totalmente de acuerdo con la frase. La encuesta se aplicó a 40 personas en dos tiempos diferentes, 1) después de tres meses de haber iniciado el programa, 2) a los 12 meses de haber iniciado el programa. Los reactivos de la encuesta fueron los siguientes:

- 1) Los residuos que genero son mi responsabilidad
- 2) La UABC es una institución que se preocupada por manejar adecuadamente sus residuos
- 3) El programa de separación de papel de la UABC fomenta una cultura de responsabilidad ambiental
- 4) Estoy dispuesto a participar activamente en el programa de manejo de papel y cartón de la UABC
- 5) Separar papel y cartón reciclables es fácil
- 6) Conozco la ubicación de los recipientes para separar papel y cartón
- 7) Estoy informado sobre los avances y cambios del programa de papel

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio se presentan en el mismo orden en que se describieron cada una de las etapas de la metodología.

Identificar el comportamiento objetivo

Ya que los programas anteriores de manejo de residuos en la UABC adolecían de una inadecuada separación de residuos se identificó como comportamiento objetivo a la separación adecuada del papel y el cartón. Por adecuado nos referimos a la separación de materiales que no incluya contaminantes ni que revuelva otros tipos de materiales más que los que se indican. Un segundo comportamiento objetivo fue la disposición del papel y el cartón en los recipientes destinados para depositar esos materiales. Esto se decidió así ya que en las experiencias previas de reciclaje en la UABC uno de los principales problemas fue que aunque los generadores de residuos conocieran bien el tipo de residuos que debían depositarse en cada recipiente la disposición la hacían de manera incorrecta.

La población objetivo a la que se dirigiría la campaña fue la de profesores y el personal administrativo. La participación de estudiantes se dio de manera indirecta. Esta decisión obedeció a que son estos dos grupos los que más papel y cartón generan en el campus y son quienes pueden ser monitoreados por más tiempo ya que los estudiantes permanecen menos tiempo en las instalaciones universitarias.

Identificar las barreras

La información encontrada en la literatura coincidió con los hallazgos de este estudio en cuanto a las barreras para realizar el cambio deseado, en la sección de discusión se mencionan éstas. En la tabla 1 se muestra una matriz simple en la que se exponen los

beneficios y barreras percibidas así como los comportamientos que entran en competencia con el comportamiento deseado encontrados durante las observaciones y entrevistas.

Tabla 1. Barreras percibidas y comportamientos en competencia.

	Nuevo comportamiento	Comportamiento 1 en competencia	Comportamiento 2 en competencia
Beneficios percibidos	Separación correcta de materiales	Tirar materiales revueltos	Avienta los residuos desde su lugar
	Depósito de materiales en contenedores	Todo se tira en un solo contenedor	No es necesario desplazarse
Barreras percibidas	Falta de tiempo	No sabe distinguir entre tipos de materiales.	Evitar realizar un esfuerzo físico
	Ausencia de contenedores	No se requiere de más espacio ni contenedores	No se requiere de tiempo, espacio ni contenedores extra.
	Falta de espacio		

Los resultados mostrados en la tabla 1 son las barreras mencionadas con mayor frecuencia en las entrevistas. (Dhale & Neumayer, 2001; Clugston and Calder, 1999; Keniry, 1995). Por lo que se puede observar que las estrategias que se propongan deberán estar orientadas a facilitar el proceso de separación de materiales y facilitar también su depósito. Para lograr esto se ubicaron dos tipos de sitios para separar materiales: 1) sitios primarios y 2) sitios secundarios de disposición temporal. Los sitios primarios consistieron de cajas tipo Gaylor con capacidad de 1.90m³, cuya intención es almacenar cantidades grandes de papel y cartón (Figura 1). Estas cajas se ubicaron en sitios protegidos de la lluvia pero que fueran accesibles para el depósito de materiales y para las maniobras de recolección por parte de la compañía que se llevaría los materiales separados.



Figura 1. Cajas de separación primaria de papel y cartón.

Los puntos secundarios de disposición se ubicaron cerca de los puntos de generación de papel y cartón, principalmente dentro de oficinas o en pasillos de grupos de oficinas. Por ejemplo para grupos de cubículos se ubicó una caja mediana en el pasillo (Figura 2). Si los profesores así lo deseaban también se ubicaron cajas en cada cubículo (Figura 2b), de manera que no tuvieran que desplazarse para depositar los materiales. Esto solamente se hizo en los casos en los que la caja para papel no representaba un problema de espacio en la oficina.

a



b



Figura 2. Depósitos secundarios ubicados en pasillos (a) y cubículos respectivamente (b).

La recolección del papel de los depósitos secundarios se llevó a cabo por parte de estudiantes prestadores de servicio social. De esta manera las barreras mencionadas por el personal académico y administrativo se verían superadas.

Cada vez que se llenaron los depósitos primarios se hacía una llamada a la compañía recolectora, a las 24 horas de haber realizado la llamada la compañía se presentaba en el campus a recoger los materiales separados.

Uso de herramientas de cambio para superar barreras

En este estudio se utilizaron las siguientes herramientas:

- Se enfatizaron compromisos verbales en las diferentes oficinas, se buscó el compromiso en grupos, se involucró activamente a las personas participantes, se ayudó a la gente a verse a sí mismos como ambientalmente responsables, no se usó la coerción. Esto se hizo en 26 oficinas administrativas y en las seis unidades académicas del campus.

- Se utilizaron recordatorios visuales tanto en letreros como en correo electrónico. Los letreros se manejaron de manera constante mientras que los mensajes por correo electrónico se hicieron dos veces por semestre. El mensaje en los recordatorios fue principalmente para informar sobre los materiales que podían disponerse en las cajas de separación y sobre la ubicación de los depósitos primarios y secundarios.
- El sistema de comunicación utilizado fue el correo electrónico ya que es un medio que llega de manera masiva e inmediata a toda la población del campus. La información que se proporcionó en estos mensaje fue la cantidad de materiales separados hasta la fecha, se explicaba brevemente en qué consistía el programa y se agradecía la participación de de todos. Gracias a este tipo de mensajes más personas se enteraron del programa y hubo varias adiciones de participantes.
- La eliminación de barreras externas consistió en la ubicación conveniente de contenedores primarios y secundarios y en la recolección por parte de estudiantes de los materiales en los depósitos secundarios. De esta manera los usuarios no tendría que realizar más que la separación correcta y los estudiantes se encargarían de la recolección en el sitio de generación.

Evaluación

De manera semanal los prestadores de servicio social entregaron un informe en el que reportaban si el uso de los contenedores se había realizado de manera adecuada, estados de los depósitos, quejas y número de asesorías que habían dado sobre la utilización de los contenedores. Por otro lado se estuvo monitoreando las cantidades de reciclables que se entregaron a la compañía. En la figura 4 se muestran las cantidades generadas hasta la fecha. En total en el periodo de 12 meses evaluado se entregaron 3,248 kilogramos de papel y cartón.

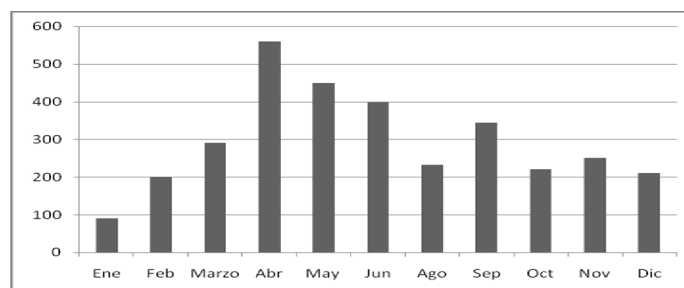


Figura 4. Cantidades de papel y cartón generadas en un periodo de doce meses.

Como se puede apreciar en la figura 4 fue en el mes de abril en el que se presentó una mayor generación de papel y cartón, esto se debió a que en una de las facultades se hizo una campaña muy intensa para que los profesores limpiaran sus cubículos y sacaran todo el papel que tuvieran acumulado. El efecto de esa campaña se noto todavía en los dos meses siguientes. El mes de julio no reporta resultados ya que fue la temporada de vacaciones y la generación fue mínima en ese periodo. La más baja generación se presentó en el mes de enero ya que en ese mes estaba funcionando solamente el programa piloto en una de las facultades, a partir de febrero fueron dos las facultades participantes. En el mes de mayo el programa se extendió a todo el campus.

Cabe hacer mención que las cantidades reportadas son las informadas por la compañía ya que en el campus no contábamos con equipo para pesar los materiales separados. Ya que el acopio y la recolección de estos materiales se hicieron en un solo contenedor, no se llevó registro por separado de las cantidades de papel y cartón generadas.

Es importante hacer mención también que debido a los resultados obtenidos con el papel y cartón y a la petición de muchos de los participantes se decidió incorporar la separación de plásticos. Se inició en una facultad, después de echar a andar el programa piloto durante tres meses se incluyó a una facultad más.

Para evaluar la eficacia de la campaña de comunicación e información se realizó una encuesta después de tres meses de haber iniciado el programa, la misma encuesta se aplicó a los 12 meses. En la figura 5 se muestran los resultados.

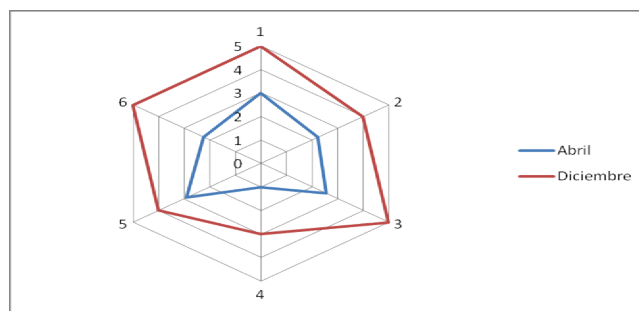


Figura 5. Resultados de la aplicación de la encuesta en dos tiempos diferentes.

Como se puede apreciar en la figura 5 hubo un cambio de percepción sobre la información del programa. Cuando se aplicó la encuesta por primera vez (línea azul) los valores eran muy bajos, sobre todo en lo referente a la participación en el programa (reactivo 4). En general se puede decir que cambió la percepción de los participantes respecto a las responsabilidades que tienen como generadores de residuos. Asimismo se vio un cambio en

cuento a la opinión que tienen de la UABC como institución preocupada por manejar adecuadamente sus residuos.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados presentados se puede concluir que el programa de separación de papel y cartón en la UABC fue exitoso. El enfoque de mercadeo social fue el adecuado para iniciar este programa ya que se centra en las personas y en facilitar el camino para realizar un cambio deseado y no en la coerción, ni en las campañas de miedo que tienen efectos a corto plazo.

El facilitar el camino de manera inicial es positivo porque de esta manera la gente se “engancha” fácilmente. Sin embargo es necesario también buscar estrategias que busquen responsabilizar más a la comunidad universitaria sobre el manejo adecuado de los residuos. El programa de papel y cartón de la UABC es solo el inicio de un programa de manejo integral de residuos sólidos. Antes de incluir más residuos se deben monitorear las cantidades generadas y llevar un registro por separado del papel y el cartón y de los puntos en los que se están generando, esto con el objeto de tener indicadores más puntuales sobre el avance del programa.

REFERENCIAS

- Armijo de Vega, C.; Ojeda-Benítez, S.; and Ramírez-Barreto, Ma. E. (2003). Mexican educational institutions and waste management programmes: a University case study. *Resour. Conserv. and Recycl.* **39**: 283-296.
- Armijo de Vega, C.; Ojeda-Benítez, S.; and Ramírez-Barreto, Ma. E. (2008). Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management* **28** (1): S21-S26.
- Arroyo, V. (2008). Universidad Autónoma de Baja California. Comunicación personal.
- Ball, S.E. (2008). *Social marketing as a means to influence student behavior towards energy conservation*. M.Sc. Thesis. University of Mary Washington, USA.
- Dhale, M. and Neumayer, E. (2001). Overcoming barriers to campus greening. *Int. Jour. Of Sustainability in Higher Educ.* **2**: 139-160.
- Espinosa, R.M., Turpin, S.; Polanco, G.; De la Torre, A.; Delfin, I.; and Raygoza, I. (2008) Integral urban solid waste management program in a Mexican university. *Waste Management* **28** (1): S27 –S32.
- Keniry, J. 1995. *Ecodemia: campus environmental stewardship at the turn of the 21st Century*. National Wildlife Federation, Washington, D.C. pp. 135-158.
- McKenzie-Mohr, D. and Smith, W. (1999). *Fostering sustainable development*. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada. Pp. 71–116.
- Semarnap – INE (1999). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. 1^a Ed. Instituto Nacional de Ecología, México D.F. pp. 78–85.
- Tabanico, J. and P. W. Schultz. (2007). People aspect of recycling programs: community based social marketing. *BioCycle*: 41–44.
- Werder, O. (2005). Influences on the recycling behavior of young adults: avenues for social marketing campaigns. In: *Environmental Communication Yearbook*. Lawrence Earlbaum Associates, New York. Pp. 77-96.

LAMINAS DE CARTON A PARTIR DEL RECICLAJE

Elizabeth Ramón García ¹, Mario José Romellón Cerino ²

**1. Departamento de Química-Bioquímica-Ambiental
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
bioleliza_ramgar@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

**2. Departamento de Química-Bioquímica-Ambiental
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
mjrcerino@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

RESUMEN

Día a día se consumen productos que provocan la generación de más basura y su manejo demanda acciones de recolección, limpieza, transferencia y tratamiento porque cada vez existen menos lugares para su disposición final. Y al elaborar láminas de cartón a partir del reciclaje de papel y cartón de desecho en el Estado de Tabasco ayudaría a la disminución de los residuos sólidos. En las instalaciones del Instituto Tecnológico de Villahermosa se llevaron a cabo los procesos de clasificación y separación del papel y cartón, posteriormente se inicio el proceso mecánico el cual consistió en 6 pasos para la elaboración de la pasta de papel y cartón reciclado, la cual se analizó en laboratorio. En los resultados obtenidos se obtuvo una humedad inicial del 94% que disminuye en un 93.6% al continuarse refinando la pasta y de esta manera se obtiene una pasta con la consistencia requerida para poder formar una lámina de cartón que al secarse tenga la rigidez necesaria de acuerdo al uso que se le desee dar. La cantidad de cenizas al final del proceso fue del 2.56%, y los estándares oscilan entre 2 y 5%. Por lo tanto los residuos no deben ser eliminados sino reciclados.

Palabras clave: cartón, láminas, papel, reciclaje.

INTRODUCCION

La gran cantidad de residuos sólidos que se vierten anualmente en los basureros municipales, en todas partes del mundo, está creando serios problemas sobre todo cuando llega el momento de deshacernos de ellos porque si se queman contaminan el aire, si se entierran impactan en el suelo y si se desechan en ríos, mares y lagos causan graves problemas de salud a las

poblaciones que usan estas aguas. Día a día se consumen más productos que provocan la generación de más residuos y cuyo manejo demanda acciones en materia de recolección, limpieza, transferencia y tratamiento, porque cada vez existen menos lugares para su disposición final. En el Estado de Tabasco este problema se ha incrementado con el paso de los años sin que se le dé la debida importancia por lo que es necesario encontrar una solución para el mismo. El principal problema que se busca resolver a través de este proyecto, es la acumulación de los desechos sólidos que contaminan los suelos, el agua y la atmósfera en la ciudad de Villahermosa, Tabasco. El problema de la contaminación del agua, se ve favorecido, porque los procesos de reciclaje de papel no requieren de tantos agentes químicos y el agua es reutilizada varias veces durante el proceso. Así mismo el problema de la contaminación atmosférica disminuiría y se evitaría la quema de grandes volúmenes de papel y cartón de desecho.

METODOLOGÍA

El proceso de reciclado comenzó con la clasificación del papel recuperado, este primer paso es importante porque antes de iniciar el reciclaje el papel debe separarse según sus calidades para que la materia prima no contenga tipos de papel que no puedan reciclarse u otros materiales extraños que perjudiquen el proceso de reciclado. El proceso mecánico por el cual se obtuvo la pasta de papel y cartón reciclado, consistió de seis pasos. **Primer paso: Hidratación.** Una vez clasificada la materia prima, fue necesario prepararla para iniciar el proceso de la elaboración de la pulpa. Por lo tanto, el papel y cartón previamente seleccionados fueron depositados en un tanque de 80 litros para hidratarlos y de esta manera se provoco la hinchazón de las fibras y se redujeron los efectos de productos, tales como el almidón y el encolado y se redujo la rigidez de los desechos y se procesaron adecuadamente. **Segundo paso: Batido.** Después de la hidratación los diferentes materiales fueron mezclados, triturados, para separar las fibras de celulosa, y batidos hasta que presentaron una consistencia homogénea. **Tercer y cuarto paso: Lavado y Refinado.** Una vez que las fibras de los materiales fueron molidas y mezcladas, se procedió a lavar la pasta para eliminar el exceso de tinta y materiales. Posteriormente se agregó agua limpia a la pasta y se trituró una vez más para lograr el refinado de las fibras. **Quinto y sexto paso: Formación y Secado.** Para la formación de las láminas de cartón la pulpa que se obtuvo del refinado se deposito en un contenedor con una capacidad de 400 litros

y con el molde formador se elaboraron las láminas de cartón una a una. El exceso de agua de las láminas se eliminó mediante el prensado y el secado de las mismas mediante exposición solar durante 30 horas. Los análisis preliminares en laboratorio realizados a la pasta fueron los siguientes: Determinación de humedad por el método de destilación de Bidwell-Sterling y secado en estufa, determinación de cenizas en mufla, determinación de porosidad con xileno (80 ml en probeta graduada), determinación de resistencia a la tensión y al rasgado con el probador digital de rasgado Elmendorf.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados comparativos de los análisis.

Propiedades de la pasta (papel y cartón reciclado)	Pulpa Hidratada y Batida	Pasta Refinada	Lámina de material reciclado	Requerimientos Estándares para la lámina de cartón
Humedad (Estufa)	94%	93.6%	7.1%	De 6% a 7%
Humedad (Destilación)	98%	91%	6%	
Cenizas	5.5%	36.84%	2.56%	De 2% a 5%
Porosidad	*	*	65.27%	Hasta 70%

A partir de los resultados obtenidos por los análisis realizados a la pulpa y pasta de papel y cartón, podemos ver que desde el inicio del proceso de elaboración, una pequeña cantidad de fibras (5.5% de cenizas) le da a la pulpa la consistencia acuosa que facilita su separación, provenientes de los diferentes materiales involucrados en su elaboración y promueve el transporte de la materia a través de todo el proceso. Como se puede apreciar en los resultados obtenidos existe una gran cantidad de humedad (94%) que disminuye al continuarse refinando la pasta (93.6%), de esta manera se obtiene una pasta con la consistencia requerida para formar una lamina de cartón que al secarse tenga la rigidez necesaria de acuerdo al uso que se le dará. Datos estándares recomiendan que al final del proceso, la cantidad de cenizas en la lámina de cartón debe oscilar entre un 2 y 5%.

La cantidad de humedad que tiene la pasta de papel y cartón reciclado es importante, los requerimientos estándares determinan que para que una lámina de cartón tenga las propiedades

que se requieren para el manejo apropiado de la lámina en el formado de las cajas, no debe pasarse de los rangos establecidos, es decir, que la variación de humedad no sea menor de 6% a 7%. El contenido de humedad en la pasta también afectara el resultado final de la lámina, porque si se elabora una lámina con una pasta muy acuosa las fibras de celulosa no pueden formar enlaces fuertes y al ir perdiendo humedad la pasta, estas fibras cambian de posición y se acumulan formando grumos y arrugas en el cartón. Además de las diferencias que se aprecian en el terminado de una lámina de cartón que ha sido prensada y una lámina de cartón que no ha sido prensada, existen también otras diferencias que afectan el rendimiento de estos productos. Una lámina de cartón no prensada, presenta visibles arrugas y grumos en su superficie ocasionados por el recogimiento de las fibras al desaparecer la humedad de la pasta; estos grumos o acumulaciones de fibras, provocan un aumento en el peso y disminución de la resistencia y rigidez del material. También afecta la resistencia de las mismas porque los grumos y deformaciones forman pequeños huecos y espacios de aire entre las fibras que aumentan su nivel de porosidad, haciéndola relativamente mayor que la de una lámina prensada (65.27%). Por otro lado, las láminas de cartón prensadas, presentan una visible diferencia en su terminado porque a diferencia de las otras estas no presentan irregularidades ni deformaciones en su superficie, lo que indica un mejor arreglo de las fibras dándole así una mayor fuerza, resistencia y rigidez para su manejo. Este aumento de porosidad ocasiona que el producto ocupe un mayor espacio y consecuentemente disminuyan las fuerzas de sus propiedades mecánicas debido a la débil formación de enlaces entre las fibras. La bibliografía establece que la porosidad estándar permitida al papel y cartón puede ser de hasta un 70%.

CONCLUSIONES

Los habitantes urbanos actuales, en todas sus actividades eliminan una enorme cantidad de residuos. Como consecuencia de la explosión demográfica y las nuevas conquistas tecnológicas, se ha producido un incremento muy significativo en la cantidad total de residuos domiciliarios, agropecuarios, industriales y otros. En el Estado de Tabasco se generan residuos que contienen en promedio 45% de materia orgánica; 32.95% de papel y cartón; 9.39% de vidrio; 4.41% de metales; 8.25% de plásticos y el resto corresponde a materiales de todos tipos. En conclusión el proceso de reciclado a diferencia de los convencionales que procesan la madera para extraer la celulosa, resultan más baratos y de menor impacto ambiental, porque

la materia prima está formada de celulosa y por lo tanto la transformación de papel a pulpa requiere de menos procesos y energía, lo que conlleva a un gasto menor en términos económicos. La solución a estos problemas o su disminución reside en la aceptación de que los residuos no deben ser eliminados sino reciclados. Es decir, cambiar nuestros hábitos de usar y tirar por los de usar, reutilizar y reciclar.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Villahermosa y en especial a los Laboratorios de Fisicoquímica y Química Cualitativa y Cuantitativa.

REFERENCIAS

- Andrade, T. J.(2003). *Guía para la realización de proyectos de investigación*. UJAT. Villahermosa, Tabasco. 90 p. Número de Registro: 97751-1996.
- Asenjo, M. (1979). *El papel y su fabricación*. INLE. España. 580 p.
- Ayres, G. H. (1970). *Análisis Químico Cuantitativo*. Harla. México. 740 p.
- Casey, J. P. (1990). *Pulpa y papel Química y Tecnología Química*. V. I. Limusa. México. 950 p.
- Casey, J. P. (1990). *Pulpa y papel Química y Tecnología Química*. V. II. Limusa. México. 757 p.
- SEMARNAT. (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. México, D.F. 235 p. ISBN: 968-817-497-1.

SEPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE LOS PRODUCTOS DE LA FERMENTACIÓN LÁCTICA DE LOS RESIDUOS DEL CAMARÓN

Adan-Bante N. P., López-Cervantes J., Bueno-Solano C., Campas-Baypoli O. N., Sánchez-Machado D.I.*

Cuerpo Académico de Biotecnología y Productos Naturales del Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 Sur, CP 85000, Cd. Obregón, Sonora, México. *E-mail: dsanchez@itson.mx

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue optimizar la fermentación láctica de los residuos de camarón para facilitar la separación de productos tales como quitina, hidrolizados proteicos y pasta lipídica pigmentada. Para la caracterización bioquímica de los productos del fermentado se evaluó el perfil de aminoácidos y ácidos grasos, así como también cenizas, proteínas y lípidos totales. El pH y la acidez total titulable fueron monitoreados durante la fermentación. La quitina cruda fue desproteinizada y desmineralizada obteniéndose quitina pura. El perfil de aminoácidos y glucosamina en quitina fueron determinados simultáneamente por HPLC. La astaxantina y los ácidos grasos fueron determinados en la pasta lipídica. Los rendimientos obtenidos fueron 10% en quitina cruda y 59% del hidrolizado proteico. Los aminoácidos presentes en los productos del fermentado están en el rango de 140 a 394 mg/g. El grado de pureza de la quitina cruda y purificada, expresados en base al contenido de glucosamina, fue de 59 y 92%, respectivamente. El contenido de proteína en el hidrolizado fue 42%, mientras que el contenido de proteína y cenizas en quitina cruda fueron 18% y 4%, respectivamente. En la pasta lipídica el contenido de lípidos y astaxantina fueron 42% y 1.35 mg/g, respectivamente. Este estudio ha permitido identificar el potencial de la fermentación láctica para obtener productos de alto valor agregado a partir de los residuos generados por las plantas procesadoras de camarón.

Palabras clave: Camarón; fermentación láctica; hidrolizados proteicos; quitina; residuos industriales.

INTRODUCCIÓN

El camarón en México se constituye como el producto principal al captar el 44 % del valor de la producción pesquera nacional (SAGARPA, 2005). Sin embargo, es generador de residuos sólidos constituidos por cabeza y caparazón, correspondientes al 45% del peso del animal (Armenta-López y cols., 2002). Los residuos de camarón son ricos en productos de

alto valor agregado como quitina, proteína, lípidos, pigmentos carotenoides y minerales (Agullo y cols., 2003). Se han propuestos métodos químicos empleando ácidos y álcalis para la extracción de quitina y recuperación de hidrolizados proteicos, pero esto puede ocasionar depolimerización y desacetilación parcial de la quitina; además, los tratamientos químicos son generadores de problemas ecológicos y sus desechos requieren de una neutralización para su eliminación (Synowiecki y Al-Khateeb, 2003). También, se han desarrollado métodos enzimáticos para la extracción de quitina, proteínas y pigmentos. En diferentes investigaciones se ha reportado el uso de enzimas microbianas comerciales tales como alcalasa y neutrasa para la extracción de proteínas de los residuos de camarón (Synowiecki y Al-Khateeb, 2000). Duarte y Netto (2006) reportaron el uso de alcalasa y pancreasa para la extracción de quitina, hidrolizado proteico y pigmentos lipídicos. Armenta-López y cols., (2002) estudiaron la recuperación de astaxantina combinando la fermentación ácido láctica y una hidrólisis enzimática con la finalidad de estabilizar los residuos de camarón especialmente la estructura de la astaxantina. La fermentación ácido láctica de los residuos de camarón ha sido reportado como una alternativa para el tratamiento de estos desechos por ser un método amigable al medio ambiente y económico, facilitando la separación de quitina, proteínas, lípidos y minerales (Shirai y cols., 2001). El objetivo de este estudio fue optimizar la fermentación láctica de los residuos de camarón para facilitar la separación de productos tales como quitina, hidrolizados proteicos y pasta lipídica pigmentada.

METODOLOGÍA

Todas las soluciones fueron preparadas con agua purificada con un sistema Milli-Q (Nano pure Diamond, Barnstead), FMOC-Cl (9-fluorenil metil clorofornato), hidroxilamina 0.5M, 2-metiltoetanol (Sigma, St. Louis, MO, USA), acetonitrilo (EMD Chemicals Inc. Darmstadt, Germany, Grado HPLC), metanol (TEDIA company, Inc., Fairfield Oh, Grado HPLC). Los estándares de los 16 aminoácidos (ácido aspártico, ácido glutámico, serina, histidina, glicina, treonina, alanina, prolina, tirosina, arginina, valina, metionina, isoleucina, leucina, fenilalanina y lisina) fueron adquiridos de Sigma (Saint Louis, Missouri, USA), estándares de ácidos grasos (FAME Mix C8-C22 y PUFA No. 3,

SUPELCO, Bellefonte, Pennsylvania, USA). Todos los demás químicos empleados en este trabajo fueron de grado analítico y disponible en el mercado.

Condiciones de fermentación de los residuos de camarón

El desarrollo del método fue propuesto por López-Cervantes y cols., 2006a. El probiótico comercial fue activado a una concentración del 5% en una solución de sacarosa y se incubó a 37°C (Fisher Scientific, Modelo 500). Los residuos de cabeza de camarón molidos y descongelados (1.5 Kg.) se colocaron en frascos de polietileno con capacidad de 2 Kg, se les adicionó 6.6% de sacarosa comercial (p/p) y el probiótico previamente activado 50% (v/p). A la mezcla se ajustó el pH por debajo de 6.5 con ácido cítrico 2M durante las primeras tres horas. Las muestras fueron incubadas con agitación a 80 rpm, 36°C durante 24 horas (Lab-Line Instruments INC., Melrose Park, Illinois). El pH y el porcentaje de acidez total titulable (%ATT) fueron monitoreados por 24 horas, hasta obtener un pH por debajo de 4.5 y una acidez titulable de 3.5%. El ensilado fue centrifugado (6°C) a 1250 rpm por 15 minutos (Harrier 18/80, Sanyo, UK), obteniéndose una fracción quitinosa (sedimento), un líquido hidrolizado rico en proteínas y una fracción lipídica (sobrenadante). Los productos obtenidos fueron almacenados en frascos de vidrio para su posterior uso (figura 1).

Purificación de quitina cruda

La quitina cruda fue despigmentada con una mezcla de ácidos orgánicos consistente en éter de petróleo-acetona-agua; posteriormente, desproteïnizada con una enzimas comercial (0.15% p/p, Takabate 380); desmineralizada con ácido clorhídrico 1N; finalmente, blanqueada con una solución de hipoclorito de sodio de acuerdo al método de López-Cervantes y cols., 2007.

Perfil de aminoácidos y glucosamina

El perfil de aminoácidos en las cuatro fracciones, y la contenido de glucosamina en quitina fueron determinados por HPLC con el método de López-Cervantes y cols. (2006a). Se utilizó un sistema HPLC (GBC, Dandenong, Australia) equipado con autoinyector LC1650, desgasificador de solventes LC1460, bomba cuaternaria LC1150, detector de fluorescencia LC1255S y sistema WinChrom de análisis de datos cromatográficos. Las condiciones HPLC empleadas fueron las siguientes: fase móvil A: fosfato de amonio 30 mM (pH 6.5) en 15:85 (v/v) de metanol-agua; fase móvil B: 15:85 (v/v) de metanol-agua;

fase móvil C: 90:10 (v/v) acetonitrilo-agua. La velocidad de flujo fue 1.1 ml/min y la columna se mantuvo a 38°C. Para la detección por fluorescencia fue a 270 y 316 nm para excitación y de emisión de, respectivamente. El tiempo total de la corrida fue de 50 min.

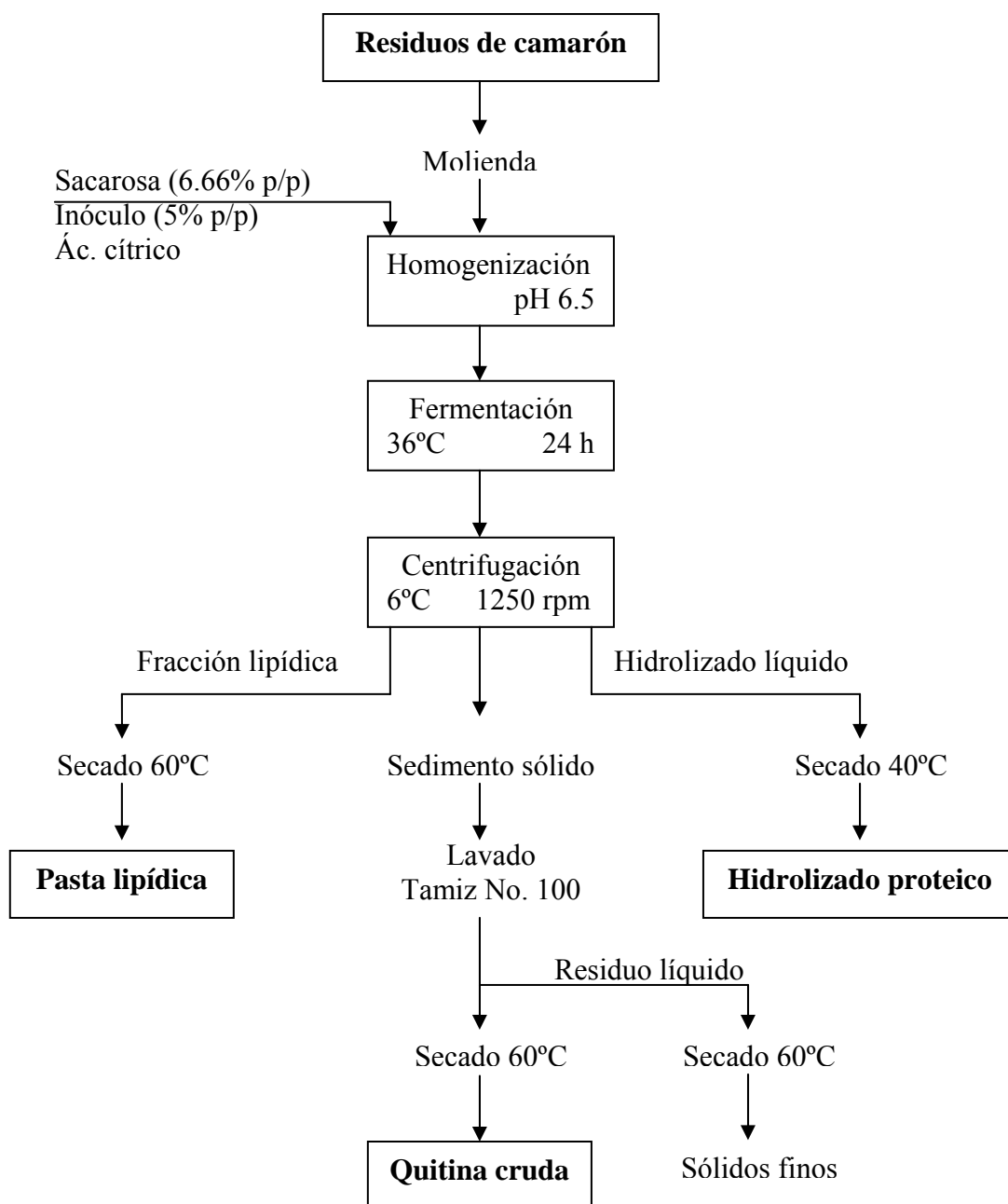


Figura 1. Condiciones óptimas de fermentación láctica y separación de los productos

Cuantificación de astaxantina

En la pasta lipídica se cuantificó astaxantina mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) de acuerdo al método de López-Cervantes y cols., 2006b. Las condiciones cromatográficas para la separación de astaxantina fueron: columna C₁₈ (25cm

x 4.6 mm), fase móvil (agua:metanol:diclorometano:acetonitrilo 4.5:28:22:45.5 v/v/v/v), velocidad 1.0 ml/min a 25°C y una longitud de onda de 476 nm.

Perfil de ácidos grasos

El análisis de ácidos grasos (AG) en la pasta lipídica se determinó mediante cromatografía de gases en forma de metilésteres (ME) por el método de Sánchez-Machado y cols., 2004. El equipo utilizado fue un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama, una columna capilar CP-Sil 5 CB (15 m x 0.25 mm) y un autoinyector (CP-8410, VARIAN, Palo Alto, California, USA). Se inyectaron 3 µl, la temperatura del inyector fue 250°C, la relación de partición fue 100:100, se utilizó helio como gas acarreador y la temperatura del detector se mantuvo a 270°C. El régimen de temperatura en el horno de la columna fue: 110°C por 1 min, seguido por un gradiente de 3°C/min hasta 240°C, luego se mantuvo en esta última durante 15 min. Los picos de los AGME se identificaron mediante una comparación de sus tiempos de retención con una mezcla de estándares y el área de los picos fue cuantificada usando el software Galaxy Workstation (VARIAN, Palo Alto, California, USA).

Análisis generales

Los valores de pH fueron medidos usando un potenciómetro Corning modelo 340 (Corning, NY. USA) y el % de acidez total titulable (% ATT) fue expresado como % ácido láctico, tal como lo reportó Armenta y cols., (2002). Proteínas por Kjeldahl (contenido de nitrógeno multiplicado por 6.25), humedad, y cenizas por el método AOAC (1995). Para determinar el contenido de lípidos totales las muestras fueron extraídas con una mezcla de cloroformo-metanol (2:1, v/v) por el método Sánchez-Machado y cols., (2004).

Análisis estadísticos

Se realizaron tres experimentos con su duplicado y los análisis fueron determinados por triplicado. Los datos presentados son la media \pm su desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de las condiciones óptimas de la fermentación de los residuos de cabeza de camarón está reflejado en los valores del pH y %ATT. Inicialmente los residuos de cabeza de camarón presentaron un pH 7.31 ± 0.10 y un %ATT 0.54 ± 0.13 , por ello, fue necesario

acidificar las muestras por abajo de 6.5. Se presento un incremento de pH a 7.11 ± 0.23 y %ATT 0.53 ± 0.09 alrededor de la segunda hora ajustando nuevamente las condiciones de pH, seguido de una reducción significativa del pH como resultado de la producción de ácido láctico por las bacterias presentes en el probiótico, y al mismo tiempo se incrementaron los valores del %ATT durante la fermentación. Con lo anterior logro el desarrollo óptimo de las bacterias presentes en el probiótico e inhibir el crecimiento de otros. La rápida disminución de pH fue un indicador de la eficiencia del proceso, debido a la presencia bacteriana que convierte la fuente de carbono en ácido láctico (Shirai y cols., 2001; Beaney y cols., 2005). Los resultados de pH y %ATT a las 24 h son similares a los reportados por Shirai y cols., (2001). El fermentado obtenido de los residuos de camarón a las 24 h fue centrifugado para facilitar la mayor recuperación de los productos por diferencia de densidad (López-Cervantes y cols., 2006a), el rendimiento de cada uno fue reportado en base húmeda (figura 2). Los resultados muestran que la fracción más abundante es el hidrolizado proteico.

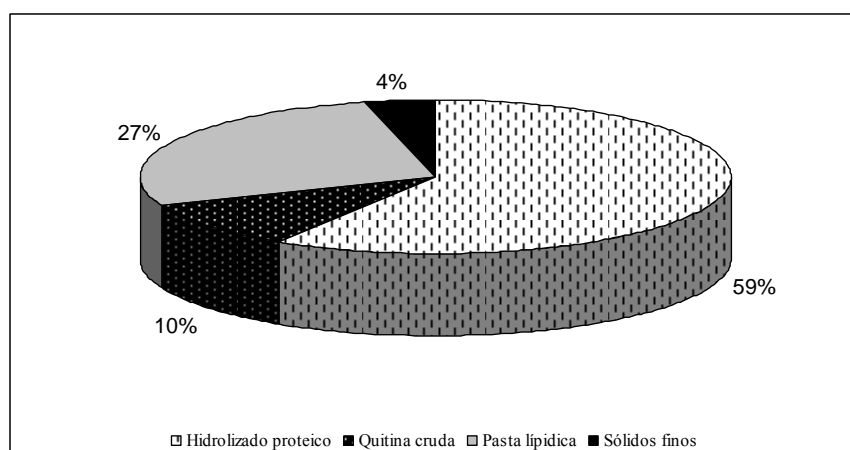


Figura 2: Rendimiento del producto fermentado a partir del residuo de camarón

Determinación del perfil de aminoácidos

Los aminoácidos presentes en los productos finales del fermentado se presentaron en un rango de 140 a 394 mg/g de materia seca (figura 3). Los aminoácidos totales en el hidrolizado proteico fueron de 394 mg/g de materia seca y en esta fracción los aminoácidos esenciales representaron el 52.53% del total de los aminoácidos. Los aminoácidos totales en quitina cruda, pasta lipídica y sólidos finos fueron de 140, 268 y 255 mg/g de materia seca, respectivamente.

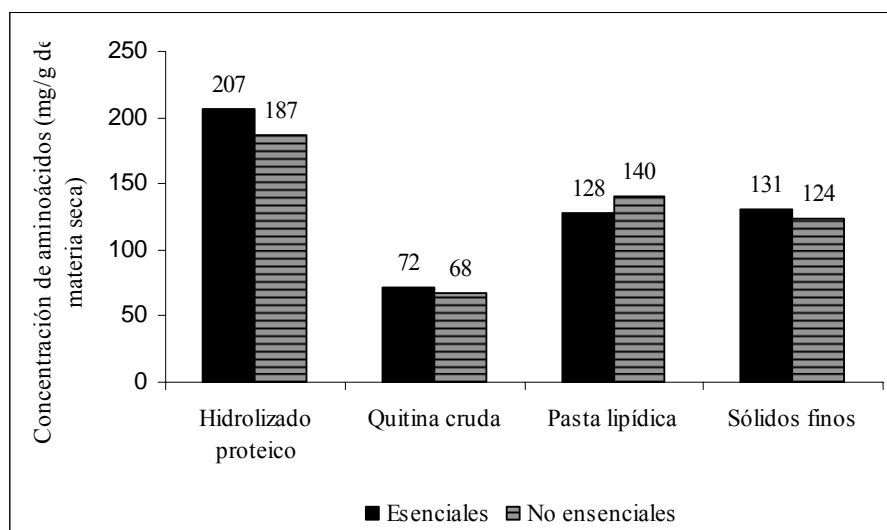


Figura 3: Perfil de aminoácidos contenidos en los productos fermentados

El contenido total de aminoácidos mostró que el hidrolizado proteico contiene la mayor cantidad de aminoácidos y estos resultados son similares a los reportados en hidrolizados proteicos de residuos de camarón producidos con proteasas comerciales (Gilberg y Stenberg, 2001). La presencia de aminoácidos esenciales en los hidrolizados proteicos indica un alto valor nutricional y pueden ser usados como suplementos para consumo animal y para la industria acuícola (Cremades y cols., 2001). Otra característica importante del hidrolizado proteico es la presencia de alanina, arginina, glicina, ácido glutámico, prolina y particularmente metionina, que influyen en sabor y olor (López-Cervantes y cols., 2006a). La presencia de aminoácidos en quitina cruda, pasta lipídica y sólidos finos puede deberse al proceso fermentativo en el que ocurrieron simultáneamente dos efectos una desproteización y desmineralización rompiendo el complejo quitina-proteína (Chang and Tsai 1997), produciéndose quitina parcialmente purificada y la liberación de astaxantina, ácidos grasos y minerales (Guillou y cols., 1995).

Cuantificación de glucosamina

La figura 4 muestra un cromatograma del HPLC en quitina cruda indicando la presencia de aminoácidos y una región sombreada correspondiente a la señal de la glucosamina. El contenido de glucosamina en quitina cruda se presentó en un rango de 516, 619 y 640 mg/g de materia seca. La media de glucosamina determinada en el presente estudio fue de 591 mg/g de materia seca, lo que corresponde a un 59.1% de pureza. El contenido de

glucosamina representa la calidad de la quitina, por ello la quitina cruda obtenida requiere de un proceso extra de purificación. En la quitina purificada el contenido de glucosamina esta en el rango de 980.7 a 996.8 mg/g de materia seca (95.24% de pureza), estos valores son similares a los reportados por Zhu y cols., (2005) obtenidos a partir de los residuos de cangrejo.

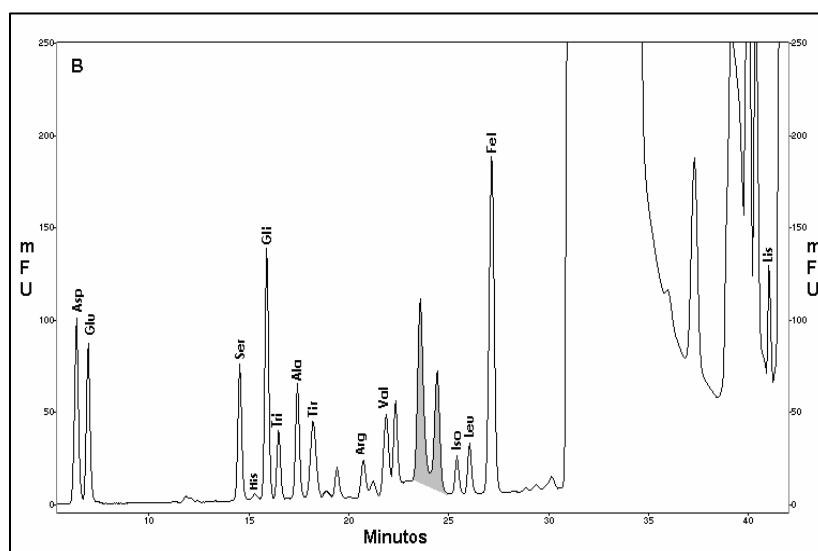


Figura 4: Cromatograma del HPLC en quitina cruda

Determinación de astaxantina

El contenido de astaxantina se determinó en la pasta lipídica, encontrándose que los rangos fueron de 1.91 a 3.16 mg/g de materia seca, mientras que el valor promedio global fue de 2.65 ± 0.40 mg/g de materia seca. En relación a esto, se ha reportado 4.2 mg/g de materia seca en residuos de camarón mediante extracción con fluidos supercríticos (Lin y cols., 2005). La variabilidad entre los resultados puede atribuirse a la especie de camarón y las condiciones de fermentación láctica en los residuos de camarón.

Determinación del perfil de ácidos grasos

El análisis de ácidos grasos en la pasta lipídica, provenientes del fermentado de los residuos de camarón, indicaron que la mayor abundancia correspondió a los insaturados (64.15%), poliinsaturados (37.84%), saturados (35.86%) y monoinsaturados (26.31%). Estos resultados son similares a los reportados por Guillou y cols., (1995) con rangos de 57.6, 35.43, 38.01 y 26.51% en insaturados, poliinsaturados, saturado y monoinsaturados, respectivamente, procedentes del cefalotórax de camarón. Las diferencias de los resultados

pueden ser atribuidos a la variación estacional, especie, estado fisiológico, dietas así como también la maduración sexual del camarón. Los ácidos grasos poliinsaturados tales como el ácido docohexaenoico (22:6n-3) y el ácido eicopentaenoico (20:5n3) los cuales han sido reportados como un alimento funcional importante, además de prevenir la actividad cancerígena, reducen las enfermedades cardiovasculares e inhiben los procesos inflamatorios.

Composición proximal de las fracciones fermentadas

La figura 5 muestra los resultados de la composición química de cada producto aislado del fermentado. La quitina cruda recuperada del residuo de camarón fermentado presentó cerca del 18.1% de proteína residual, mientras que el contenido de cenizas fue de 4.3%, ambos resultados muestran la eficiencia de la fermentación en la desproteización y desmineralización del exosqueleto del camarón, y son similares a los reportados por Cremades y cols., (2001) para residuos de langosta y de cangrejo.

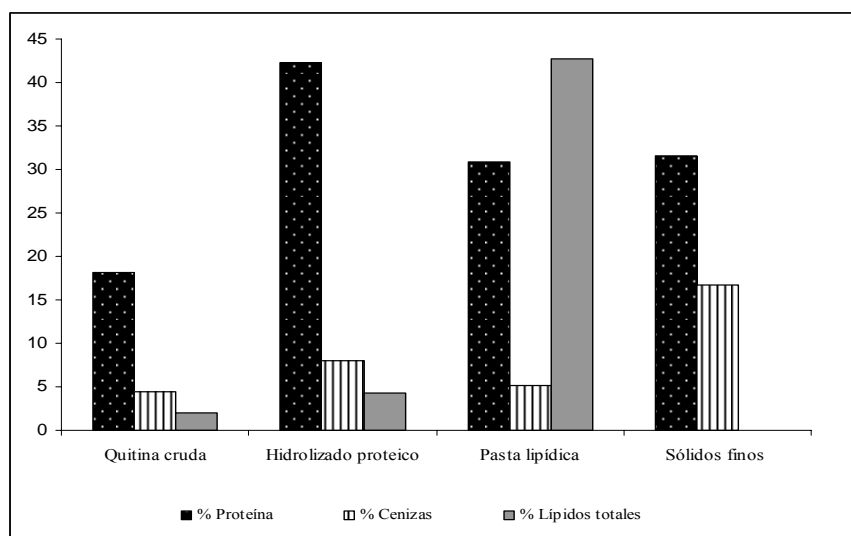


Figura 5: Composición química de los productos aislados del fermentado.

Por otro lado, el contenido de lípidos totales en el residuo quitinoso (2.0%) fue más alto que los reportados por Cremades y col., (2001) en quitina proveniente de los residuos de cangrejos. El hidrolizado proteico obtenido de la fermentación láctica indica una fracción rica en proteínas (42.3%), estos resultados están en rango de los reportados por Gildberg y Stenberg (2001) para hidrolizado proteico de residuos camarón. Synowiecki y Al-Khateeb (2000), reportaron un 64.3% de proteínas en hidrolizados enzimáticos de los residuos de

camarón. La diferencia de los resultados puede atribuirse a la diferencia de especies y la naturaleza del complejo quitina-proteína existente en el residuo de crustáceos (Chang y Tsai, 1997).

El contenido de lípidos totales fue 42.6% en la pasta lipídica, estos resultados son similares a los reportados por Beaney y cols., 2005. Los lípidos totales han sido reportados como una fuente para la extracción de astaxantina, ácidos grasos, retinol (vitamina A) y α – tocoferol (vitamina E) a partir de los residuos de camarón y cangrejo (Beaney y cols., 2005).

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación sugieren que la fermentación láctica facilita la separación y purificación de los principales componentes de los residuos de camarón, tales como hidrolizados proteicos ricos en aminoácidos, quitina cruda parcialmente desproteinizada y desmineralizada, y una pasta lipídica rica en ácidos grasos conteniendo astaxantina. La fermentación es un método simple, económico, amigable al medio ambiente, además de producir productos naturales de alta calidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada bajo el proyecto No. SON-2004-C03-016 con fondos mixtos del Gobierno del Estado de Sonora y la contribución de CONACYT-FOMIX.

REFERENCIAS

1. Agullo, E.; Rodríguez, M.S.; Ramos, V.; Albertengo, L. (2000). Present and future role of chitin and chitosan in food. *Macromol. Biosci.* **3**(10): 521-530.
2. AOAC (1995). *Official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists.
3. Armenta-López, R.; Guerrero, L.; Huerta S. (2002). Astanthin extraction from shrimp waste by lactic fermentation and enzymatic hydrolysis of the carotenoprotein complex. *J. Food Science* **67**: 1002-1006.
4. Beaney, P.; Lizardi-Mendoza, J.; Healy, M. (2005). Comparison of chitins produced by chemical and bioprocessing methods. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **80**: 45-150.

5. Chang, K.; Tsai, G. (1997). Response surface optimization and kinetics of isolation chitin from pink shrimp (*Solenocera melantho*) shell waste. *J Agric. Food Chem.* **45**: 1900-1904.
6. Cremades, O.; Ponce, E.; Corpas, R.; Gutiérrez, J.; Jover, M.; Alvarez-Ossorio, M.; Parrada, J.; Bautista, J. (2001). Processing of crawfish (*Procambarus clarkii*) for the preparation of carotenoproteins and chitin. *J. Agric. Food Chem.* **49**: 5468-5472.
7. Duarte de Holanda, H.; Netto, F. (2006). Recovery of components from shrimp (*Xiphopenaeus Kroyeri*) processing waste by enzymatic hydrolysis. *J. Food Science* **71**: C298-C303.
8. Gildberg, A.; Stenberg, E. (2001). A new process for advanced utilization of shrimp waste. *Process Biochem.* **36**: 809-812.
9. Guillou, A.; Khalil, M.; Adambounou, L. (1995). Effects of silage preservation on astaxanthin forms and fatty acid profiles of processed shrimp (*Pandalus borealis*) waste. *Aquaculture* **130**: 351-360.
10. Lin, M.; Chen, B. (2005). Determination of carotenoids in spear shrimp shell (*Parapenaeopsis hardwickii*) by liquid chromatography. *J. Agric. Food. Chem.* **53**: 5144-5149.
11. López-Cervantes, J.; Sánchez-Machado, D.; Rosas-Rodríguez, J. (2006a). Analysis of free amino acids in fermented shrimp waste by high-performance liquid chromatography. *J. Chromatography A* **1105**: 106-110.
12. López-Cervantes, J.; Sánchez-Machado, D.; Gutiérrez-Coronado, M.; Ríos-Vázquez, N. (2006b). Quantification of astaxanthin in shrimp waste hydrolysate. *Biomedical Chromatography* **20**: 981-984.
13. López-Cervantes, J.; Sánchez-Machado, D.; Delgado-Rosas K. (2007). Quantitation of glucosamine from shrimp waste using HPLC. *J. Chromatography Science* **45**(4): 95-99.
14. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México), 2005: Anuario Estadístico de Pesca, México City. pp-329/05.
15. Sánchez-Machado, D.; López-Cervantes, J.; Paseiro-Losada, P. (2004). Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chem.* **85**: 439-444.
16. Shirai, K.; Guerrero, I.; Huerta, S.; Saucedo, G.; Castillo, A.; González, R.; Hall, G. (2001). Effect of initial glucose concentration and inoculation level of lactic acid bacteria in shrimp waste ensilation. *Enzyme and Microbial Technol.* **28**: 446-452.
17. Synowiecki, J.; Al-Khateeb, N. (2000). The recovery of protein hydrolysate during enzymatic isolation of chitin from shrimp *Crangon crangon* processing discards. *Food Chem.* **68**: 147-152.
18. Synowiecki, J.; Al-Khateeb, N. (2003). Production, properties, and some new applications of chitin and its derivatives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **43**(2): 45-171.
19. Zhu X.; Cai, J.; Yang, J. ; Su, Q. (2005). Determination of glucosamine in impure chitin samples by high-performance liquid chromatography. *Carbohydr. Res.* **340**: 1732-1738.

CARACTERISTICAS DE LIXIVIADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, GENERADOS A DIFERENTES REGIMENES DE HUMEDAD

**Ma.C. Hernández-Berriel^{1,2}, L. Márquez-Benavides²,
Ma.C. Mañón-Salas³, J. Lugo-de la Fuente⁴ y
R. Alfaro Cuevas Villanueva²**

**1. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica
Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Edo. de México**
Av. Tecnológico s/n, Ex-Rancho La Virgen, Metepec, Edo. de México, México, C.P.52140
hberriel_1999@yahoo.com, (722) 2.08.72.18

**2. Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales
Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**
Av. San Juanito Itzicuaru S/N, Col. San Juanito Itzicuaru, Morelia, Mich. C.P.58302
lili.marquez@gmail.com, (443) 3.34.04.75 ext 116
rvalfaro@zeus.umich.mx, (443) 3.26.57.90

**3. Instituto de Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California**
Calle de la Normal S/N, Blvd. Benito Juárez, Col. Insurgentes Este, Mexicali, B.C.S.
C.P.21280. consuelomanon@yahoo.es

**4. Laboratorio de Edafología
Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México**
Unidad el Cerrillo, Edo. de México, jlugo@uaemex.mx, (722) 2.96.55.56 ext. 162 y 111

RESUMEN

La generación y características de los lixiviados dependen de factores propios de los RSU, de factores climáticos, de la operación del sitio de disposición y de su edad. De entre estos, el contenido de humedad es uno de los factores más importantes. Por ello, este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la humedad sobre las características de los lixiviados producidos. El experimento consistió en montar 20 biorreactores a escala laboratorio (BLAB) con RSU y suelo del RESA de Pátzcuaro, Mich. Mediante la recirculación de propios sus lixiviados, grupos de 4 BLAB se mantuvieron a 50, 60, 70 y 80 % de humedad base húmeda (%Hbh), y 4 se operaron como controles. Se dio seguimiento a los lixiviados producidos por 264 días, analizándoles pH, DQO (demanda química de oxígeno), conductividad electrolítica (CE), ST y SVT (sólidos totales y volátiles totales). Los mayores valores de DQO, ST, SVT y CE se obtuvieron en los BLAB al 50 %Hbh, encontrándose para la fase acidogénica diferencias significativas entre este nivel y los operados al 60, 70 y 80 %Hbh. Conforme a pH y DQO, los lixiviados producidos en los BLAB a 70 y 80 %Hbh alcanzaron en menor tiempo la fase metanogénica y su estabilización.

Palabras clave: Contenido de humedad, DQO, recirculación de lixiviados, residuos sólidos urbanos.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al censo poblacional de 2005, en México el Estado de Michoacán ocupó el noveno lugar con 3, 966,000 hab [6], y en ese mismo año generó 1, 091,000 toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU). Este estado pertenece a la Región Centro del país, que es la Región que contribuye con el 50 % de la generación nacional de RSU [16].

El Sistema de Información para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en Michoacán reporta que hubo una generación estatal de 2937 ton/día de RSU en el 2007, destacando entre sus 113 municipios la producción de: Morelia (650 ton/día), Uruapan, (211 ton/día), Zamora (140 ton/día), Lázaro Cárdenas (122 ton/día), Zitácuaro (115 ton/día), Apatzingán (96.5 ton/día), Nuevo Trecho (84.3) y Pátzcuaro (75.1 ton/día). Si bien las autoridades estatales y municipales, en cuestiones ambientales ha hecho grandes esfuerzos para mejorar la calidad de vida de la población, en materia disposición de RSU, Michoacán cuenta con solo 2 rellenos sanitarios (RESA) y un rellenos de tierra controlados, y se estima que existen 321 sitios no controlados o tiraderos a cielo abierto, por lo que los riesgos de contaminación y transmisión de enfermedades producto de una gestión deficiente de los residuos sólidos son altos. Uno de los sitios que cumple con la NOM-083-SEMARNAT-2003 es el RESA de Pátzcuaro, Mich., el cual recibe sobre 70 toneladas diarias (RESA tipo B) y tiene dentro de sus objetivos operar como Centro Intermunicipal para el Tratamiento Integral de los Residuos Sólidos (CITIRS) [15; 18].

El RESA como proceso de tratamiento alternativo para RSU, tiene por objetivo evitar la proliferación de fauna nociva y microorganismos capaces de transmitir enfermedades infecciosas [14], evitar originar problemas de contaminación de los mantos freáticos por la percolación de lixiviados en el subsuelo [13; 21], así como evitar contribuir al sobrecalentamiento global por la liberación no controlada de CH₄, CO₂ y CO en el biogás generado; por consiguiente previene la disposición inadecuada de los RSU en los tiraderos a cielo abierto.

Los lixiviados representan un gran riesgo para los cuerpos de agua, especialmente los subterráneos, debido a sus concentraciones elevadas de materia orgánica disuelta, macrocomponentes inorgánicos, metales pesados y componentes orgánicos xenobióticos. Su generación y características dependen de diversos factores. Entre estos factores se tiene

a los propios de los RSU (composición, densidad, contenido de humedad inicial y capacidad de campo), a los factores climáticos (precipitación pluvial, infiltración, evapotranspiración, radiación solar, heladas y temperatura ambiente), a la misma operación del sitio de disposición (compactación, material de cobertura, adición de agua potable o residual y recirculación de lixiviados) y a su edad (tiempo que tienen depositados) [7; 11; 19]. Uno de los factores que mayormente afecta la generación y características de los lixiviados de un sitio, es el contenido de humedad, que en un RESA depende básicamente de la humedad propia de los RSU, así como de la infiltración del agua de lluvia o de la recirculación de lixiviados [2; 5; 9; 22].

Es importante conocer las características de los lixiviados producidos, pues además de proveer información sobre su potencial de contaminación, proporcionan información sobre la actividad química y biológica que se está desarrollando en el RESA [3; 10; 20], lo que permite conocer las fases de la biodegradación de los RSU depositados y estimar su tiempo de estabilización [2; 4].

METODOLOGÍA

Preparación de los subproductos de los RSU

Mediante el método de cuarteo (NMX-AA-015-1985) se recuperaron alrededor de 50 kg de RSU de la capa superficial del RESA del Municipio de Pátzcuaro, Mich [20]. Esta muestra se distribuyó en 5 bolsas negras de plástico, se sellaron herméticamente y se transportaron inmediatamente al laboratorio, donde se seleccionaron los 15 subproductos más representativos, obtenidos de una caracterización previa en dicho sitio (Tabla 1).

Los subproductos inorgánicos, papel y cartón se cortaron manualmente hasta un tamaño menor de 1 cm, los residuos como vidrio y material de construcción se trituraron en un mortero (≤ 0.5 cm) y los residuos alimenticios y de jardinería se trituraron con un molino de cuchillas hasta un tamaño de partícula de ≤ 0.1 cm. Cada subproducto se almacenó en recipientes independientes a 4°C hasta el montado. Para la caracterización química de estos RSU, se preparó una mezcla de 1.0 kg pesando los subproductos en las proporciones establecidas (Tabla 1), a la cual se le determinó por triplicado el contenido de humedad base húmeda (% Hbh) y pH mediante la normatividad vigente [17].

Tabla 1. Caracterización de subproductos de los RSU de Pátzcuaro, Mich.

SUBPRODUCTOS	%	SUBPRODUCTOS	%
Residuos alimenticios	34.25	Material de construcción	1.91
Residuos de jardinería	31.86	Pañal desechable	1.89
Papel	5.97	Material ferroso	1.76
Plástico de película	4.74	Material no ferroso	1.31
Polietileno de alta densidad	3.81	Envase de cartón encerado	1.21
Vidrio	3.48	Cartón	1.07
Trapo	3.31	Unicel	0.76
PET	2.67		
		Total	100.00

Montado y operación de los BLAB

Se utilizaron 20 biodigestores a escala laboratorio (BLAB), contruidos en PVC cédula 40 (4.5 cm de diámetro y 18 cm de altura). De cada subproducto se pesaron las cantidades correspondientes y se mezclaron, de manera que a cada BLAB se le cargó exactamente con 215.19 g de estos RSU y 32.15 g de suelo como material de cobertura (MC), con el fin de que la composición fuera constante, y que la densidad de compactación fuera misma que la del RESA de Pátzcuaro, Mich (600 kg/m³). Se cerraron y se les verificó hermeticidad mediante pruebas neumáticas.

Se diseñó un experimento completamente aleatorio en condiciones homogéneas, teniendo como factor de control el régimen de contenido de humedad (50, 60, 70 y 80 %Hbh), mediante su recirculación de lixiviados. A excepción de los 4 BLAB que se utilizaron como controles, a los otros 16 se les recirculó sus propios lixiviados 2 veces por semana a una velocidad de 2.0 ml/min mediante bombas peristálticas doble flujo MASTERFLEX C/L modelo 77120-62, de manera que se operaron por cuadruplicado a los niveles de humidificación establecidos. Se dio seguimiento a los lixiviados producidos durante 264 días (38 semanas), analizándoles semanalmente pH, conductividad electrolítica (CE), ST (sólidos totales), SVT (sólidos volátiles totales) y DQO (demanda química de oxígeno) [1; 17]. A los resultados obtenidos de cada parámetro, se les realizó una prueba de ANOVA y

comparación de medias por Tukey HSD, con un nivel de confianza de 95% mediante el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.0 [8].

RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de humedad de los RSU y suelo inicialmente cargados fue de 39.7 %Hbh. Con base a este dato se estimaron las cantidades de lixiviados a recircular para alcanzar los contenidos de humedad de 50, 60, 70 y 78 %Hbh. Las gráficas de las figuras 1 a la 5 presentan el seguimiento de los parámetros analizados en los lixiviados producidos a los 4 niveles de porcentaje de humedad (%Hbh). Cada uno de los puntos representa los valores promedios de los 4 BLAB a un nivel humedad con su respectiva desviación estándar. Ninguno de los 4 BLAB controles generó lixiviados.

Seguimiento de pH en lixiviados producidos

Debido a que los RSU y el MC cargados tuvieron un pH de 5.82, los lixiviados de todos los BLAB iniciaron con valores cercanos a 5.0 (Figura 1). La recirculación de lixiviados permitió que la primera fase, donde se realiza la hidrólisis de los polímeros complejos y la transición del ambiente aerobio a anaerobio, tuvieran lugar en las primeras dos semanas de operación en todos los BLAB. La fase acidogénica inició el día 16 cuando comenzó a descender nuevamente el pH en todos los niveles de recirculación, y terminó entre los días 97 y 139. Esto último se estableció conforme a lo sugerido por Chugh et., al [2], quienes mencionan que el inicio de la fase metanogénica se puede considerar cuando los lixiviados generados llegan a pH de 6.5, así como a que los BLAB con recirculación estaban generando metano (información no incluida). Y como puede verse en la figura 1, esta fase fue alcanzada primero por los lixiviados de los BLAB operados 80 %Hbh (día 97), seguidos por los BLAB al 70 %Hbh (día 111), los del 60 %Hbh (día 118) y finalmente los del 50 %Hbh (día 139). Para la fase acidogénica los pH de los lixiviados de los BLAB al 50 %Hbh presentaron diferencias significativas con respecto a los que operaron al 70 y 80 %Hbh (Tabla 2). En la fase metanogénica, independientemente de los regímenes de humedad, todos los BLAB con recirculación de sus lixiviados lograron la neutralidad en la

semana 22, presentando diferencias significativas los pH de los BLAB al 80 %Hbh con los otros regímenes de humedad (Tabla 2).

Tabla 2. Diferencias estadísticas entre los regímenes de humedad

FASES	DIAS	ANOVA	TUKEY	TUKEY HDS (95%)			
		p	pH	CE	ST	SVT	DQO
HIDROLISIS	1 a 12	0.6	-	50-80 60-80	50-70 50-80 60-80	50-70 50-80 60-80	50-70 50-80 60-70 60-80
ACIDOGENESIS	>12 y < 97 (80), 111 (70), 118 (60) y 139 (50)	0.0001	50-70 50-80 60-80	-	50-60 50-70 50-80	50-60 50-70 50-80	50-60 50-70 50-80
METANOGENESIS	> 97 (80), 111 (70), 118 (60) y 139 (50)	0.0001	50-80 60-80 70-80	50-70 50-80 60-70 60-80	50-70 60-70 60-80 70-80	50-60 50-70 50-80	50-70 50-80

p: Valor de probabilidad
CE: conductividad electrolítica
SVT: sólidos volátiles totales

pH: potencial de hidrogeno
ST: sólidos totales
DQO: demanda química de oxígeno

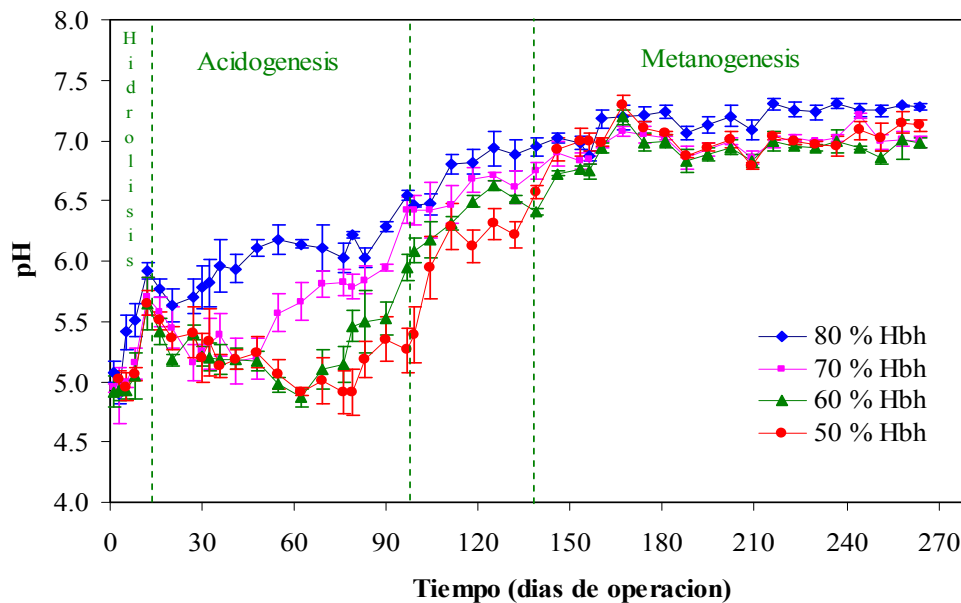


Figura 1. Dinámica de pH de lixiviados producidos en BLAB.

Seguimiento de CE, ST y SVT en lixiviados producidos

En las gráficas de las figuras 2 a la 5, puede apreciarse, que los mayores valores de CE, ST y SVT se obtuvieron en lixiviados de los BLAB al 50 %Hbh, debido en parte a un efecto de dilución en los otros regímenes de humedad [2; 4].

Con respecto a CE, en la fase de hidrólisis solo presentaron diferencias significativas los BLAB al 80 %Hbh con los de 50 y 60 %Hbh. Conforme al análisis de varianza en los valores de CE de los lixiviados producidos, las recirculaciones de lixiviados para los 4 niveles de humedad (50, 60, 70 y 80 %Hbh) no mostraron efecto en el grado de mineralización durante la fase de acidogénesis, y en la fase metanogénica este parámetro en los lixiviados producidos en los BLAB al 80 fue diferente con respecto a los lixiviados de los BLAB al 50, 60 y 70 %Hbh (Tabla 2).

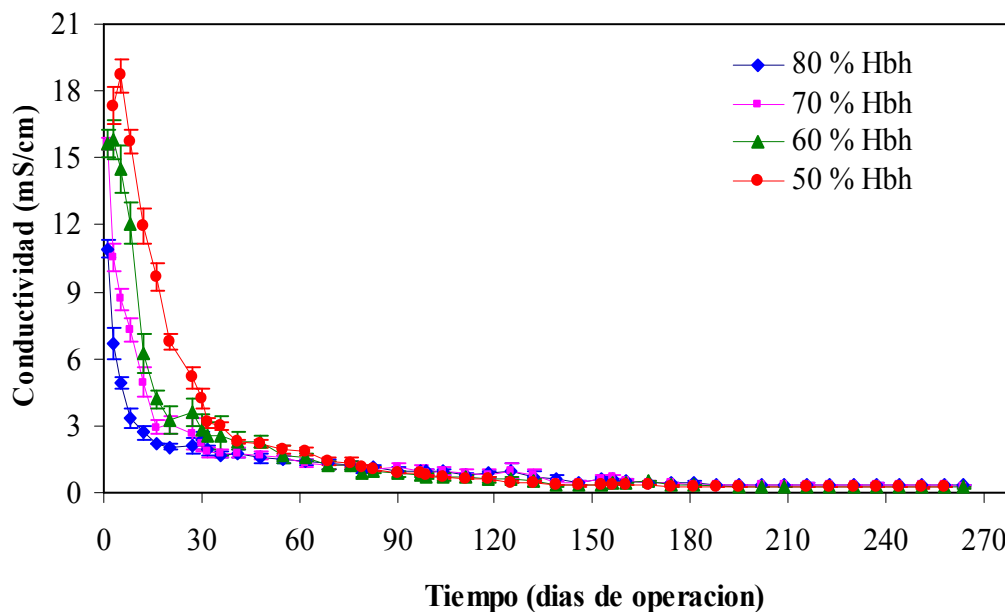


Figura 2. Dinámica de conductividad electrolítica de lixiviados producidos en BLAB.

De acuerdo a la comparación de medias por Tukey HDS, los lixiviados producidos al régimen de 50 %Hbh, presentaron en la fase acidogénica diferencias significativas con los otros tratamientos para los parámetros de SVT y ST (Tabla 2). Y en la fase metanogénica

también se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, aunque debido a la escala no son perceptibles en las figuras 2 a 5. Las diferencias estadísticas encontradas entre los 4 regímenes de humedad (50, 60, 70 y 80 %Hbh) se detallan en la tabla 2.

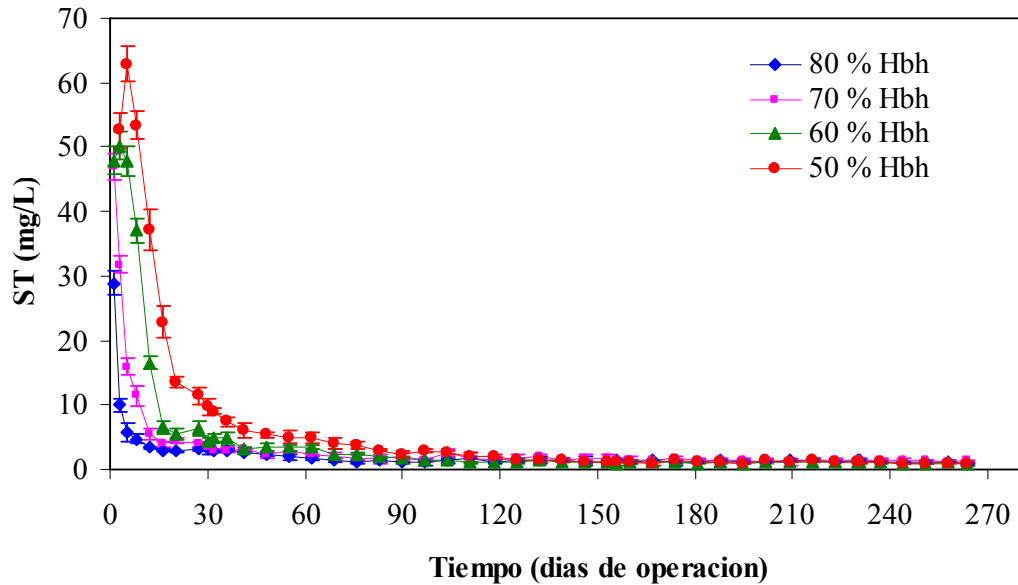


Figura 3. Dinámica de sólidos totales de lixiviados producidos en BLAB.

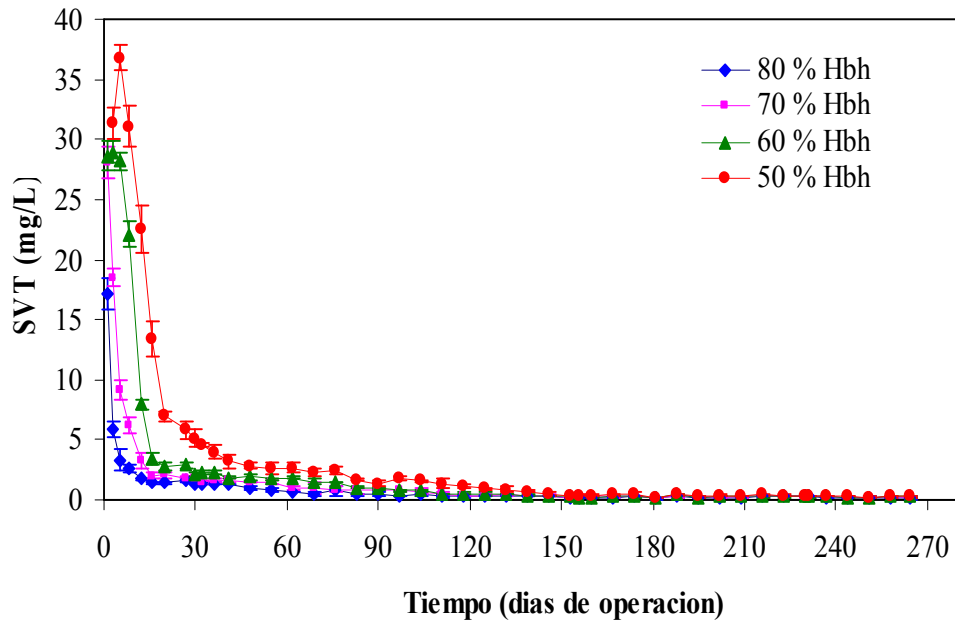


Figura 4. Dinámica de sólidos volátiles totales de lixiviados producidos en BLAB.

Seguimiento de DQO en lixiviados producidos

Considerando el valor ≤ 2000 mg/L de DQO reportado por Francois et., al [4], como límite de estabilización para los lixiviados producidos, ese valor fue alcanzado a los días 48, 62, 90 y 125, por los lixiviados a 80, 70, 60 y 50 %Hbh, respectivamente. El que se estabilizaran los lixiviados en orden descendente al nivel de humidificación, puede atribuirse a que a mayor recirculación de lixiviado, la actividad microbiana se vio favorecida por una mayor distribución de nutrientes, como lo mencionan Ravishankar et., al [12] y lo corrobora el trabajo de Chugh et., al [2]. Sin embargo en esta investigación, en la fase acidogénica no se encontraron diferencias significativas entre los valores de DQO de los lixiviados de los BLAB al 60, 70 y 80 %Hbh, lo que sugiere una actividad microbiana similar en estos BLAB (Tabla 2)

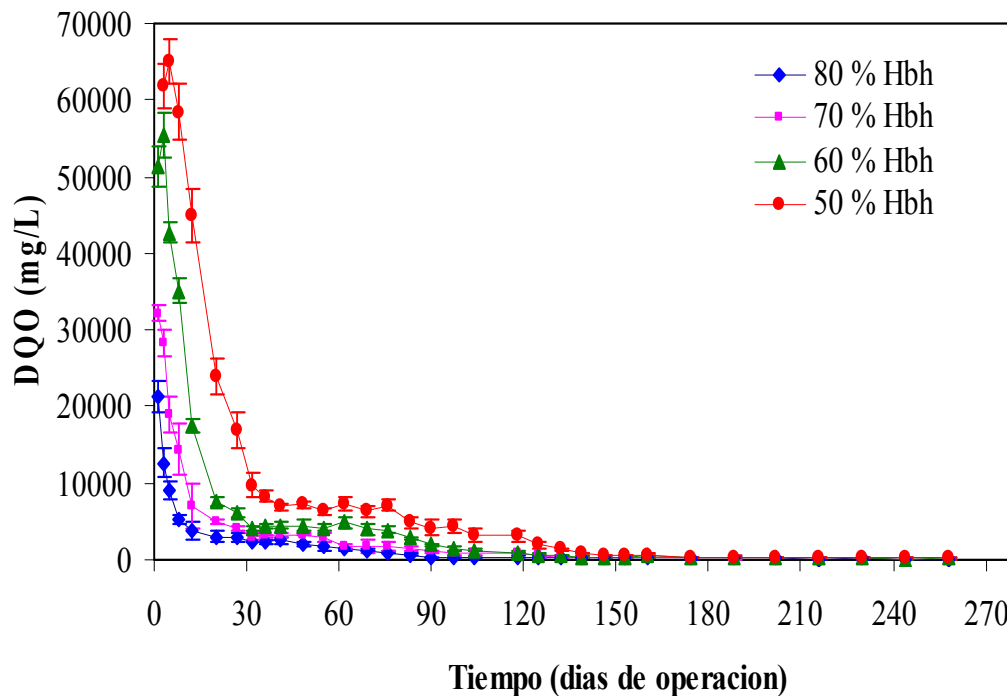


Figura 5. Dinámica de DQO de los lixiviados producidos en BLAB.

CONCLUSIONES

- Los diferentes regímenes de humedad (50, 60 y 70 %Hbh) tuvieron al principio de la operación un efecto de dilución en los parámetros determinados, y aunque la degradación de la MO de los RSU se vio favorecida por una mayor distribución de nutrientes, ésta fue similar en los BLAB operados al 60, 70 y 80 %Hbh durante las fases acidogénica y metanogénica.
- Conforme al valor de DQO ≤ 2000 mg/L, los lixiviados producidos en los BLAB a 70 y 80 %Hbh se estabilizaron en menor tiempo, mientras que los lixiviados producidos por los BLAB al 50 % Hbh presentaron las mayores cargas orgánicas e inorgánicas a lo largo del experimento, por lo que estos lixiviados son potencialmente más contaminantes que los producidos a los otros regímenes de humedad.
- De acuerdo a los resultados de este trabajo, la recirculación de diferentes volúmenes de lixiviados para alcanzar en RSU los contenidos de humedad de 50, 60, 70 y 80 %Hbh, afecta los parámetros de pH, CE, ST, SVT y DQO, sobre todo si se comparan los lixiviados producidos en los BLAB operados al 50 y 80 %Hbh.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo técnico a la Quím. Elda García Velasco del Laboratorio de Investigación en Edafología de la Universidad Autónoma del Estado de México, Unidad El Cerrillo, así como a la Ing. Elizabeth Martínez Galeana, Biol. Carlos Prado Huerta del Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

REFERENCIAS

1. APHA, AWWA and WEF. (1998). *Standard Methods for the Examination of Wastewater*. 20th Edition, United States of America.
2. Chugh, S., Clarke, W., Pullammanappallil, P. and Rudolph, V., (1998). Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation. *Waste Management and Research*, **16**, 564-573.
3. Davis, L.M. y Masten, S.J. (2005). *Ingeniería y Ciencias Ambientales. En: Ingeniería de Residuos Sólidos*. Ed. Mc. Graw Hill. México. pp 518-523.
4. Francois, V., Feuillade, G., Matejka, G., Lagier T., and Skhiri, N., (2007). Leachate recirculation effects on waste degradation: Study on columns. *Waste Management and Research*, **27**(9), 1259-1272.
5. Hernández-Berriel, Ma.C., L. Márquez-Benavides, D.J. González-Pérez and O., Buenrostro-Delgado. The effect of moisture regimes on anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (Mexico)". *Waste Management*, **28**, S14-S20.
6. INEGI (2008). Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de basura, 1996 a 2006. (Documento Web, Último acceso: Setiembre 20, 2008) <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mamb57&s=est&c=6119>

7. Kulikowska, D., Klimiuk, E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition, *Bioresource Technology*, **99**, 5981-5985.
8. Montgomery D. (2003). *Diseño y análisis de experimentos*. Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. España. pp 154-192
9. Nguyena, P. H. L., P. Kuruparana and C. Visvanathan, (2007). Anaerobic digestion of municipal solid waste as a treatment prior to landfill. *Bioresource Technology*, **98**(2), 380-387.
10. Orozco-Barrenetxea C.A. Pérez-Serrano, Ma.N. González-Delgado, Fco.J. Rodríguez-Vidal y J.M. Alfayate- Blanco. (2003). *Contaminación Ambiental*. Ed. Thomson. Madrid, España.
11. Oweis, I.S., Smith, D.A., Ellwood, R.B., Greene D.S. (1990). Hydraulic Characteristics of Municipal Refuse. *Journal of Geotechnical Engineering*, **116**(4), 539–553.
12. Ravishankar R., P. Ravichandra and G. Mugeraya. (2007). Effect of MSW leachate recirculation frequency on contaminants reduction. Proceedings of *The Twenty Two International Conference on Solid Waste Technology and Management*. Philadelphia, PA U.S.A.
13. Reyes-López J.A., J. Ramírez- Hernández, O. Lazaro-Mancilla, C. Carreon-Diazconti and M. M. Loeches-Garrido. (2007). “Assesment of groundwater contamination by landfill Leachate: A case in Mexico”. *Waste Management*, **28**, S33-S39
14. Sánchez-Yáñez, J.M., F. Manzo-Zamudio, L. Leal-Lozano, A. Peláez F. y J.C. Carrillo-Amezcu. (2006). El impacto negativo sobre la salud humana de los Rellenos Sanitarios Húmedos. (Documento Web, Último acceso: 5 de mayo, 2008). <http://www.monografias.com/trabajos31/rellenos-sanitarios/rellenos-sanitarios.shtml?monosearch>
15. 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. Publicada el miércoles 20 de octubre de 2004 en el Diario Oficial de la Federación, Primera Sección. México.
16. SEMARNAT. (2006). *La gestión ambiental en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. ISBN 968- 817 - 799 – 7. México, D. F.
17. SEMARNAT (2008). Normas mexicanas vigentes. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Documento Web, Último acceso: Agosto 15, 2008) <http://www.semarnat.gob.mx/leyesyformas/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx>
18. SUMA (Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente) (2008). “Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en Michoacán de Ocampo”. (Documento Web, Último acceso: Diciembre 17, 2008) (Documento para Consulta Pública 30-01-2008) <http://www.suma.michoacan.gob.mx/pdf/residuos.pdf>
19. Suna-Ereses, A., M.A. Fazal, T.A. Onay, and W.H. Craig. (2005). Determination of solid waste sorption capacity for selected heavy metals in landfills, *Journal of Hazardous Materials*, **B121**, 223-232.

20. Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil S. (1993). *Gestión Integral de Residuos Sólidos. En: Evolución de la gestión de residuos sólidos*. McGraw-Hill-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A. México, D.F. Vol. I. pp 469 y 473-477.
21. Vázquez-Mújica, P. Ma. y R. A. González-Herrera. (2006). Hidrogeoquímica de la zona del exbasurero de la ciudad de Mérida, Yucatán. Memorias del *XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*. 24 al 26 de mayo del 2006. EXPO Guadalajara, Jal.
22. Wrefor, K.A., J.W. Atwater and L.M. Lavkulich. (2000) The effects of moisture inputs on landfill gas production and composition and leachate characteristics at the Vancouver Landfill Site at Burns Bog. *Waste Management & Research*. **18**, 386-392.

USO DE INÓCULO PARA ACELERAR LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

J.M. Sánchez Yáñez¹, L. Márquez Benavides²,
O. Buenrostro-Delgado², R. Alfaro Cuevas Villanueva¹
y F.J. Colín Ruiz²

1. Laboratorio de Ecología Microbiana
Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Edificio B-1, B-3; Ciudad Universitaria, Morelia Michoacán, México
azotobacter56@yahoo.com.mx, tel. (443) 3 26 57 88 y 90, ext. 112

2. Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Av San Juanito Itzicuaró S/N, Col. San Juanito Itzicuaró, Morelia, Mich. C.p.58302
(443) 3.34.04.75 ext 116

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue obtener una “semilla” seca y aireada para inocular residuos sólidos urbanos y acelerar su degradación anaerobia. Para tal fin, se montaron 3 diferentes tipos de reactores. Los sustratos fueron: suelo de jardín, excreta de ganado vacuno, y sedimentos de lodos activados o JEL en cantidades de 330g. El sustrato EXL contenía excreta y lodos en proporción de 500g, el sustrato LODOS contenía 800g de lodos residuales y 200g de suelos. Estos reactores se alimentaban una vez por semana. La alimentación fue papel Bond, materia orgánica y lodos activados mezclados y molidos en un molino de cuchillas; cuando las semillas JEL, EXL y LODOS estuvieron metanogénicamente activas se tomó una muestra de 300 g de cada tipo de semilla, se dejó secar a temperatura ambiente posteriormente esta semilla se mezcló con agua destilada y con la fracción orgánica de los RSU e incubó en botellas de vidrio. Se montaron controles con 100% de RSU y 100% de cada tipo de semilla. La medición de la formación de metano se realizó tres veces por semana por cromatografía de gases. Se observó que para las semillas LODOS influyen poco en la producción de metano, no así EXL y JEL que aceleran la producción de metano a partir de los días veinte a treinta aproximadamente. Particularmente el inóculo EXL que es el que mejores resultados presentó, en términos de producción de biogás.

Palabras clave: Inóculo; metanogénesis; residuos sólidos municipales.

INTRODUCCIÓN

El proceso de digestión anaerobia consta de tres etapas:

fermentativa, acetogénica, y metanogénica, la conversión de desperdicios orgánicos, como excrementos de animales ha sido estudiada, su degradación microbiana relacionada con la digestión anaerobia fue investigado por: Boswell (1947), Ghosh y Pohland (1974), Ghosh y Klass (1976), quienes comprobaron que para reducir el tiempo de digestión se puede suministrar condiciones favorables, tales como los nutrientes adecuados, condiciones optimas de pH, a las bacterias productoras del ácido fórmico y metano durante el tiempo en el que el sistema de digestión de los desperdicios orgánicos este en funcionamiento.

Investigaciones realizadas en América Latina para tratar los RSU, utilizando métodos físico-químicos, químicos y biológicos demostraron que los métodos de tratamiento biológicos, son los más adecuados, en el caso de la generación de biogas el de mayor utilidad es la digestión anaerobia. La aplicación de la tecnología anaerobia es una de las más eficientes para el tratamiento de los RSU, ya que en la mayoría de los países latinoamericanos el contenido de Fracción Orgánica (FO) representa entre un 40 – 75 % (Sandoval et al 2007). El período de arranque de reactores anaerobios es una etapa crítica y relativamente lenta, para el crecimiento de la población microbiana suficiente y equilibrada que frecuentemente determina la eficacia de operación del reactor. La actividad de la biomasa depende de varios factores; concentración de nutrientes temperatura y pH adecuados, Torres et al (2004), evaluaron la adición continua de cloruro ferrico sobre el mejoramiento de un lodo usado como inóculo en el arranque de un reactor anaerobio, comprobaron que la adición de cloruro ferrico mejoro el rendimiento del reactor, así como el tiempo de arranque y la fase metanogénica. La investigación estuvo basada en que los micro nutrientes, como el hierro, son esenciales para el crecimiento microbiano (Torres et al 2004).

Márquez y Buenrostro (2006) probaron el efecto de cuatro diferentes tipos de suelo en la degradación de RSU a escala laboratorio. Encontraron que la inclusión de ciertos tipos de suelo, como el calizo inhibe el establecimiento de microorganismos que favorecen la degradación de la materia orgánica, e incluso disminuye la producción de CH₄; sin embargo otros tipos de suelo como la turba de jardín o suelos arenosos influyen favorablemente en el tiempo de establecimiento de las fases de la degradación anaerobia.

López Martínez (2001) investigó los cambios de la materia orgánica de los RSU, sometida a digestión anaerobia, con diferentes concentraciones de sólidos volátiles totales, en presencia o sin inóculo, para establecer un estimativo del tiempo de retención adecuado. El cual se desarrolló a temperatura termofílica de 55°C, en las muestras con inóculo las velocidades de máxima producción de biogás con metano se alcanzaron entre 22 y 27 días mientras que en las muestras sin inóculo, los tiempos fueron mayores de 50 días.

Moreno y Buitrón (2002) analizaron con una prueba de biodegradabilidad 5 tipos de inóculo: industria cervecera, química, tratamiento municipal, estiércol de vaca y lodos activados para medir su influencia en la biodegradabilidad anaerobia de compuestos modelo, uno fácilmente biodegradable; glucosa y otro tóxico; fenol y 4- cloro fenol. Los autores concluyeron que existían diferencias significativas por el origen del inóculo por la composición de los grupos de microorganismos existentes, con respuesta variable a la prueba; existen diferencias para los resultados de la prueba de biodegradabilidad en función del inóculo utilizado: Lo anterior puede deberse a las diferencias en el contenido de sólidos volátiles y sobre todo a su actividad metanogénica inicial, parámetro no contemplado en la prueba de biodegradabilidad anaerobia, así como a la composición de los grupos de microorganismos existentes que producen los distintos resultados en la prueba.

A la fecha, y al mejor conocimiento de los autores, existen una amplia carencia de estudios de inóculos anaerobios para degradación de RS, ni antecedentes de las mezclas propuestas como “semilla” de un digestor anaerobio, aunque se conocen casos de co disposición de excretas y RSU, existe poca información sobre la adición de este tipo de inóculos.

METODOLOGÍA

CONSTRUCCIÓN DE SEMILLA METANOGENICA

Recopilación de Materiales

En la ciudad de Quiroga, Michoacán se obtuvieron (1)de un establo doméstico, 20 kg de excretas frescas de ganado vacuno, y (2) de una planta de tratamiento de aguas residuales, con un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) se obtuvieron 20 litros de lodos residuales (lodos activados convencionalmente. También se obtuvieron cinco kg de suelo de jardín del IIAF, excavando con un pico y pala a profundidad de entre 30

y 50 cm. Adicionalmente se obtuvieron residuos sólidos urbanos frescos del relleno sanitario local, los cuales se llevaron al laboratorio, se separaron los materiales inorgánicos (metal, vidrio, piedras, etc.) y la restante fracción orgánica se desmenuzó manualmente a un tamaño de partícula menor a 1 cm.

Preparación de materiales

Colectados los materiales para los digestores se trasladaron a las instalaciones del laboratorio, se etiquetaron, y se almacenaron en refrigerador a 4° C.

Para la preparación de los materiales se siguió el siguiente procedimiento:

- Los lodos residuales se decantaron empleando conos Imhoff durante 2 h para utilizar solamente los sedimentos
- El suelo se cribó en tamiz del número 8 marca FIIC
- La excreta de ganado vacuno no se sometió a ningún proceso.

Montaje de digestores

Los digestores de sustrato sólido se construyeron de la siguiente forma:

Se montaron tres diferentes digestores, por duplicado 6 digestores en total, en recipientes de vidrio de 2.5 kg con distinto inóculo cada uno, la composición de los inóculos construidos se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de los tres diferentes tipos de inóculos

DIGESTOR	COMPOSICION (g)
JEL= Jardín, excretas vacunas, lodos residuales	330 de tierra de jardín 330 de excreta vacuna 330 de lodos residuales
LODOS = Lodos residuales y tierra de jardín	800 de lodos residuales 200 de tierra de jardín
EXL= Excretas vacunas y lodos residuales	500 de excretas vacunas 500 de lodos residuales.

A todos se les adiciono 3 g de carbonato de sodio y 3 g de sacarosa después de lo cual se mezclaron; se taparon manualmente con tapones de goma con dos salidas, una para la toma de muestra de biogas y la otra para un sistema de medición de biogás compuesto

de dos bidones de plástico interconectados, uno de ellos con 5 L de solución saturada de salmuera y el otro vacío donde se mide la cantidad de salmuera desplazada por el bidón conectado al digestor. Se incubaron en una cámara a 35° C, hasta que estuvieron metanogenicamente activos

Preparación de alimentación

La mezcla que se uso como alimentación de los digestores, estuvo constituida por residuos sólidos orgánicos, papel bond y lodos residuales activados. El papel bond fueron hojas blancas de oficina, las cuales se trituraron en tiras.

Los desechos alimenticios, el papel y los lodos activados se mezclaron manualmente, se pusieron a secar en un horno a 105°C/24 h. Posteriormente la mezcla resultante se trituro en un molino de cuchillas para rastrojo, se obtuvo un producto con aspecto de algodón que se guardo a temperatura ambiente para su posterior utilización.

Alimentación y parámetros químicos a los digestores

La alimentación de los digestores se realizo una vez por semana, con 21 g de la mezcla empleada como alimentación y 39 ml de agua destilada. Se destaparon los digestores y se introdujo la alimentación para combinar uniformemente integrando completamente la mezcla al sustrato en el frasco de vidrio, el proceso se realizo bajo venteo de nitrógeno para desplazar el oxígeno que entra al recipiente y asegurar la condición anaerobia en los digestores. Al alimentar los reactores se obtuvo una muestra de 30 g, de sustrato para medir el pH al material contenido dentro del digestor, según la norma NMX-AA-25-1984 para material sólido, la toma de la muestra de 30 g se realizo antes de introducir la alimentación.

USO DE SEMILLA EN LA DEGRADACION DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Cuando los digestores estuvieron metanogenicamente activos se extrajo una muestra de 300 g de c/reactor, se seco al aire libre y se molió en mortero de porcelana, se deposito en bolsas de plástico y se guardo, esta muestra se nombro “semilla” o inoculo metanogénico. Se emplearon botellas de vidrio de 250 ml donde se deposito el equivalente a 10 g secos de materia orgánica de residuos, más la “semilla” en proporción de 3 % y 6%, respectivamente y 150 ml de agua destilada a cada botella. Las cantidades incubadas de semilla fueron para 3% .5 g de semilla más 16.1 de RSU y para el 6% 1g de semilla y 15.1 g de RSU el peso de los RSU esta reportado en base húmeda, sin embargo es conveniente aclarar que en base seca los % utilizados corresponden a 5 y 10 %, esto es por ejemplo se usaron 9 g secos de RSU + 1g seco de

semilla. Se colocaron botellas con muestras de los tres tipos de “semilla” EXL, JEL, LODOS más el equivalente a 10 g secos de la fracción orgánica de los RSU así como botellas con solo semilla (100% de “semilla”) y solamente la fracción orgánica de los RSU (RSU 100%) esta muestra se tomo como control, después se sellaron con tapones suba-seal y se sometieron a venteo con gas nitrógeno, de un tanque conectado con una manguera de hule con una aguja que inyecta el gas a través del tapón suba-seal, en el tapón se coloco otra aguja para la salida del oxígeno desplazado por la inyección del gas nitrógeno, para eliminar el oxígeno y asegurar un ambiente anaerobio en las botellas, (figura 6.9), se sellaron con silicón transparente en los orificios de colocación de las agujas, las botellas se incubaron en una cámara a 35 °C.

Variables de respuesta

Después de una semana de incubada la “semilla” se inicio con las mediciones para el monitoreo de las variables de respuestas, se realizo con una muestra de 10 micro-litros de gas extraído de cada botella para inyectar (figura 6.7) en el cromatógrafo de gases marca VARIAN CP 5800, figura 6.5, con un detector de ionizacion de flama (FID) y una columna 2m de longitud y 2 mm de DI de acero inoxidable empacada con 5 % de neopentiglicol sebacato + 1 % H₃PO₄, con temperaturas de operación del inyector de 200 °C, del detector 210 °C, de la columna 80 °C y el gas de arrastre es de 35 ml/min. Las mediciones se realizaron tres veces por semana.

Medición de pH a las botellas

Las mediciones de pH se realizaron una vez por semana durante el periodo de tiempo de monitoreo de la producción de metano. Para llevar acabo la medición de pH de las botellas se extrajo con una jeringa 5 ml, del contenido de las botellas, posteriormente se deposito en un vaso de precipitados y se realizo la medición con un potenciómetro marca DENVER INSTRUMENT UB-10, después se venteo con nitrógeno y se sellaron las botellas para guardarlas nuevamente en la cámara de incubación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se monitoreó la producción de metano en el biogás de las unidades experimentales conteniendo residuos sólidos urbanos (RSU) únicamente, a las que se denominó CONTROL; RSU con un 3 % (p/p) de semilla y finalmente, RSU con un 6 % (p/p).

La definición de la cantidad de inóculo a utilizar se basó en el siguiente criterios: Se sabe que en el caso de material por arriba del 5 % de sólidos (como es el caso de RSU), las proporciones residuo/semilla son importantes. En términos de sólidos volátiles, Neves y colaboradores (2004) reportaron que haciendo uso de gránulos de lodos para lograr la biometanización de residuos de cocina, es posible que ocurra un acidificación cuando la proporción residuos/inóculo (sólidos volátiles) es mayor que 1:2.

La producción de metano se vio fuertemente influenciada por la adición de inóculo. La Figura 1 muestra que si bien prácticamente no existe diferencia entre la adición de 3 o 6 % (p/p, bh) de inóculo JEL, el uso de este último estimula la producción de metano 11 veces. Es importante mencionar que los resultados son alentadores, puesto que logró no solo un establecimiento anticipado de la producción de metano, sino de mayor concentración (hasta 265 $\mu\text{mol CH}_4/\text{Kg RSU seco/día}$). El pH de las botellas con inóculo JEL (Figura 2) muestra el comportamiento de las fases de degradación anaerobia, donde las botellas con RSU+ semilla (3 y 6 %), presentaron recuperaciones de pH desde valores ácidos (fase acidogénica) hasta valores de alrededor de 7, en tanto que el CONTROL no logró sobrepasar el pH de 6.

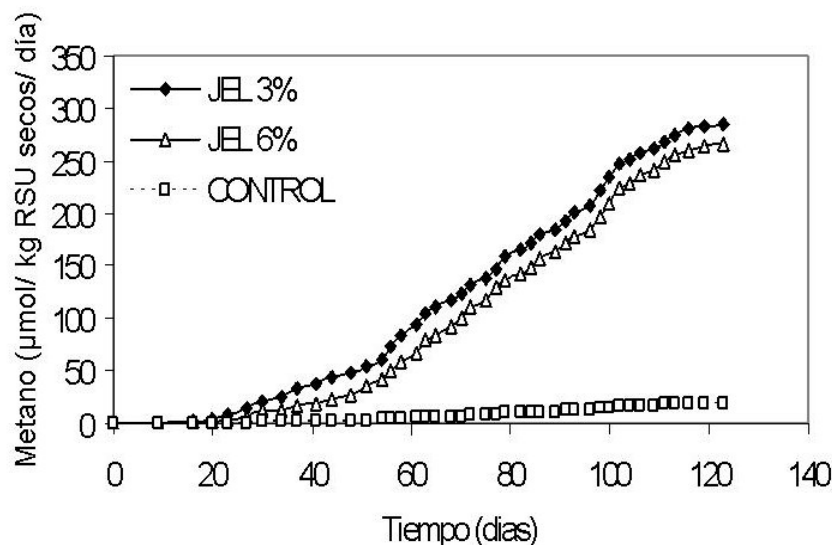


Figura 1 Tasa de producción de metano ($\mu\text{mol}/\text{Kg RSU seco/día}$) acumulado a partir de los inóculos JEL + RSU 3 % y JEL+ RSU 6%.

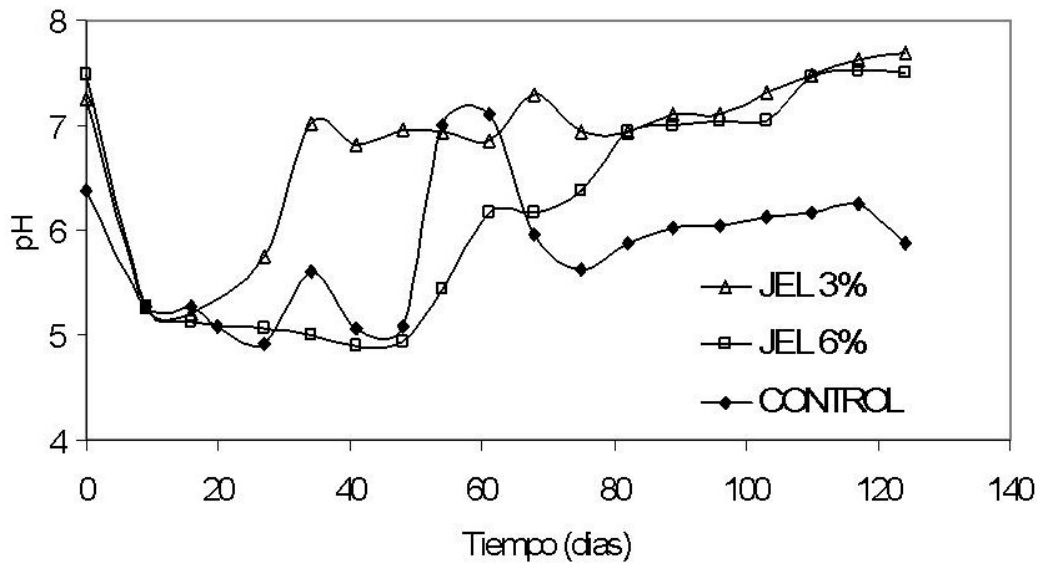


Figura 2 Dinámica de pH en las botellas con inoculo JEL + RSU 3 % y JEL+ RSU 6 % durante el tiempo de incubación.

En el caso del uso de semilla de LODOS, la Figura 3 muestra que la adición de 3 % de inoculo fue capaz de promover la producción de metano, no así el uso de inóculo al 6 %, un resultado inesperado. Por otro lado, la Figura 4 revela que las unidades experimentales con LODOS al 6 % mostraron un grado de acidificación, lo que sugiere que la naturaleza del inoculo debe de tomarse en cuenta a la hora de proponer las proporciones inóculo/semilla, tal y como se comentó ya previamente. En este mismo sentido es necesario tomar además en cuenta factores tales como la disminución de g de alcalinidad/g DQO.

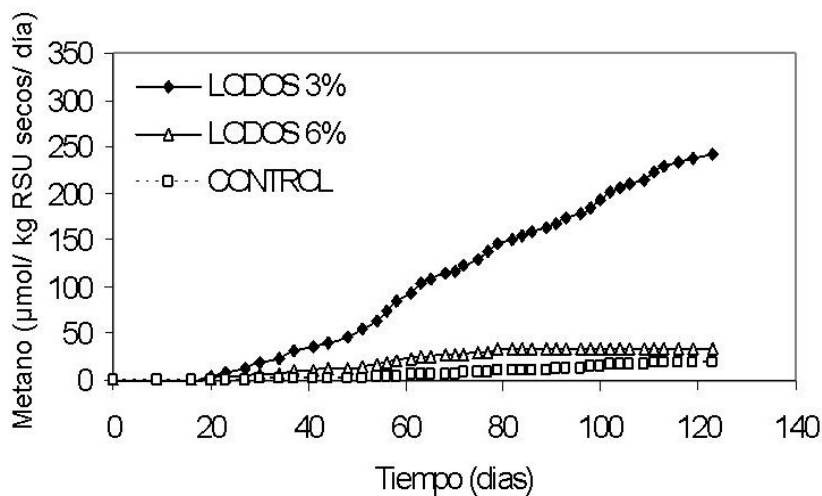


Figura 3 Tasa de producción de metano ($\mu\text{mol}/\text{Kg RSU seco}/\text{día}$) acumulado a partir de los inóculos LODOS +RSU 3 % y LODOS +RSU 6 %.

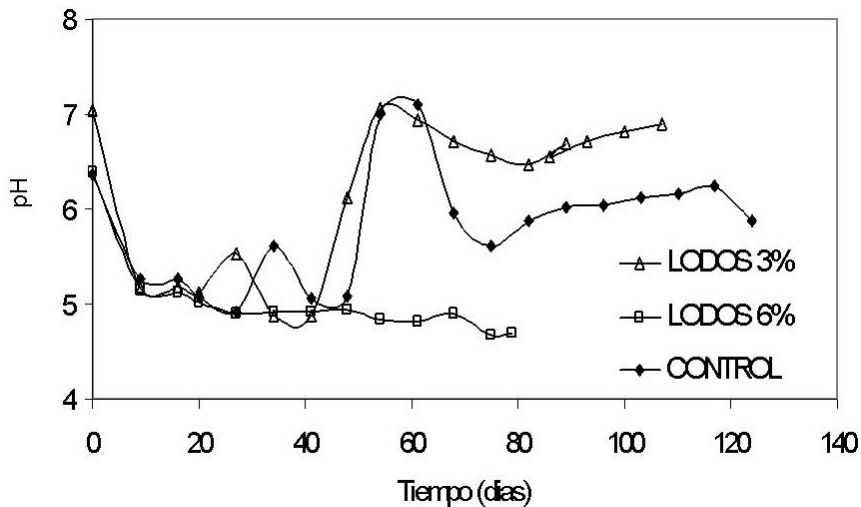


Figura 4 Dinámica de pH en las botellas con inoculo LODOS + RSU 3 % y LODOS + RSU 6 % durante el tiempo de incubación.

La Figura 5 muestra los resultados obtenidos al incluir semilla EXL a la degradación de RSU. La adición de este inóculo produjo los mejores resultados al comparar con el resto de los inóculos. La adición de 3 % (p/p, bh) de inoculo produjo la mayor tasa de producción de metano (320 $\mu\text{mol/kg}$ RSU seco/día), comenzando a acumular metano a partir del primer mes de experimentación.

Es interesante hacer notar que la adición de 6 % de material produjo tan solo 200 μmol CH_4/kg RSU seco/día, aunque esto significó que la acumulación de metano se comenzó a observar desde el día 20 de experimentación, el tiempo más corto para el establecimiento de la fase metanogénica. De igual manera, se observó que, en términos de valores de pH la recuperación de las botellas RSU+EXL 3% fue la primera (35 días), hasta un valor ≥ 7 (Figura 6), mientras que las botellas con 6 % de inoculo permanecieron ácidas por 2 meses. Que fue cuando la producción de metano se tornó estable.

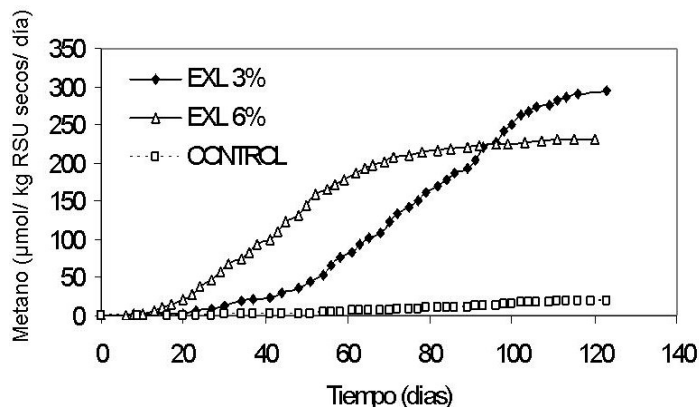


Figura 5 Tasa de producción de metano ($\mu\text{mol/Kg RSU seco/día}$) acumulado a partir de los inóculos EXL + RSU 3 % y EXL+ RSU 6 %.

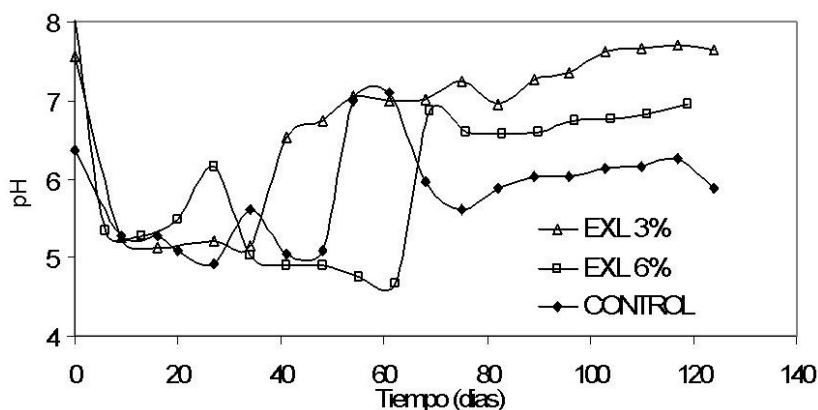


Figura 6 Dinámica de pH en las botellas con inóculo EXL + RSU 3 % y EXL +RSU 6 % durante el tiempo de incubación.

El uso de inóculos es una práctica de uso relativamente común. Griffin et al (1998) por ejemplo, usaron una estrategia “agresiva” para el arranque de la co digestión de residuos sólidos urbanos, excretas vacunas y biosólidos de una planta tratadora de aguas residuales, en regímenes meso y termofílico. Después de inocular los digestores, se usaron sondas de oligonucleotidos para RNA ribosomal. De acuerdo a los autores, la estrategia de arranque funcionó para el reactor termofílico, aun cuando el inóculo fue mesofílico. Después de un período de arranque de solo 20 días, observaron altas producciones de biogás, con hasta 59 % de metano, y sustanciales remociones de sólidos volátiles y celulosa. En contraste, el digestor mesofílico no respondió favorablemente al método de arranque, dado que hubo un incremento dramático de ácidos orgánicos volátiles y por ende, bajos valores de pH.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, la adición de inóculos JEL, LODOS y EXL es capaz de incrementar la tasa de producción de metano y el establecimiento de la fase netamente metanogénica de la degradación de RSU, en régimen mesofílico y bajo las condiciones aquí descritas.
- Sin embargo, la proporción de inóculo añadido debe ser tomada en cuenta puesto que puede causar la acidificación del proceso de degradación de RSU.
- El inóculo con el mejor desempeño fue el EXL.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

López M. G. Estimación del tiempo de retención dependiendo de la concentración de sólidos volátiles totales y de la presencia o no de inóculo Universidad de la Rioja, España 2001.

Márquez B. L. Y Buenrostro D. O., 2006. Efecto de suelos en la degradación anaerobia de residuos municipales. Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales; investigación desarrollo y practica, Volumen I numero I.

Moreno A. I., Buitrón M. G. 2002. Influencia del origen del inóculo en la prueba de biodegradabilidad anaerobia, coordinación de bioprocesos ambientales, instituto de ingeniería, UNAM.

Neves L., Oliveira R. and Alve M.M., 2004 Influence of inoculum activity on the bio-methanization of a kitchen waste under different waste/inoculum ratios, Process Biochemistry Volume 39, Issue 12, 29, Pages 2019-2024.

Sandoval C. J., Carreño M., Castillo E., Vergara M. M., 2007 Caracterización biológica de los lodos anaerobios utilizados en el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos Scientia et Technica Año XIII, No 35, Universidad Tecnológica de Pereira Colombia.

Torres P., Cardozo A., Rojas O., 2004 Mejoramiento de la calidad de lodos anaeróbicos. Influencia de la adición de cloruro ferrico, Escuela de ingeniería de recursos naturales y del medio ambiente, Universidad del Valle, Santiago de Cali Colombia.

CAPTURA DE BIOGÁS DEL RELLENO SANITARIO DE ENSENADA, B.C.

Q. Aguilar-Virgen¹, C. Armijo-de Vega¹, P.A. Taboada-González¹

1. Facultad de Ingeniería Ensenada
Universidad Autónoma de Baja California

Km 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California, C.P. 22870

aguilar_virgen@uabc.mx, carmijo@uabc.mx, paultaboada@uabc.mx, (646) 1.75.07.44 ext 64314

RESUMEN

En general los rellenos sanitarios se convierten en cementerios de basura sin utilización posterior alguna. Sin embargo estos sitios de disposición final de residuos cuentan con un potencial poco explotado en México, el relacionado con la recuperación de gas metano y su utilización para la generación de energía eléctrica. La recuperación y utilización del metano ha sido practicada ampliamente en países desarrollados con experiencias positivas. Además, si no se aprovecha este recurso, puede ser una fuente potente de gas de efecto invernadero y el principal contribuidor para el cambio climático. En este trabajo se presenten los resultados de la evaluación del potencial de explotación de metano del relleno sanitario clausurado de la ciudad de Ensenada, B.C. En el relleno sanitario clausurado se estimó una recuperación de biogás inicial de 406 metros cúbicos por hora para la generación de energía con una disminución paulatina. Para proponer una recuperación de biogás más rentable es necesario tomar en cuenta también el relleno sanitario activo, cuya evaluación se hará en la siguiente etapa de este trabajo.

Palabras clave: Biogás; gases de efecto invernadero; generación de energía; metano; relleno sanitario; residuos sólidos urbanos (RSU).

INTRODUCCIÓN

La generación de energía en México se ha realizado en su mayoría por los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón); sin embargo, esto ha traído consecuencias negativas a nuestro ambiente contribuyendo al calentamiento global debido a la liberación de gases de efecto invernadero (GEI), por lo que el uso de energías alternas es una solución adecuada en la actualidad. Las energías alternas brindan la oportunidad de ofrecer energía útil en el presente y futuro con menos impactos ambientales que las fuentes convencionales, por ello la presente investigación trata sobre la captura de biogás generado en rellenos sanitarios, ya que está es considerada una fuente de energía alternativa.

Está ampliamente reconocido que el gas proveniente de los rellenos sanitarios es una fuente potencial significativa de energía. Las primeras investigaciones en este campo comenzaron en los EE.UU al inicio de la década de 70. A partir de la década de los ochentas muchos países iniciaron programas que alentaban la utilización del gas proveniente de los rellenos sanitarios (Lawson, 1989).

Un relleno sanitario es generalmente conceptualizado como un reactor bioquímico. En este reactor gigante, los residuos y el agua son los principales insumos, mientras que el gas y los lixiviados son los principales productos. El gas de un relleno sanitario es el resultado biológico de la descomposición anaeróbica –sin oxígeno– de materiales orgánicos de un relleno. Los principales componentes presentes en los gases de los rellenos son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2), pero el gas del relleno es comúnmente saturado por vapor de agua y presenta cantidades pequeñas de componente orgánicos no-metanos y varios otros compuestos de trazas (Machado et al., 2009). El metano se utiliza para la generación de electricidad o como combustible para el transporte, otras de las ventajas de su uso incluye la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la reducción de riesgo de fuego y explosión dentro de los rellenos (Marshall, 2007; Machado et al., 2009; Garg et al., 2006; EPA 1996; EPA 2008; Christophersen et al., 2001).

De hecho el metano tiene una equivalencia en cuanto a su contribución al efecto invernadero de 21 veces la del CO_2 , debido a su mayor coeficiente de absorción molar de la radiación infrarroja y largo tiempo de residencia en la atmósfera (Christophersen et al., 2001). A nivel mundial, los rellenos sanitarios representan la tercera fuente más grande de emisiones antropogénicas de metano –por influencia del hombre–, lo que constituye aproximadamente el 13 por ciento o más de las emisiones mundiales de metano (Guzzone y Schlagenhauf, 2007; Kumar et al., 2004; Zhang et al., 2008). Esto tiene importancia significativa para la toma de decisiones, porque la implementación de cualquier política para reducir el metano podría tener impactos inmediatos en las emisiones de gases de efecto invernadero y los beneficios de las iniciativas aparecerían en el corto a mediano plazo (Batool y Chuadhry, 2008).

Por lo tanto, la captura y combustión del metano en un quemador de biogás, un motor generador u otro dispositivo, resulta en una reducción neta sustancial de emisiones de gases con efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global. Los beneficios adicionales

más allá de reducción de emisión de gas con efecto invernadero incluyen el potencial para la mejora de la calidad de aire local a través de la destrucción de HAPS y VOCS a través de su combustión (EPA, 1996).

Para su recuperación el gas se extrae de los rellenos usando una serie de pozos y un sistema de vacío, el cual dirige el gas recolectado a un punto central para su procesamiento. De ahí, el gas del relleno puede usarse para una variedad de propósitos. Una opción es producir electricidad con motores, turbinas, microturbinas y otras tecnologías. La segunda opción es procesar el gas del relleno y ponerlo a disposición de clientes industriales locales u otras organizaciones que necesiten una fuente constante de combustible como combustible alternativo, el uso directo del gas del relleno es confiable y requiere un procesamiento mínimo y pequeñas modificaciones al equipo de combustión existente. La tercera opción es crear un gas de calibre para gasoductos o combustible alternativo para vehículos (EPA, 2008).

Un biogás de buena calidad –alto contenido de metano con bajos niveles de oxígeno y nitrógeno– se puede utilizar como combustible (Guzzone, 2005). El valor calórico de acuerdo con Shah (2000) típicamente oscila de 400 a 600 Btus/ft³, que según Thorneloe et al. (2000) es aproximadamente la mitad del valor calórico del gas natural.

En el mundo industrial, diversas ecuaciones han sido desarrolladas para predecir la velocidad de producción de metano en los rellenos sanitarios. Entre los cuales se encuentran modelos empíricos, modelos estequiométricos, modelos bioquímicos, entre otros. Cada modelo tiene diferentes expresiones cinéticas y parámetros (Meraz et al., 2008; Garg et al., 2006; Aronica et al., 2009; Kumar et al., 2004; Chiemchaisri y Visvanathan, 2008). Los modelos empíricos son particularmente dependientes de las condiciones locales, y en el lado opuesto se encuentran los modelos fundamentales describiendo la fermentación mediante una secuencia de reacciones microbianas, comenzando por una etapa de degradación aerobia, y prosiguiendo por las diversas etapas de la degradación anaerobia –hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis–. Si bien esta última clase de modelo hereda su certidumbre de la ciencia fundamental, también sufre una falta de datos confiables relacionados con la actividad microbiana. Además tales modelos también tienden a ser complejos, lo que frecuentemente significa grandes requerimientos computacionales. Así, como a la fecha no

existe una manera rigurosa y funcional para modelar la producción de metano en los rellenos sanitarios, las ecuaciones empíricas son la práctica más común (Meraz et al., 2008).

El modelo de degradación de primer orden es generalmente reconocido como el método más utilizado ya que es recomendado por la US Agencia de Protección Ambiental (USEPA) para calcular las emisiones de metano del relleno. Este modelo se basa en dos parámetros fundamentales, L_0 , el potencial de generación de metano (m^3CH_4/Mg de RSU) y k , la tasa constante de generación de metano ($año^{-1}$) (Machado et al., 2009; Garg et al., 2006). Considerando que el potencial de generación de metano (L_0) está en función de la composición de los residuos, la tasa constante de generación (k) depende sobre muchos parámetros específicos del sitio, tales como el contenido de humedad, temperatura, composición de residuos, potencial de reducción de oxidación, alcalinidad y pH, densidad de la basura y el tamaño de las partículas (Garg et al., 2006; SCS, 2003).

Los parámetros de generación de gas pueden ser obtenidos siguiendo diferentes estrategias, tal como la predicción teórica, experimentos en laboratorios y de mejor ajuste análisis de recuperación de gas del relleno real (Machado et al., 2009).

El gas de un relleno es generado por la degradación de la fracción biodegradable y está influenciada por composición físico-química de los residuos y variables ambientales. Muchos factores interfieren en la generación de metano de un relleno sanitario, pero los más importantes incluyen la cantidad total de material orgánico depositado, su edad y contenido de humedad, técnicas de compactación, temperatura y tipo de residuo, así como el tamaño de las partículas, nutriente, etc. (Pohland y Harper, 1986; Machado et al., 2009; Kong, 2008; Kumar et al., 2004). Las condiciones óptimas para la producción de metano son generalmente aceptadas son las siguientes: contenido de humedad de 50 a 60%, temperatura $40^\circ C$, el tamaño de las partículas pequeñas y pH neutral (Kong, 2008).

METODOLOGÍA

A continuación se mostrará la investigación base para una investigación mayor sobre la generación de energía eléctrica a través de la utilización del biogás generado en los dos rellenos sanitarios de Ensenada B.C. Para ello se inicia con un estudio realizado por SCS Engineers para el Municipio de Ensenada en el relleno sanitario clausurado.

Antecedentes del Relleno Sanitario

Se realizó una revisión de las condiciones en el sitio y la información histórica disponible, incluyendo cantidades y composición de residuos, tipo y configuración del relleno sanitario y datos meteorológicos.

El Relleno Sanitario de Ensenada, es un relleno sanitario de residuos sólidos urbanos (RSU) cerrado, su operación estaba a cargo del mismo municipio. La propiedad total del relleno sanitario cubre aproximadamente 10 hectáreas, de las cuales 7 fueron usadas para disposición de desechos. El sitio fue operado como botadero a cielo abierto desde 1987 hasta 1996, cuando fue convertido en un tiradero controlado de residuos que consistía en la compactación de los mismos y aplicación de cubierta de tierra. El relleno sanitario cerró en el 2004 y tiene aproximadamente 1.96 millones de toneladas (Mg) de residuos dispuestos. Las profundidades de residuos tienen un promedio aproximado de 45 m. Los residuos se compactaron a un promedio de densidad en el lugar de aproximadamente 600 a 700 kg/m³ usando un tractor del tipo D8K. Se instaló una cubierta de suelos nativos al final.

El relleno sanitario no cuenta con recubrimiento inferior y no tiene sistema de recolección de lixiviados o pozos de monitoreo para los mismos. La generación de lixiviados se espera que sea limitada debido al clima muy seco; la precipitación anual promedio es de aproximadamente 234 mm anuales. Asimismo, no existe un sistema activo de recolección de biogás.

Debido a que no existen registros históricos de tasas de disposición de residuos en el Relleno Sanitario de Ensenada para este estudio, los cálculos se hicieron basados en los años del relleno (1987-2004), volumen reportado de residuos dispuestos en el momento del cierre (3.263.137 m³), densidad estimada de basura depositada (600 kg/m³), y una tasa promedio diaria de aceptación de residuos de 317 ton/día. Las tasas de residuo se supone que aumentaron 1% anual.

Extracción de Biogás

Se instalaron tres pozos de extracción y nueve sondas de monitoreo para una prueba de extracción. Los pozos fueron construidos con tubería HDPE, instalados en el área superior

del centro del relleno sanitario, a una profundidad de cerca de 12 m, espaciados en forma triangular de cerca de 65 m de distancia. Se instalaron tres sondas por cada pozo de extracción, a una profundidad de aproximadamente 2 m y se espaciaron en línea a distancias de 5, 15 y 25 m de cada pozo de extracción. Además se utilizó una bomba de extracción eléctrica para producir un vacío en los pozos de extracción, que recibía energía en el sitio de un generador eléctrico a diesel y funcionó continuamente durante la prueba de extracción. La interconexión de los tres pozos de extracción fue con tubería flexible de 4 pulgadas de diámetro y la bomba de extracción. Se instalaron válvulas de control de flujo en cada pozo de extracción y al ingreso de la bomba de extracción para permitir el ajuste del vacío y el flujo tanto a nivel de sistema como a nivel de pozo individual. La calidad del biogás y las medidas de presión estática que se tomaron fue usando un Analizado de Gas Infrarrojo Landtec GEM 500 (GEM 500) y se tomaron medidas de flujo de gas usando un medidor Accu-Flo y el GEM 500.

Durante el bombeo activo de gas, los pozos, sondas y el ventilador se monitorearon varias veces al día durante 10 días. Los parámetros para los pozos, sondas y la bomba fueron: metano dióxido de carbono, oxígeno, presión estática, adicionalmente en la bomba se midió el flujo. Durante las condiciones activas, se monitoreó muy cerca del vacío aplicado debido a las preocupaciones relacionadas a infiltración de aire al relleno sanitario y contribuir a incendios en la sub-superficie. Después de activar la bomba, el vacío aplicado se mantuvo a niveles muy bajos en respuesta a los indicadores anteriores de nitrógeno elevado en los pozos de extracción. Esta estrategia limitó la filtración de aire y ayudó a mantener las operaciones de prueba para que no contribuyera a posibles incendios.

Proyección de recuperación de biogás

Para proyectar las tasas de recuperación de biogás del Relleno de Ensenada se empleó el Modelo de Biogás de México que fue desarrollado por el Programa de Extensión para Metano –LMOP, por sus siglas en inglés–, esencialmente una versión modificada del LandGEM de la EPA, utilizándose los resultados de la prueba de extracción para refinar los parámetros del modelo matemático.

Se usó el modelo para estimar las tasas de recuperación de biogás proyectadas para el relleno sanitario hasta el 2030, usando los siguientes criterios y supuestos:

- Tasas de Disposición de Residuos. Ya que no existen datos históricos se calculó 1,958,000 Mg acumulados.
- Contenido de Metano del Biogás. Debido a que el contenido de metano del biogás fluctúa a través del tiempo, es una práctica estándar de la industria normalizar el contenido de metano a 50% para propósitos de modelaje.
- Tasa Constante de Generación de Metano (k). Se usaron tres valores diferentes de k pensando en la degradabilidad de los componentes de la basura; descomposición rápida (0.075 anuales), descomposición media (0.015 anuales) y descomposición lenta (0.004 anuales).
- Potencial de Recuperación de Metano (L_0). El valor L_0 usado se derivó de modificar un valor L_0 estimado para los rellenos de México basados en las tasas de porcentajes de residuos orgánicos de México vs los residuos del Relleno Sanitario de Ensenada. Se estimó en $60 \text{ m}^3/\text{ton}$, a una tasa de 1.01
- Cobertura del Sistema de Biogás. El modelo calcula tanto el biogás potencialmente “recuperable” suponiendo un 100% de sistema de recolección completo de biogás, como la tasa proyectada de recuperación de biogás usando una cobertura estimada del sistema de biogás. La cobertura del sistema es una medida de la fracción de la masa de residuos que está bajo recolección activa. Los escenarios resultan en proyecciones bajas, medias y altas, con 65%, 80% y 90% de recuperación respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados promedio de cada punto de monitoreo realizados en Octubre 2006. En general la calidad del biogás en los pozos fue buena. Los datos de monitoreo de sonda indican que cada una de las nueve sondas de monitoreo estaba dentro de un “radio de influencia” (RDI) de su pozo de extracción respectivo. El vacío y/o calidad del biogás claramente disminuía en cada sonda; ambos eran indicativo de una sonda que estaba bajo la influencia de un pozo de extracción. Esto sugiere que el RDI de cada pozo de extracción en los vacíos aplicados durante el periodo de prueba posiblemente esté más allá

de las sondas más lejanas (1c, 2c y 3c), que estaban ubicadas cerca de 25 m de los pozos de extracción respectivo. En el caso del monitoreo de la bomba de extracción, se estabilizó en un promedio de aproximadamente 71.7 m³/hr, ajustada al 50% de metano.

Tabla 1. Resumen de Resultados en los puntos de monitoreo.

Lugar	Metano (%)	Oxígeno (%)	Presión Estática (pulgadas de columna de agua)
Pozo 1	48.43	0.0	-1.93
Sonda 1a	34.04	1.02	1.93
Sonda 1b	40.99	1.25	1.93
Sonda 1c	40.68	0.34	1.93
Pozo 2	46.42	0.0	-2.58
Sonda 2a	20.97	2.11	2.58
Sonda 2b	21.85	0.90	2.58
Sonda 2c	37.48	0.89	2.58
Pozo 3	43.47	0.35	-1.95
Sonda 3a	21.88	4.41	1.95
Sonda 3b	25.27	3.43	1.95
Sonda 3c	29.89	3.22	1.95

Basándose en la prueba de extracción y en la densidad de la basura (600 kg/m³) el volumen de los residuos estimados dentro de la influencia de la prueba (424,115 m³) resultan en 254,469 Mg. La tasa de flujo promedio durante la prueba de 71.7 m³/hr se convierte en 628,092 m³/Mg-año y la extrapolación de la tasa de recuperación unitaria durante la prueba de la cantidad total de basura en el relleno sanitario se calcula que la captura promedio de gas en el relleno completo en 2006 (si tuviera un sistema completo de recolección de gas funcionando) sería de aproximadamente 560 m³/hr.

Bajo los supuestos expuestos en el Modelo de Biogás Mexicano se estima que el potencial de recuperación de biogás en el 2006 sería de 575 m³/hr. Debido a que la diferencia es menor (2.6%) entre las tasas proyectadas de recuperación de biogás vía los resultados de pruebas de extracción y aquellos proyectados vía modelaje matemático no garantiza el ajuste de los coeficiente en el modelo. Por lo que no se ajustó el modelo de biogás de acuerdo con los resultados de la prueba de extracción.

Bajo el escenario de rango medio se tiene que la recuperación de biogás se proyecta que llegará a un máximo de 406 m³/hr en 2008, y luego disminuirá a 358 m³/hr en 2010, 266 m³/hr en 2015 y 201 m³/hr en 2020 (Ver tabla 2).

Tabla 2. Resumen de Resultados de modelaje de biogás escenario rango medio (80%).

Año	Tasa de recuperación potencial de Biogás (m ³ /hr)	Tasa proyectada de recuperación actual de Biogás (m ³ /hr)	Capacidad máxima proyectada (kW)
2008	507	406	671
2009	476	381	630
2010	448	358	593
2011	421	337	558
2012	397	317	525
2013	374	299	495
2014	352	282	466
2015	332	266	440
2016	314	251	415
2017	296	237	392
2018	280	224	371
2019	265	212	351
2020	251	201	333
2021	238	191	315
2022	226	181	300

Resulta interesante comparar los resultados aquí reportados con los obtenidos en otros rellenos sanitarios de México. En un estudio realizado en el 2005 por SCS Engineers en el Relleno Sanitario de Chihuahua, México, se encontró que utilizaron el Modelo de SCS que es una versión modificada del modelo de la EPA. La comparación de composición de residuos se hizo en base a los porcentajes típicos de Estados Unidos, datos que ayudan a determinar la tasa constante de generación de metano (k) y el potencial de recuperación de metano (L_o). Utilizando este modelo y bajo el escenario de rango medio la recuperación de biogás en el mismo tiempo establecido para Ensenada quedo de 1,893 m³/hr en 2008, ascendente hasta 2,031 m³/hr en 2016, descendiendo a 1,581 m³/hr en 2019 (SCS Engineers, 2005a).

En otro estudio realizado en el mismo año por SCS Engineers en el Relleno Sanitario de Querétaro, México, utilizaron el mismo modelo que en Chihuahua, y los porcentajes típicos de Estados Unidos. En este estudio la recuperación de biogás fue de 1,796 m³/hr en 2008, ascendente hasta 3,277 m³/hr en 2016, descendiendo a 2,319 m³/hr en 2019 (SCS Engineers, 2005b).

Estos resultados son más altos que los obtenidos en el Relleno Sanitario de Ensenada, pero se utilizaron otros porcentajes típicos en la comparación de la composición de los residuos, existiendo una diferencia muy marcada entre los porcentajes, por ejemplo, en el caso de residuos alimentarios en E.U. es de 11.5% al contrario en México que es de 36% o el del papel que es de 26.6% en E.U. y 15.7% en México. Dichos porcentajes afectan a los parámetros de k y L_0 que son la parte medular del modelo, e igualmente no se modela con el Modelo Mexicano de Biogás, por lo que no se puede realizar una comparación real. Adicionalmente, se encontró que el estudio realizado en el relleno sanitario SIMEPRODESO para Monterrey, Nuevo León, se utilizó el modelo “USEPA E-PLUS” que es diferente a los anteriores, usándose también una metodología diferente para evaluar la recuperación de biogás (LFG Consult, 2007). Por ello es importante estandarizar criterios para poder realizar una comparación válida respecto a la evaluación de recuperación de biogás.

CONCLUSIONES

Este tipo de investigación tiene como objetivo establecer la base para una investigación mayor en la cual se busca crear una propuesta para generar energía eléctrica en conjunto con el relleno sanitario activo en el Municipio Ensenada, B.C., así como dar a conocer los resultados de los proyectos realizados en beneficio del ambiente.

En esta primera fase se debía conocer el potencial de generación de metano del relleno sanitario clausurado. Con estos resultados se pretende dar a las autoridades correspondientes las herramientas necesarias para la toma de decisiones respecto al uso de metano de los rellenos sanitarios, ya que en general los rellenos sanitarios se convierten en cementerios de basura sin utilización posterior alguna; cuyos beneficios son generación de energía y disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los estudios realizados en México no siguen la misma metodología, ni utilizan el mismo modelo matemático de biogás, por lo que no existe un grado de confiabilidad para realizar las proyecciones de generación de biogás.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Ecología del XIX Ayuntamiento de Ensenada por las facilidades otorgadas para la realización de la presente investigación y en especial al Biólogo Víctor Arenas por sus sustanciales aportaciones.

REFERENCIAS

- Aronica, S., Bonanno, A., Piazza, V., Pignato, L., & Trapani, S. (2009). Estimation of biogas produced by the landfill of Palermo, applying a Gaussian model. *Waste Management*, **29**(1), 233-239.
- Batool, S. A., & Chuadhry, M. N. (2008). The impact of municipal solid waste treatment methods on greenhouse gas emissions in Lahore, Pakistan. *Waste Management*, **29**(1), 63-69.
- Chiemchaisri, C., & Visvanathan, C. (2008). Greenhouse gas emission potential of the municipal solid waste disposal sites in Thailand. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **58**(5), 629-35.
- Christophersen, M., Kjeldsen, P., Holst, H., & Chanton, J. (2001). Lateral gas transport in soil adjacent to an old landfill: factors governing emissions and methane oxidation. *Waste Management Research*, **19**(6), 595-612.
- EPA - LMOP. (1996). *Turning a Liability into an Asset: A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook*. United States of America: Environmental Protection Agency. Disponibilidad en: <http://www.epa.gov/landfill/res/pdf/handbook.pdf>. Consulta Abril 2008.
- EPA - METHANE TO MARKETS. (2008). Landfill Methane Recovery and Use Opportunities. Disponibilidad en: http://www.methanetomarkets.org/resources/factsheets/landfill_eng.pdf. Consulta Abril 2008.
- Garg, A., Achari, G., & Joshi, R. C. (2006). A model to estimate the methane generation rate constant in sanitary landfills using fuzzy synthetic evaluation. *Waste Management Research*, **24**(4), 363-375.
- Guzzone, B. (2005). Conventional and Emerging Technology applications for Utilizing Landfill Methane: Opportunities for project development in the methane to markets partnership. International Waste Management and Landfill Symposium in Italy. Disponibilidad en: http://www.epa.gov/landfill/docs/Sardinia05_Guzzone.pdf. Consulta Abril 2008.
- Guzzone, B., & Schlagenhauf, M. (2007). Garbage in, energy out - landfill gas opportunities for CHP projects. *Cogeneration and On-Site Power Production*. Disponibilidad en: http://www.cospp.com/display_article/307885/122/CRTIS/none/none/Garbage-in-energy-out---landfill-gas-opportunities-for-CHP-projects/. Consulta Abril 2008.
- Kong, I. C. (2008). Microbial characteristics associated with six different organic wastes undergoing anaerobic decomposition in batch vial conditions. *Waste Management Research*, **26**(3), 261-266.
- Kumar, S., Mondal, A., Gaikwad, S., Devotta, S., & Singh, R. (2004). Qualitative assessment of methane emission inventory from municipal solid waste disposal sites: a case study. *Atmospheric Environment*, **38**(29), 4921-4929.
- Lawson, P. (1989). Landfill, Microbiology and Research: An Introduction to the Workshop. *Landfill Microbiology: R & D Workshop*, Harwell, England. 1-9.
- LFG Consult. (2007). Case studies of CDM - Landfill Gas Projects Monterrey, Mexico (Benlesa). Disponibilidad en <http://siteresources.worldbank.org/INTLACREGTOPURBDEV/Resources/840343-1178120035287/ModelMonterrey.pdf>. Consulta Junio 2008.
- Machado, S. L., Carvalho, M. F., Gourc, J., Vilar, O. M., & Nascimento, J. C. D. (2009). Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results. *Waste Management*, **29**(1), 153-161.
- Marshall, A. (2007). Growing bigger. *Waste Management World*, **8**(2). Disponibilidad en: http://www.waste-management-world.com/display_article/289598/123/CRTIS/none/none/Growing-bigger/. Consulta Abril 2008.
- Meraz, L., Aranda, C., & Domínguez, A. (2008). Producción de metano en relleno sanitario: Un Modelo Cinético Fractal (págs. 1-7). *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*. México.
- Pohland, F. G., & Harper, S. R. (1986). *Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills*. EPA-600/2-86-073. Washington D.C.

- SCS Engineers. (2003). Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás. IIE-CONAE-SEDESOL. Disponibilidad en: <http://www.epa.gov/lmop/int/ManualdelUsuarioVI.pdf>. Consulta Abril 2008.
- SCS Engineers. (2005a). Estudio de pre-factibilidad para la recuperación y utilización en el relleno sanitario de Chihuahua, Chihuahua, México. Disponibilidad en: http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Chihuahua_Pr eFeasibility_Study_Spanish.pdf. Consulta Junio 2008.
- SCS Engineers. (2005b). Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía en el relleno sanitario de Querétaro, Querétaro, México. Disponibilidad en: http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Chihuahua_Pr eFeasibility_Study_Spanish.pdf. Consulta Junio 2008.
- Shah, K. L. (2000). *Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology*. United States of America: Prentice Hall.
- Thorneloe, S., Roquetta, A., Pacey, J., & Bottero, C. (2000). Database of Landfill-Gas-to-Energy Projects in the United States. *MSW Management*. Disponibilidad en: http://www.gradingandexcavation.com/msw_0003_database.html. Consulta Abril 2008.
- Zhang, H., He, P., & Shao, L. (2008). Methane emissions from MSW landfill with sandy soil covers under leachate recirculation and subsurface irrigation. *Atmospheric Environment*, **42**(22), 5579-5588.



PERSPECTIVAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN MÉXICO

L. A. Maldonado López^{1*}, & L. Márquez Benavides²

***Autor para correspondencia, 1. Departamento de Física Aplicada,**
CINVESTAV-Mérida, e-mail: maldonad@mda.cinvestav.mx
CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida Km 6 Antigua Carretera a Progreso
Apartado Postal 73 Cordemex 97310.
Mérida, Yuc., México
Tel: +52 (999) 9812960 ext. 251 Fax: +52 (999) 9812917

2. Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Av San Juanito Itzicuaró S/N, Col. San Juanito Itzicuaró, Morelia, Mich. C.p.58302
lmazquez@zeus.umich.mx, (443) 3.34.04.75 ext 116

RESUMEN

El crecimiento de la población, la urbanización y la industrialización junto con otros factores, está ocasionando cambios en los hábitos de consumo de América Latina, y por ende, se está incrementando la generación de residuos sólidos urbanos (RSU). Muy comúnmente, la magnitud de volúmenes en la producción de RSU excede las capacidades técnicas y económicas de las autoridades locales. Además, la contaminación y deterioro ambiental que causan los RSU ocasiona un riesgo de salud pública y de actividades económica.

Este trabajo pretende analizar el progreso alcanzado, durante los últimos años, en manejo de residuos sólidos por unos de los países más poblados y contrastantes de América Latina: México. Es un país con aproximadamente 103 millones de habitantes con una región central que concentra el 22% de esa población, es decir, el Valle de México es la habitación de 22.77 millones de personas; por otro lado, el área rural representa poblaciones de menos de 2500 habitantes (INEGI, 2005). Esta distribución de población crea retos y oportunidades particulares para poder proveer un apropiado manejo de residuos urbanos. Igualmente, este trabajo analiza entre varios aspectos: el progreso que en México se ha hecho en materia de legislación y educación en cuanto al manejo integral de residuos sólidos; la tendencia a privilegiar por sobre todo el uso de rellenos sanitarios; y la necesidad de buscar tecnologías propias que tomen en cuenta las consideraciones sociales y económicas particulares y divergentes del país

Palabras clave: Educación Ambiental; Residuos sólidos, Protección Ambiental, Rellenos Sanitarios, Protección Ambiental.

INTRODUCCIÓN



México es una República Federal localizada en la región media del continente americano. Al norte limita con los Estados Unidos de América (EUA) y al sur con Guatemala y Belice. Su nombre oficial es Estados Unidos Mexicanos. Según el último censo nacional de población y vivienda (INEGI 2005), su población total es de 103.3 millones de habitantes distribuidos en 187 938 poblaciones o asentamientos ubicados en 31 estados y un Distrito Federal (D. F.). En el D. F es en donde residen los órganos del Gobierno Federal. México ocupa el lugar 11 entre las naciones más pobladas del mundo y es el 14 más grande (Wasserman, 1999). La mayor concentración de población, es decir, 22.7 millones de habitantes, vive en la zona metropolitana del Valle de México.

La población mexicana se esta transformando aceleradamente de rural a urbana. Entre los años 2000 y 2005, el 96.6 % de las poblaciones de menos de 100 habitantes desaparecieron. De cualquier manera la población aún sigue estando muy dispersa. De las 187 938 localidades que existen en todo el país, cerca de 185 mil (98.3%) tienen menos de 2 500 habitantes; 2 640 (1.4 %) entre 2 500 y 15 mil habitantes; 427 (0.23 %) de 15 mil a 100 mil; 112 (0.06 %) de 100 mil a un millón, y solamente once asentamientos (0.006%) superan el millón de habitantes. En localidades de menos de 2 500 habitantes vive el 23.5% del total de la población del país, mientras que en las localidades de 100 mil a un millón de habitantes reside el 34.6%. En las de más de un millón lo hace el 14.3 % (INEGI 2005).

Al día de hoy, aún no se tienen cifras exactas de la producción nacional de basura. De la Torre et. al., (2003), basados en el nivel promedio de ingresos de la población INEGI (2000), estiman que el promedio generado de basura en México es aproximadamente 1kg por habitante por día. Según el departamento municipal de Ecología de la ciudad de Mérida, se observa que los habitantes de esa ciudad, generan la misma cantidad (Maldonado 2006). Por otra parte, De la Torre et. al (2003) reportan que en la ciudad de Toluca en el estado de México, se genera 0.740 kg por habitante por día, en tanto que en zonas rurales del mismo estado, la generación per cápita está entre 0.383 y 0.609 kg por día .

Según SEMARNAT (2001) la generación de basura en el país se incremento en cinco décadas, casi 3 veces (de 30 000 a 84 200 toneladas diarias) y sus características se transformaron de materiales orgánicos, a elementos de lenta degradación que requieren de procesos físicos, químicos o biológicos para su tratamiento y disposición final.

Si consideramos el promedio nacional per capita de basura, estimado por De la Torre et. al. (2003), entonces, actualmente se estarían generando en el país, alrededor de 103 300 toneladas por día.

Se estima que en el ámbito nacional, en promedio diario, se recolecta únicamente el 83 % del total generado. Esto significa que casi 18, 000 toneladas diarias quedan dispersas el medio ambiente. Asimismo, solo el 53 % se deposita en sitios controlados y el 47 %, aún es depositado en sitios no controlados, al aire libre. Los sitios no controlados, son lugares de disposición final de la basura que no cumplen con los requisitos de la NOM-083 (DOF 2004) pero son destinados oficialmente para ese propósito por las autoridades municipales respectivas. Entre ese 47 % se cuenta, parte de los residuos que son depositados en tiraderos clandestinos o se encuentran dispersos en las calles, a la vera de las carreteras, veredas, barrancas y cualquier otro sitio inapropiado, en el medio rural o urbano.

LEGISLACIÓN MEXICANA SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



Según el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, corresponde a los municipios la responsabilidad de prestar el servicio de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los RSU. Desde hace varias décadas gobiernos estatales y principalmente, el Gobierno Federal han promovido leyes y reglamentos en relación a los RSU, mediante sus diferentes secretarías. A nivel federal, La Ley General de Salud, estableció las disposiciones relacionadas con el servicio público de limpia, promoviendo el saneamiento básico y estableciendo normas y medidas tendientes a la protección de la salud humana para aumentar el nivel de vida. La antigua Ley General de Equilibrio Ecológico y De Protección al Ambiente (LGEEPA), promulgada en 1988 y reformada en 1996 y 2005 (DOF 2005), reglamenta los artículos de la Constitución relativos a la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. Sus disposiciones tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable, establecer las bases de los principios ambientales y sustentar el marco jurídico para expedir normas oficiales mexicanas (NOM) y reglamentos que sistematicen la conducción de la política ambiental mediante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) se refiere a los RSU en sus artículos 5, 7, 8, 15, 32, 134, 135, 137, 138, 140, 141 y el 142 (DOF 2005). Estos y otros nuevos fueron incorporados Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (LGPGIRS), la cual reglamenta las disposiciones de la Constitución mexicana para proteger al medio ambiente de posibles daños causados por la generación de RSU. También adiciona al concepto de Gestión Integral de Residuos, los principios de prevención, valorización y manejo integral; el principio de corresponsabilidad de los sectores sociales, el concepto responsabilidad económica para el que contamina, así como la obligatoriedad de remediar los sitios contaminados. La LGPGIRS (DOF 2003) clasifica la basura en tres tipos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos manejo especial (RME), y residuos peligrosos (RP). Entre otras características importantes, la nueva ley define las atribuciones de los tres órdenes de gobierno, enfatizando que los RSU son responsabilidad exclusiva del municipio, de acuerdo con el artículo 115 constitucional.

Existen además normas oficiales mexicanas (NOM) relativas a los RSU que son disposiciones técnicas con fundamentos jurídicos referentes a los Residuos Sólidos emanadas del gobierno federal a través de la SEMARNAT y publicadas por la Secretaría Comercio y Fomento Industrial. En particular la NOM-083 (DOF 2004), se refiere a 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 de manejo especial. Además, desde el ámbito federal, en México se cuenta con aproximadamente 15 Normas Mexicanas (NMX-AA) que también establecen la forma y los procedimientos para el manejo y disposición final de los RSU pero generalmente cubren procedimientos técnicos muy particulares como por ejemplo, la realización de métodos de muestreo (NMX-AA-015-1985 y NMX-AA-019-1985), determinación de la generación de RSU (NMX-AA-061-1985), para la selección de subproductos y cuantificación de los mismos (NMX-AA-022-1985), para evaluar la calidad del suelo (NMX-AA-091-1985), etc.

Basados en las leyes, reglamentos y normas federales, los gobiernos estatales y municipales en fechas recientes han iniciado un proceso de legislación y reglamentación para el manejo integral de los RSU, así podemos mencionar, solo por citar algunos

ejemplos, la ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2003), la Ley para la gestión integral de los residuos del estado y los municipios de Guanajuato (Periódico Oficial del estado de Guanajuato, 2005), la Ley de Prevención y Gestión Integral de residuos del estado de Querétaro (Querétaro 2005), la Ley de Residuos Sólidos del estado de Colima (Colima, 2006), etc.



MARCO INSTITUCIONAL PARA LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Instituciones Gubernamentales

Para realizar la gestión ambiental y la estandarización de las tareas relacionadas con la protección al medio ambiente y los recursos naturales del gobierno federal fue creada la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) que está formada por tres subsecretarías: Planeación y Política Ambiental; Gestión para la Protección Ambiental; y Fomento y Normatividad Ambiental. Cada subsecretaría, según el caso se apoya en los siguientes órganos: Comisión Nacional del Agua (CNA); Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) que a la vez han establecido institutos de función específica como, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA); Instituto Nacional de Ecología (INE). Si bien los RSU pueden influir en la problemática de sectores ambientales que caen en la atención de otras dependencias, es esencialmente en el INE, la PROFEPA y la propia SEMARNAT en quienes recae la atención de los residuos sólidos urbanos y la educación ambiental en general.

El INE, es una institución dedicada a la investigación ambiental aplicada, que desarrolla y promueve proyectos de cooperación científica y sirve de vínculo entre el sector académico y el gubernamental para resolver los problemas ambientales por medio de la conservación y restauración del medio ambiente en todo el país. Congruente con ese objetivo en 1997 crea el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), inaugurado, como resultado de un proyecto conjunto entre, la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). El CENICA tiene el compromiso de promover y realizar investigación experimental y proponer especificaciones técnicas, entre otras áreas ambientales, para el manejo integral de los RSU. Por otra parte, la SEMARNAT, a través del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (SECADESU), trabaja en el diseño de proyectos, programas y estrategias que promueven acciones para impulsar una cultura de respeto y cuidado del medio ambiente en la sociedad mexicana, utilizando como herramientas fundamentales la educación ambiental, la capacitación para el desarrollo sustentable y la comunicación educativa.

En la descripción de los avances en materia de gestión de residuos sólidos urbanos en México, especial mención merece, por el impacto que ha tenido a nivel nacional, la experiencia originada en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

El Distrito Federal (también conocido como Ciudad de México) y los municipios aledaños al mismo, pero en territorio del Estado de México conforman la ZMVM. Ésta es la región más densamente poblada del país. Podemos mencionar como ejemplo que en la Ciudad de México, la densidad demográfica es de 5 882 habitantes por km². En la ZMVM habitan 22.7 millones de personas que generan entre 0.8 y 1.2 kg. de basura por día, es decir, entre 18 y 28 mil toneladas por día. Cerca de 14 millones personas de la ZMVM viven en municipios del estado de México (EDOMEX) y casi 8.7 millones solo



en la Ciudad de México. Independientemente de su residencia, en el D. F o en el EDOMEX, la basura de todos los habitantes de la ZMVM era depositada en el estado de México, sin que existieran sitios adecuados, en una zona ya de por sí, densamente poblada. Los tiraderos al aire libre, oficiales o en sitios ilegales generaba contaminación visual, contaminación del aire por el biogás y contaminación de suelos y aguas del manto freático por lixiviados generados en la descomposición de los desperdicios. Los basureros también representaban grandes riesgos para la salud de los habitantes de las poblaciones que irremediablemente quedaban muy cercanas a ellos. Para remediar la situación, en 1995 la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM) solicitó apoyo de la agencia alemana de cooperación internacional (GTZ), para realizar esfuerzos encaminados, principalmente a Wehenpol y Ambrosius 2006):

- Obtener asesoría técnica especializada para la planeación y gestión integral de los RSU
- Revisión, actualización y adecuación del marco jurídico relativo a los RSU en México y la elaboración normas, guías, manuales y protocolos para su la correcta aplicación tanto del marco jurídico correspondiente como de la correcta aplicación de la normatividad adecuada (Wehenpol y Hernández-Barrios 2002; Wehenpol et al. 2006)
- Guías para, y capacitación técnica de, funcionarios y sectores claves de la sociedad civil interesados o relacionados con los RSU (Wehenpol y Hernández-Barrios 2006; Hernández-Barrios et al. 2003; 2004 y 2005).
- Creación de redes de cooperación entre integrantes de sector de los RSU (<http://www.giresol.org>) y,
- La difusión por medios impresos y publicaciones en revistas, medios electrónicos, talleres y eventos académicos.

En el marco de este proyecto se ha editado bibliografía sobre la planeación, el manejo integral de los RSU (Wehenpol y Hernández-Barrios 2006), el reciclaje (Vest 2003), etc. que actualmente son de consulta obligada para todo aquel que desee estudiar el tema de los RSU en México. La bibliografía es estrictamente técnica pero con un formato sencillo y no menos importante, en español. Esto hace que la experiencia este proyecto se esté extendiendo con gran éxito a nivel nacional y a otros países del ámbito Latinoamericano, principalmente en América Central.

Instituciones académicas

Las Instituciones de Educación Superior (IES) en México han realizado un gran esfuerzo de investigación en torno a la problemática de los RSU en las grandes ciudades. Restrepo y Phillips (1985) analizaron los procesos diarios de descarga de residuos y la ventaja de reusar los diferentes subproductos de la basura en la Ciudad de México. Ellos analizaron las prácticas de manejo y los tipos de residuos domésticos y residenciales junto con los productos tóxicos consumidos y descargados por hogares con alto poder adquisitivo (Restrepo y Phillips 1985; Restrepo et al. 1991) en la ciudad de México. Similarmente, Bernache (2003) describe los esfuerzos sociales y públicos para el manejo de los RSU in Guadalajara, la segunda ciudad más grande del país. Trejo-Vázquez y Céspedes-Soto (1989) estudiaron prácticas de reciclado y el tipo de material reciclado en áreas urbanas, coincidiendo con Castillo-Berthier (1983 y 2003) que identifica el reuso y el reciclaje en México como una actividad exclusiva de grupos marginados económicamente y en consecuencia con muy bajo poder de compra, quienes no obstante han establecido una intrincada red social y política alrededor de la separación de subproductos de la basura y su comercialización. Sin embargo, la



actividad se identifica más con la necesidad de aumentar sus ingresos que con una verdadera conciencia ambiental o con una estrategia de gestión integral de RSU. Corral-Verdugo (2003) muestra las condiciones situacionales y personales que determinan las prácticas de rehusó y reciclado en Hermosillo, una ciudad media del norte de México, en una muestra de 200 personas. Adultos y jóvenes viviendo en estratos socioeconómicos altos, medios y bajos fueron observados en relación a sus creencias ambientales, conocimiento ambiental y motivos conservacionistas. Él encontró también que el reciclaje fue motivado principalmente por las necesidades económicas de los participantes en la muestra. Se ha intentado también predecir la generación de RSU en México (Buenrostro et. al. 2001a) y estudiar la disposición final (Buenrostro et. al., 2001b; Ojeda-Benítez et al. 2003). Buenrostro et al. (2001c) considerando la actividad económica que generan los residuos con determinadas características físicas y químicas, han propuesto clasificar jerárquicamente las fuentes que generan la basura en diferentes regiones geográficas. En la zona metropolitana de Guadalajara, Bernache (2003) cuantifica la magnitud del problema de los residuos y concluye que la falta de conocimientos técnicos, así como la falta de supervisión ambiental hacia los municipios y sus concesionarios, resulta en una estrategia de manejo de RSU que genera un número de nuevos y cada vez más grandes problemas. Los patrones de consumo, la generación, cuantificación y clasificación de residuos en Mexicali, Baja California son reportados por Gaxiola (1995) y Ojeda-Benítez et al. (2003), en tanto que Liverman et al. (1999), estudian los patrones de conducta de los ciudadanos ante los agentes que producen cambios ambientales en la zona fronteriza con los Estados Unidos de América.

De los estudios publicados hasta el momento en México, se puede concluir que, en general, la población, no tiene el hábito de un buen manejo de los RSU que genera y que, en la práctica, no existe una conciencia ambiental. Esto independientemente del nivel educativo y estrato socioeconómico. Más aún, existe una gran resistencia a integrarse a programas municipales de separación y minimización desde la fuente (reducción) o a aplicar estrategias para el rehusó o el reciclado, es decir, existe resistencia a aplicar la estrategia de las 3 Rs en el manejo de los RSU. Esto es debido a que el desarrollo sustentable y la educación ambiental no están presentes en la población en general porque no son parte de los programas escolares o actividades extracurriculares. Sin embargo, actualmente se realizan esfuerzos establecer Planes Ambientales en Instituciones de Educación Superior (PAIS) que tienen la finalidad de inducir a la educación ambiental y al desarrollo sustentable. En este sentido, Armijo et. al., (2003) reportan que la Universidad de Baja California, en Mexicali ha iniciado el diseño y la construcción de un plan de acción que debe conducir en el futuro a que esa institución sea una universidad sustentable y que entre las diversas partes de ese plan se encuentra un programa de manejo de residuos. Por otra, parte en el otro extremo del país, en Mérida, en la Península de Yucatán, Maldonado (2006) reporta que un plan de manejo integral de RSU que involucra a todo el personal y estudiantes de una IES, ha logrado reducir la basura que dicha institución enviaba la relleno sanitario, casi un 70 %, al mismo tiempo que la institución ahorraba significativamente con la operación del sistema

Los datos que aportan las investigaciones en las IES aún pasan, en la mayoría de los casos, desapercibidos y quedan como meros ejercicios académicos. Además su difusión es muy limitada, así la información raramente es utilizado por las autoridades para tomar decisiones o establecer estrategias, por lo que su aplicación es escasa. No existe un esfuerzo coordinado a nivel nacional o local entre el sector académico y el gobierno



que promueva la investigación sobre los RSU y el desarrollo de tecnología para el procesamiento de la misma. Sin embargo, el enorme deterioro que sufre México, está obligando a tomar medidas que cambiarán la situación en los próximos años. El 90 % de la riqueza forestal del país se ha perdido (Leff 2007) y tan solo en el período entre 1999 y 2005 se perdieron 715 000 ha que incluyen bosques, selvas, pastizales naturales o inducidos, cultivos, matorrales y otros tipos de vegetación. La deforestación es causada por la tala incontrolada, los incendios, la presión demográfica y la contaminación, lo que ha obligado a las autoridades a establecer un programa para sembrar 250 millones de árboles en los próximos seis años y a algunos congresistas a impulsar iniciativas para priorizar el problema de la basura (Álvarez-Romo 2007).

Frente a la gravedad y urgencia de los problemas ambientales a los que se enfrenta hoy la humanidad, las Naciones Unidas han instituido una Década de la Educación para el Desarrollo Sustentable. En este contexto, la SEMARNAT-CECADESU y el Centro de Estudios Sobre la Universidad de la UNAM (CESU-UNAM) realizan un estudio de la situación ambiental en las IES (Bravo-Mercado y Sánchez-Soler 2002a) y promueven un plan de acción para el desarrollo sustentable que básicamente, es una propuesta sobre educación y medio ambiente que pretende orientar las directrices fundamentales para la educación superior y vincularlas con los organismos públicos responsables de la política ambiental y con los diferentes sectores de la población. Con ello se espera detener los niveles de deterioro ambiental y construir alternativas técnico-científicas para la prevención y/o solución de los problemas ambientales (Bravo-Mercado y Sánchez-Soler 2002b). El plan de acción fue aprobado en la sesión XIV del Consejo de Universidades Públicas e Instituciones Afines (CUPIA) a fines de 2000. Con base en este plan de acción se están elaborando Planes Ambientales Institucionales (PAIS) en la mayoría de las 138 instituciones afiliadas a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). Más aún, con motivo de la celebración del Día Mundial de la Tierra 2007, el presidente de México, aseguró que el deterioro ambiental y la pobreza en México van de la mano, por lo que comprometió una política ambiental que logre el rescate de la tierra y combata el calentamiento global, a través de programas educativos y testificó la firma de un convenio entre la Secretaría de Educación Pública y la SEMARNAT para establecer criterios homologados para la defensa del medio ambiente en todas las escuelas de educación primaria, con el objetivo de “trabajar con urgencia la educación ambiental en las escuelas de México, sin excepción, y que cada niño aprenda a cuidar la tierra con la misma dedicación con la que aprende a sumar, a restar o a comprender”. Como se puede ver, en los planes académicos y en discurso político está presente ya, la urgente necesidad de combatir el deterioro ambiental y la contaminación en México. Uno de los primeros puntos en esa agenda se refiere a lograr una gestión integral óptima de los RSU para los próximos años ya que el manejo inadecuado de la basura doméstica contribuye en gran medida al deterioro ambiental que actualmente se vive en el país.

Manejo Integral de los RSU

El manejo de los RSU está jurídicamente sustentado, básicamente, en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (DOF 2005); la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos (DOF 2003) y la, norma oficial mexicana NOM-083 (DOF 2004) que estandariza 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 de manejo especial. No obstante que estas disposiciones son de carácter obligatorio para los municipios, la gestión integral de los RSU se enfrenta aún, entre otras, a las dificultades siguientes:

- Poco interés de las autoridades municipales para emprender proyectos de más de tres años que es el lapso que dura su gestión.
- Poco a continuidad a nivel municipal debido a cambio de intereses en turno.
- Sistema de recolección inexistente o insuficiente.
- Falta de capacitación de los funcionarios responsables y operadores del sistema para los RSU
- Falta de infraestructura y recursos económicos.
- Falta de voluntad y negociación política para romper esquemas sociales e intereses económicos que se han forjado alrededor del manejo inadecuado de los RSU.
- Inexistente e inadecuada planeación a largo plazo
- Carencia de conciencia ambiental y colaboración de parte de los usuarios para aplicar la estrategia de las tres erres.
- Falta de voluntad para emprender programas académicos con universidades y centros de investigación con miras a la revaloración de los subproductos de la basura.
- Sitios de disposición final inadecuados y que se saturan muy rápidamente, los cuales son incendiados de tiempo en tiempo para recuperar el espacio para el ingreso de basura nueva.
- Reticencia de la población para pagar por el servicio de recolección y de los políticos a aplicar impuestos verdes y de los industriales a pagarlos.

Si bien la NOM-083 no obliga explícitamente a depositar la basura en rellenos sanitarios, las especificaciones técnicas que solicita, se refieren a ese tipo de sitios de disposición final. Esto es así porque en los últimos años, los rellenos sanitarios están siendo utilizados en México como la única opción rápida y relativamente barata para eliminar la basura, aún cuando tienen el problema de requerir una inversión inicial muy fuerte para la mayoría de los municipios. Como ejemplo, podemos mencionar el caso del estado de México que en 1997 solo contaba con dos rellenos sanitarios y para el 2004 ya tenía 18.

Para evitar la rápida saturación de los rellenos sanitarios, los municipios que han construido este tipo de instalación, han emitido reglamentos para obligar a los usuarios a separar la basura, sin embargo, aún estos programas no permean en la población. Como caso típico puede mencionarse la ciudad de Mérida, en el estado de Yucatán, en la región Sureste de México. Ahí, hasta 1997 la basura era depositada en basureros a cielo abierto, en sitios destinados para ello o en tiraderos ilegales. En ese año fue construido un relleno sanitario. Inicialmente, el sitio recibía la basura de alrededor de 648 000 habitantes (INEGI 2000). Cinco años después, el relleno sanitario ya recibía los residuos de 781 146 habitantes (INEGI 2005) y se estaba saturando muy rápidamente. Con el fin de aumentar su vida útil he iniciar una nueva etapa en la gestión integral de los RSU fue establecido un reglamento que obligó a separar la basura en tres tipos: sanitaria, orgánica e inorgánica, a partir de enero de 2005. Además, fue comprada una planta de separación de subproductos reciclables y una planta de composta. A dos años de operación tanto la planta de separación de reciclables como la de composta operan con muy bajo rendimiento y se corre peligro de cerrarlas por incosteables. La razón es que un gran porcentaje de los usuarios no separa la basura en sus domicilios, la basura



llega mezclada al sitio de tratamiento y no puede ser procesada, teniendo que ser enviado un gran porcentaje al relleno sanitario. Por otra parte, cuando es separada por los usuarios, los reciclables, de alto valor, no llegan a la planta porque son retirados previamente por los recolectores.

Los rellenos sanitarios se presentan actualmente como la única opción inmediata y relativamente barata para mitigar el problema de la basura en México en las grandes ciudades. Sin embargo, su alto costo inicial, la falta de voluntad política y falta de información técnica entre la población limita su instalación en ciudades medias y pequeñas.

CONCLUSIONES

A pesar de que existe legislación suficiente, normas y reglamentos adecuados e instituciones gubernamentales y académicas que se ocupan de los RSU, aún no se logra una gestión integral y sustentable de los RSU en México y el deterioro ambiental que ocasionan es grave.

En las ciudades grandes o las zonas metropolitanas del país, en donde los municipios cuentan con recursos suficientes, se tienen sistemas de limpia y recolección de basura que funcionan con bastante buena eficiencia, ya sea que éstos sean público, estén concesionados a empresas particulares o de gestión mixta entre autoridades y la iniciativa privada. En esas mismas ciudades la aplicación de rellenos sanitarios, como sitio de disposición final para los residuos, se está generalizando pero no existe la cultura de la separación entre la población, la basura es enterrada prácticamente en su totalidad. El sector informal, es decir, los pepenadores, recuperan en forma solamente alrededor del 5 % de la basura, a pesar de que la legislación, reglamentos y manuales promueven la separación desde la fuente con el objetivo de minimizar el flujo de desperdicios desde hace ya varios años (SEMARNAP 1999; INE 1999; SEMARNAT 2001).

Las necesidades de sitios para disposición final de RSU de la población mexicana puede ser atendida con los cuatro tipos que describe la NOM-083, en función de las toneladas por día a depositar, es decir: tipo A, para cantidades mayores a 100; tipo B, para cantidades entre 50 y hasta 100; tipo C para 10 y menores que 50 y; tipo D para cantidades menores a 10. Los rellenos sanitarios tipo son manuales, requieren de menos exigencias técnicas y la operación y mantenimiento del sitio y puede ser realizada con muy poca infraestructura y personal especializado. Dado que el 23.3 % de la población mexicana vive en poblados de menos de 2 500 habitantes, rellenos de sanitarios del tipo D se deberían construir en el 98.3 % de las localidades que existen dispersas en el país, ya que si consideramos el promedio nacional de generación de 1kg por habitante por día, se espera que en aquellos sitios, se generen menos de 2. 5 toneladas por día. No obstante, precisamente en esas poblaciones es donde más reticencia los rellenos sanitarios causan. Esto se debe a falta de información, técnica, falta de voluntad política y la resistencia de la población a cambiar sus hábitos por una cultura la minimización de los RSU y, principalmente a pagar por el servicio de recolección y el depósito final de residuos, lo que hace inoperante todo el sistema.

A pesar de las dificultades que existen actualmente en México para establecer una gestión integral de los RSU se han dado pasos en la dirección correcta. La gravedad del deterioro ambiental de México está obligando a las instituciones gubernamentales a buscar soluciones para revertirlo así está también presente en el discurso político. Por



otra parte, las instituciones académicas han emprendido una cruzada ambientalista, no solo para investigar en torno a los problemas sobre el tema, sino que se pretende formar profesionales con visión y misión para lograr un desarrollo sustentable, mediante los PAIS (Bravo-Mercado y Sánchez-Soler 2002a). En este mismo sentido, cada vez se incrementa más la participación de investigadores y tecnólogos en la problemática de los RSU. Sin embargo, las nuevas tecnologías no deben dejar de lado, el aspecto social ya que un número importante de personas de escasos recursos y principalmente mujeres (Dos-Santos y De-Pauli 2006) y niños aprovechan los subproductos como medio de subsistencia (Castillo-Berthier 2003; y Liverman et. al. 1999), si no se les toma en cuenta, pueden echar por tierra cualquier proceso innovador como ya se ha mencionado, el caso Mérida (Maldonado 2006). Tan solo en la ZMVM, existen entre 25-30 mil pepenadores que viven de la recolección, separación y venta de materiales reciclables (De la Torre et al. 2003). El material reciclable, por lo general es exportado o enviado lejos de su fuente de generación, por lo que es pagado a precios muy bajos (Maldonado 2006). Por ello, es urgente que México, emprenda programas para revalorar los reciclables. Por ejemplo, para el desarrollo de tecnologías para producir fuentes alternativas de energía, como lo están haciendo algunos países emergentes que se han abocado desde hace varios años a diseñar y ensayar métodos y procesos tecnológicos para producir petróleo o sus derivados, a partir del plástico reciclado (Guang-Hua et. al., 2007) o combustibles como el etanol a partir de residuos de la agricultura, de la industria y de los residuos urbanos (Prasad et. al., 2007). A nivel mundial, México es el tercer productor petróleo y el noveno en reservas de crudo (<http://www.pep.pemex.com>), con producción diaria promedio de 3.16 mil millones de barriles, de los cuales exporta diariamente mas de la mitad, es decir, 1.7 mil millones de barriles, sin embargo solo cuenta con 15.51 mil millones de reservas probadas; 15.26 mil millones de reservas probables y; 14.6 mil millones de reservas posibles (<http://sie.energia.gob.mx>). Es decir que entre reservas probadas y probables, el país solo cuenta con escasos 10 años más de petróleo, al ritmo actual de producción. Por otra parte, si consideramos que más del 53% de la basura que se produce a nivel nacional es orgánica y 4 % son plásticos diversos (INE 1996), como promedio nacional la generación de un 1kg por día per cápita (De la torre et. al. 2003) y 103.3 millones de habitantes (INEGI 2005), entonces podemos estimar que actualmente se produce alrededor de 54.6 mil toneladas diarias de residuos orgánicos y que 4.1 mil toneladas diarias son plásticos que podrían ser transformados en combustibles y/o derivados del petróleo, en vez de estar siendo enterrados en los rellenos sanitarios como ocurre actualmente en la mayor parte del país. Por ello, para el futuro de la gestión integral y sustentable de los RSU, se hace prioritario que México establezca en un plazo corto, programas estratégicos de investigación y desarrollo tecnológico para el reciclaje de los RSU que junto con los programas de educación ambiental y desarrollo sustentable podrían revertir, en los próximos años, el enorme deterioro ambiental presente en México actualmente.

Referencias



1. Álvarez-Romo L. (2007) 'Conferencia de Prensa', Diario de Yucatán, Sección Nacional/Internacional, pagina 11, Abril 22.
2. Armijo de Vega, C., Ojeda-Benítez, S. and Ramírez-Barreto E. (2003) 'Mexican educational institutions and waste management programmes: a University case study', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 39, pp. 283-296.
3. Bravo-Mercado, M.A. and Sánchez-Soler, M. D. (2002a) 'Acciones Ambientales de las Instituciones de Educación Superior en México en la Perspectiva del Desarrollo Sustentable: antecedentes y situación actual', Centro de Educación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Asociación de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), México, D. F.
4. Bravo-Mercado, M. A. and Sánchez-Soler, M. D. (2002b) 'Plan de Acción para el Desarrollo en las Instituciones de Educación Ambiental', Centro de Educación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Asociación de Universidades e Instituciones de Educación Superior ANUIES), México, D. F
5. Bernache G. (2003) 'The environmental impact of municipal waste management: the case of Guadalajara metro area', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 39, pp. 223-37.
6. Buenrostro, O., Bocco, G. and Vence, J. (2001a) 'Forecasting the generation of urban solid waste in developing countries; a case study in Mexico', Journal of the Air and Waste Management Association, Vol. 51, No.1, pp. 86-93.
7. Buenrostro, O., Bocco, G. and Bernache, G. (2001b) 'Urban solid waste generation and disposal in Mexico. A case study', Waste Management and Research, Vol. 19, pp. 169-76.
8. Buenrostro, O., Bocco, G. and Cram, S. (2001c) 'Classification of sources of Municipal solid wastes in developing countries', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 32, pp. 29-41.
9. Campell, C. J. and Laherrere, H. (1998) 'The end of the cheap oil', Scientific American; Vol. 3, pp. 78-83.
10. Castillo-Berthier, H. (1983a) 'The Garbage Society; Caciquism in Mexico City. UNAM Institute for Social Research, Mexico.
11. Castillo-Berthier, H., (2003b) 'Garbage work and society', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 39, pp. 193-210.
12. De-la-Torre Q., Wehenpol G., Sánchez-Gómez J., López-Villalobos A. and Nyssen- Ocaranza, A. (2003) 'La basura en el limbo: Desempeño de Gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos sólidos urbanos', COMIA-GTZ, Méx., D. F.
13. DOF (2005) 'Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente', Diario Oficial de la Federación. H. Congreso de la Unión, Méx., D. F.
14. DOF (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para 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. H. Congreso de la Unión. Mex., D. F.



15. DOF (2003). 'Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos', Diario Oficial de la Federación. H. Congreso de la Unión. Mex., D.F.
16. Dos Santos F. A. L. and de Pauli, L. (2006) 'Estudio sobre la cuestión de género en la gestión integral de residuos', SMAGEM-GTZ, Mex., D.F.
17. Gaxiola, H. (1995). 'Patrones de Consumo y Basura Doméstica en Mexicali', Master of Science Thesis in Architecture, Universidad Autonoma de Mexicali, B. C.
18. INE (1999). Instituto Nacional de Ecología (National Institute of Ecology). 'Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos', Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca. Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas, México, D. F.
19. INE (1996) (National Institute of Ecology), Instituto Nacional de Ecología, Programa Nacional de Medio Ambiente 1995-2000.
20. INEGI (2000), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (National Institute of Statistic Geography and Computer), Censo de población y vivienda 2000, México, D. F.
21. INEGI (2005), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (National Institute of Statistic Geography and Computer), II Conteo de Población y Vivienda 2005. México, D. F.
22. Hernández-Barrios, C., Wehenpol G. and Heredia-Cantillana, P. (2005) 'Guía para la realización de planes de regularización conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003', SEMARNAT-GTZ, Méx., D. F.
23. Hernández-Barrios, C., Wehenpol G., Heredia-Cantillana, P. and de Buen-Rickarday (2004) 'Guía para el Cumplimiento de la -083-SEMARNAT-2003', SEMARNAT-GTZ, Méx., D. F.
24. Hernández-Barrios, C., Wehenpol G. and Sánchez-Gómez, J. (2003) 'Guía para Desarrollo, Presentación y Evaluación de Proyectos Ejecutivos para Rellenos sanitarios', SEGEM-GTZ, Méx., D. F.
25. Johannessen L. M. and Boyer, G. (1999) 'Observation of Solid Waste Landfills in Developing Countries: Africa, Asia and Latin America', Urban and Local Working Paper Series # 3, World Bank.
26. Maldonado, L. (2006) 'The economics of urban solid waste reduction in educational institutions in Mexico: a 3-year experience', Resources, Conservation and Recycling Vol. 48, pp. 41-55.
27. Leff, E. (2007) Coordinador del Programa para el Medio Ambiente(PNUMA) para México de las Naciones Unidas, Conferencia de Prensa, Diario de Yucatán, Sección Nacional/Internacional, pp. 9, Abril 17.
28. Liverman, D. M., Varady, R. G., Chávez, O. and Sánchez R. (1999) 'Environmental issues along the United States-Mexico border; drivers of change and responses of citizens and institutions', Annual Review of Energy and Environmen, Vol. 24, pp. 607-690.
29. NMX-AA-015 (1985)'. Mexican Standard. 'Environmental protection-Soil pollution- municipal solid residues- Sampling- Quarter method. Dirección General de Normas (General Office for Standards). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Secretary of Commerce and Industrial Foment).
30. NMX-AA-022 (1985). Mexican Standard. 'Environmental protection-Soil pollution- municipal solid residues- byproducts selection and quantification. Dirección General de Normas (General Office for

Standards). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Secretary of Commerce and Industrial Foment).



31. NMX-AA-019 (1985). Mexican Standard. 'Environmental protection- Soil pollution- municipal solid residues- in situ volumetric weight'. Dirección General de Normas (General Office for Standards). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Secretary of Commerce and Industrial Foment).
32. NMX-AA-061 (1985). Mexican Standard. 'Environmental protection-Soil contamination- municipal solid residues- determination of generation. Dirección General de Normas (General Office for Standards). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Secretary of Commerce and Industrial Foment).
33. NMX-AA-091 (1987). Mexican Standard. 'Calidad del Suelo- terminología' (soil quality-terminology). Dirección General de Normas (General Office for Standards). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Secretary of Commerce and Industrial Foment).
34. Ojeda-Benítez, S. and Beraud-Lozano, J. L. (2003). 'The municipal Solid Waste Cycle in Mexico: Final Disposal', Conservation and Recycling, Vol. 39, pp. 239-50.
35. Ojeda-Benítez, S., Armijo-de-Vega, C. and Ramírez-Barreto, M. E. (2003). 'Characterization and quantification of household solid wastes in a mexican city', Resources Conservation and Recycling, Vol. 39, pp. 211-22.
36. Prasad, S., Singh, A. and Joshi, H. C. (2007) 'Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues', Resources, Conservation and Recycling Vol. 50, pp. 1-39.
37. Restrepo, I., Bernache, G. and Rachje, W. (1991) 'Los demonios del consumo, basura y contaminación', El Centro de Ecodesarrollo, México, D. F.
38. Restrepo, I. and Phillips, D. (1985) 'La basura. Consumo y desperdicio en el D. F.', El Centro de Ecodesarrollo. México, D. F.
39. Rodríguez, M. and Córdoba, A. (2006) 'Manual de Compostaje Municipal-Tratamiento de Residuos Urbanos'. INE-GTZ, Mex, D.F.
40. Schübeler, P., Wehle K. and Christensen, J. (1996) 'Conceptual Framework for Municipal Solid Waste Management in Low-Income Countries', Environmental and Natural Resources Group and Urban Development Programme, UWDP, New York, USA.
41. Schübeler, P. (1997) 'A conceptual framework for municipal solid waste management in developing countries', Waste Management & Research, Vol. 15, pp. 437-48.
42. SEMARNAP (1999). Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca. 'Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos', Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas. México, D. F.
43. SEMARNAT (2001) (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2001, "Guía para la gestión integral de los residuos sólidos, municipales", Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección de Manejo Integral de Contaminantes, Mex. D. F.
44. Trejo-Vázquez, R. and Céspedes-Soto, R. (1989) 'The recycling from municipal solid wastes in México', Journal of Resources Management and Technology, Vol. 17, pp. 15-7.
45. Vest, H. (2003) 'Información Técnica sobre reciclaje', SEGEM-GTZ, Mex., D. F.



46. Wasserman, E. (1999) 'Environment, health and gender in Latin America; trends and research issues', Environmental Research; Vol. 80, No 3, pp. 253-73.
47. Wehenpol, G. and Ambrosius, C. (2006) 'Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, Experiencias de Nueve Años de Cooperación Técnica Alemana en México, Reporte de la GTZ División 44 Medio Ambiente e Infraestructura, Méx. D. F.
48. Wehenpol, G. and Hernández-Barrios, C. (2006) 'Guía para la Elaboración de Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos', SEMARNAT-GTZ, Méx., D. F.
49. Wehenpol G., Hernández-Barrios, C. and Heredia-Cantillana, P. (2006) 'Manual para la Supervisión y Control de Rellenos Sanitarios', tercera edición, SEMARNAT-GTZ, Méx., D. F.
50. Wehenpol G. and Hernández-Barrios, C. (2002) 'Manual para la Rehabilitación Clausura y Saneamiento de Tiraderos a Cielo Abierto en el Estado de México', SEGEM-GTZ, Méx., D. F.
51. Guang-Hua Zhang, Jung-Feng Zhu and Okuwaki A. (2007) 'Prospect and current status of recycling waste plastics and technology for converting them into oil in China', Resources, Conservation and Recycling Vol. 50, pp. 231-239.

ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL TIRADERO DE MORELIA.

J.A. Nila-Cuevas¹, O. Buenrostro-Delgado², L. Marques-Benavides³,
R. Alfaro Cuevas Villanueva⁴.

^{1, 2, 3}

**Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

Av San Juanito Itzicuaró S/N, Col. San Juanito Itzicuaró, Morelia, Mich. C.p.58302

Josealfre_83@hotmail.com¹; otonielb@umich.com.mx²; lili.marquez@gmail.com³, (443)
3.34.04.75 ext 115

⁴**Laboratorio de espectrofotometría de absorción atómica**

**Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

Edificio B-5 Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México. C.p. 58000

rvalfaro@umich.com.mx, (443) 3.26.57.88 – 3.26.57.90 ext 127-128

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar mediante técnicas de espectrofotometría de absorción atómica de flama (FLAA) y el método de generación de hidruros, la presencia de metales pesados y arsénico en los residuos sólidos orgánicos confinados en el antiguo relleno de tierra de Morelia, Mich. Se analizaron ocho muestras por duplicado tomadas al azar de diferentes pozos, cuya edad de confinamiento fue de cinco y diez años.

Las concentraciones de los contaminantes analizados (Fe, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn, Ag y As) no rebasaron los límites máximos permisibles, de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2003. Las fracciones orgánica e inorgánica y Hierro fueron las que presentaron una diferencia estadísticamente significativa, para el variable tiempo de confinamiento de los residuos, como para la ubicación de los sitios de muestreo.

Los resultados indican que la fracción orgánica está reteniendo algunos de los contaminantes analizados; no obstante, aun continúan migrando una mayor parte de éstos hacia el exterior del sistema (tiradero), a través de los lixiviados. Sin embargo, es necesario profundizar en esta investigación, a efecto de hacer más concluyente la aseveración anterior.

INTRODUCCION

La disposición final inadecuada de los residuos sólidos en la mayoría de las comunidades del estado de Michoacán, ocasiona severos impactos ambientales y de salud pública, pues la mayoría de las poblaciones depositan los residuos sólidos a cielo abierto y sin ningún tratamiento ocasionando con esto la contaminación del suelo, agua y aire (SEDUE, 2001).

La contaminación que ocasionan los residuos sólidos es consecuencia de su manejo y disposición inadecuados, ya que éstos frecuentemente se depositan en el ambiente sin valorar el efecto que tienen sobre los ecosistemas y la salud de las personas.

En los rellenos sanitarios (RS) se presentan reacciones biológicas, químicas y físicas que alteran la composición de los residuos depositados en ellos. Las reacciones químicas producen la disolución y arrastre en suspensión de los materiales de residuos y de productos de conversión biológica en los líquidos que se filtran a través de los residuos. La descomposición anaerobia de los residuos sólidos dentro del RS produce biogás y lixiviados que al escapar hacia el exterior del RS, afectan ostensiblemente la calidad de los ecosistemas circundantes (Tchobanoglous, 1977).

El lixiviado es el líquido contaminado que drena a través de la capa de residuos, arrastrando materiales disueltos o suspendidos; varía ampliamente en cuanto a su composición, según la antigüedad del relleno y del tipo de residuos que contienen (Glynn, 1999). Uno de los principales problemas de los lixiviados es su contenido de metales pesados, ya sea de manera disuelta o coloidal.

El no seguir adecuadamente la normatividad en materia de disposición de RS, incide en la mezcla de residuos peligrosos y de materiales metálicos, los cuales mediante el proceso de descomposición libera a estos elementos metálicos dentro de la matriz de los residuos. Sin embargo, los procesos de intercambio catiónico inciden en que una cantidad de estos metales sean atrapados por la fracción orgánica. La cantidad en que los metales son atrapados dependerá de variables, como el pH, el tipo de molécula orgánica, la humedad y el tipo de metal.

Es de gran importancia conocer las concentraciones de metales que se encuentran mezcladas en los residuos orgánicos confinados en el antiguo relleno de tierra de Morelia, para de esta manera determinar si sobrepasan las concentraciones permitidas por la normatividad mexicana y que cantidad de éstos puede estar escapando de la matriz de los residuos sólidos, a través de la suspensión de lixiviados.

El estudio se realizó en el antiguo relleno de tierra de Morelia, el cual se localiza a 15 km al Oeste de la ciudad de Morelia, a 2000 msnm y presenta una pendiente aproximada de 15° con respecto a la ciudad. Ha estado en operación desde 1984 y se calcula que se encuentran confinados alrededor de 639,157 toneladas de residuos sólidos (Pinette, 2008)

Los estudios son escasos en la zona de estudio. Israde (2005), realizó muestreos de los lixiviados que se producen en el sitio y de pozos cercanos, durante las épocas de lluvias y de estiaje. Entre los resultados más relevantes, se encontraron concentraciones altas de

cadmio ($>0.01\text{mg/L}$), además de cromo, cobre, níquel, plomo y arsénico, los cuales rebasan los estándares establecidos por la norma oficial mexicana NOM-127-66A1-1994 (DOF, 1996), salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en varias fases.

Fase 1: Toma de muestras de los residuos sólidos.

Se perforaron ocho pozos con una retro-excavadora, seleccionados al azar y localizados en distintas coordenadas geográficas del tiradero. Cada pozo se perforó a una profundidad de tres metros, tomando una muestra de RS, de aproximadamente cinco kilos.

Fase 2: Selección y cuantificación de subproductos

Se realizó la selección y cuantificación de subproductos con base en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-022-1985 (SECOFI, 1985). Las diferentes fracciones se trituraron y tamizaron para obtener una muestra más fina.

Fase 3: Preparación de las muestras para los análisis de metales y arsénico.

Esta fase se realizó en diferentes etapas:

- a) Los frascos de polietileno se lavaron con una solución detergente no iónica libre de metales y se enjuagaron dos veces con agua desionizada.
- b) Las muestras de la fracción orgánica se pesaron en fresco y secadas en una estufa marca Riossa, modelo HCF-41, a 60°C , por 48 horas o hasta obtener peso constante. Durante las primeras ocho horas de secado se removieron para que no se endurecieran y posteriormente se trituraron en un mortero y tamizados para obtener una muestra más fina.

- c) Previo al análisis de los metales se tomó un gramo de muestra y se realizó una digestión ácida de sedimentos con ácido nítrico (HNO_3) 1:1, de acuerdo con el método EPA 3050B (EPA, 2002).

Fase 4: Análisis de metales pesados y arsénico.

Los análisis de metales y arsénico se realizaron por duplicado. La determinación de metales pesados se realizó por espectrometría de absorción atómica de flama (FLAA) y el arsénico se determinó por el método de generación de hidruros (Villalobos, 2007).

Fase 5: Análisis estadísticos.

Los resultados fueron analizados en el programa estadístico Statgraphics (c) plus. Se utilizó la prueba de rango múltiple (Scheffe).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto a la caracterización de las muestras de residuos, se pudieron identificar alrededor de 20 componentes, los cuales se agruparon en ocho rubros (tabla 1).

Tabla No. 1. Composición de las muestras de residuos sólidos del antiguo relleno de tierra de Morelia (gr. peso fresco).

Muestra	Edad	fracción orgánica	plástico rígido	plástico flexible	Vidri o	material ferroso	material no ferroso	papel-cartón	residuos peligrosos	otros
Pozo 1	5	4522	459	459	1	7	367	143	0	517
Pozo 2	5	1737	0	0	60	0	28	127	0	155
Pozo 3	5	863	384	384	39	11	18	26	0	55
Pozo 4	10	611	212	176	92	0	329	156	0	485
Pozo 5	10	694	248	248	153	7	3	158	0	168
Pozo 6	10	507	434	434	38	280	5	67	0	352
Pozo 7	10	1043	112	112	209	7	246	154	0	407
Pozo 8	5	4583	538	538	55	3	254	68	0	325

En la tabla.2 se observan los valores de los metales analizados, el Cadmio y la plata no fueron detectados, ya que sus concentraciones resultaron menores al limite de detección del aparato (0.2 mg/L).

Tabla 2. Concentración de los contaminantes analizados en la fracción orgánica de las muestras de residuos sólidos del antiguo relleno de tierra de Morelia (Mg/L)

Muestra	Fe	Cu	Cd	Pb	Ni	Zn	As
Pozo 1	1841	0.489	-0.177	0.291	0.86	1.044	0.001
Pozo 2	1872	0.394	-0.242	0.399	0.708	1.226	0.001
Pozo 3	1810	0.666	-0.254	0.699	0.709	3.49	0.003
Pozo 4	1780	0.404	-0.213	0.898	0.649	3.76	0.004
Pozo 5	1776	1.3025	-0.152	0.814	0.629	3.6	0.004
Pozo 6	808.95	0.777	0.013	0.664	0.917	0.545	0.001
Pozo 7	1657	0.336	0.394	0.444	0.854	3.09	0.003
Pozo 8	1744	0.508	0.482	0.544	0.747	1.4899851	0.001
Pozo 1R	1785	0.36	-0.148	0.215	0.836	0.834	0.001
Pozo 2R	1802	0.262	-0.245	0.379	0.617	1.16	0.001
Pozo 3R	1756	0.638	-0.269	0.658	0.634	3.13	0.003
Pozo 4R	1758	0.401	-0.239	0.867	0.651	3.05	0.003
Pozo 5R	1758	1.096	-0.258	1.138	0.614	3.43	0.003
Pozo 6R	1847	0.818	-0.163	0.639	0.814	1.8133152	0.002
Pozo 7R	1640	0.347	0.049	0.487	0.817	2.91	0.003
Pozo 8R	1738	0.789	0.132	0.641	0.759	1.4033193	0.001

*= menor al limite de detección del aparato (mg/L).
Limite de detección Cd= 0.1 mg/L

De acuerdo con los resultados, las concentraciones encontradas para todos los metales y arsénico se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (LMP), incluidos en la norma NOM-052-SEMARNAT-2003.

En la tabla 3 se muestran los resultados de la prueba de Scheffe con la variable tiempo de confinamiento de los residuos.

Tabla No. 3. Resultados de la prueba de Scheffe (tiempo de confinamiento de los residuos)

PARÁMETRO	MEDIA DE SHEFFE	DIFERENCIA
		ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVA
Fe	1710.81	SI
Cu	0.599219	NO
Cd	-0.080625	NO
Pb	0.611063	NO
Ni	0.738438	NO
Zn	2.24844	NO
As	0.0021875	NO
Fracción orgánica	1815.0	SI
Fracción inorgánica	1040.5	SI

Las variables respuesta fracción orgánica e inorgánica y Fierro fueron las que presentaron una diferencia estadísticamente significativa.

En la tabla 4 se muestran los resultados de la prueba de Scheffe con la variable ubicación de los sitios de muestreo (pozos). Similar a la prueba anterior, la fracción orgánica e inorgánica y el Fierro mostraron una diferencia estadísticamente significativa

Tabla No. 4. Resultados de la prueba de Scheffe (ubicación de los sitios de muestreo pozos).

PARÁMETRO	MEDIA DE SHEFFE	DIFERENCIA
		ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVA
Fe	1710.81	SI
Cu	0.599219	NO
Cd	-0.080625	NO
Pb	0.611063	NO
Ni	0.738438	NO
Zn	2.24844	NO
As	0.0021875	NO
Fracción orgánica	1815.0	SI
Fracción inorgánica	1040.5	SI

DISCUSIÓN

De acuerdo con Israde (2005), la concentración de los metales que se encontraron fueron el cadmio (0.462 mg/L), plomo (1102 mg/L), níquel (10,678 mg/L), arsénico (0.302 mg/L), cromo (47,731mg/L), cobre (2403 mg/L), estas concentraciones fueron comparadas con la NOM-127-66A1-1994. Las concentraciones reportadas por Israde (2005), en las muestras de lixiviados y agua rebasan los LMP; no obstante, la norma utilizada como referencia, es para agua para uso y consumo humano. Lo cual implica que los LMP establecidos en esta norma sean más restringidos con respecto a los LMP de la norma NOM-052-SEMARNAT-2003 (DOF, 2006). Esta última norma fue la utilizada para la comparación de las concentraciones de metales de este trabajo. Como consecuencia, las concentraciones reportadas no rebasan los LMP.

La comparación de los resultados de Israde (2005), con las encontradas en esta investigación sugieren que aunque en ambas, las determinaciones de los contaminantes se hicieron en sistemas diferentes (lixiviado y fracción orgánica respectivamente), y de que en ambas investigaciones no rebasan los LMP establecidos en la normatividad mexicana.

Las concentraciones mas altas reportadas en Israde (2005) en lixiviado, indican que los contaminantes analizados escapan hacia el exterior del sistema (tiradero), a través de los lixiviados.

CONCLUSIONES

La comparación de los resultados reportados por Israde (2005) en lixiviado y los encontrados en este trabajo, indica que la fracción orgánica está reteniendo algunos de los contaminantes analizados; no obstante, aun continúan migrando una mayor parte de éstos, hacia el exterior del sistema (tiradero), a través de los lixiviados. Sin embargo, es necesario profundizar en esta investigación, a efecto de hacer más concluyente la aseveración anterior.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Consejo de la Investigación Científica de la UMSNH y forma parte de la investigación para obtener el grado de Licenciatura en Biología del primer autor. Se agradece el apoyo del Biólogo Benjamín Villalobos Castañeda para la realización de los análisis de metales y arsénico.

REFERENCIAS

1. Buenrostro D. O. (2001). Residuos Sólidos Municipales: *Perspectivas desde la investigación multidisciplinaria*. Editorial UMSNH. **49**. 50,53.
2. DOF, 2006 (Diario Oficial de la Federación) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052- SEMARNAT 2005 Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM%20052_23_JUN_2006.pdf. Consultada: junio 2008.
3. DOF, 1996 (Diario Oficial de la Federación) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-66A1-1994 (DOF, 1996), salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
4. EPA (Environmental Protection Agency) (2002). Method 3050: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. USA.
5. Glynn, H, Gary W. Heinke. 1999. *Ingeniería Ambiental*, 2da edición. Editotial prentice Hall. México. p 560.
6. Israde, I., Buenrostro, O. Carrillo, A. (2005). *Geological characterization and enviromental implications of the placement of the Morelia dump*, Michoacán, central México.
Jour of the Air and Was Manag Assoc **55** (6) 755-764.
7. Pinette. F. (2008) *Composición y parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos del tiradero de Morelia*. Tesis de maestría en proceso. Facultad de Biología. UMSNH. Morelia Michoacán.
8. Tchobanoglous, G, Theisen, y Vigil S. (1997). *Gestión Integral de los Residuos Sólidos* (volumen II) McGraw-Hill. México. pp. 469-501.
9. Villalobos. B. (2007) *Contenido de metales pesados en agua y sedimentos en la desembocadura del río grande de Morelia en el lago de Cuitzeo*. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología. UMSNH. Morelia Michoacán

10. SECOFI, (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) (1985) Norma NMX-AA-022-1985 protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-selección y Cuantificación de subproductos.

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesnормas/normas%20mexicanas%20vigentes/nmx-aa-061-1985.pdf>

Consultada: junio 2008.

11. SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología). (2001). Manual para el manejo integral elemental de los residuos sólidos no peligrosos. Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo.

COSTOS DE ELABORACION ARTESANAL DE LÁMINAS DE CARTON

Elizabeth Ramón García ¹, Mario José Romellón Cerino ²

**1. Departamento de Química-Bioquímica-Ambiental
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
bioleliza_ramgar@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

**2. Departamento de Química-Bioquímica-Ambiental
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
mjrcerino@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

RESUMEN

Las industrias establecidas en el Estado de Tabasco son el mercado que se beneficiara con el reciclaje del papel y cartón. En la Ciudad de Villahermosa está creciendo constantemente el índice poblacional, y los desechos sólidos generados son de gran volumen, por lo tanto se pueden aprovechar para elaborar nuevos productos que requieren menos procesos y materiales en su elaboración, obteniendo un subproducto ecológico más económico que las láminas de cartón comerciales. Para poder determinar el costo de la elaboración de las láminas de cartón a partir del reciclaje, se tomó una muestra de 4 Kg de papel y 2 Kg de cartón lo cual costo en total \$5.40, el total del agua requerida para el proceso fue de 515 litros, costando el metro cúbico de agua potable \$0.98 y el costo total del agua utilizada fue de \$0.50. Al final del proceso se obtuvieron 5.28 Kg de lámina de cartón lo que representa un 88% de rendimiento de los 6 Kg que se procesaron y se obtuvo un costo final total de producción de \$6.30 por lámina.

Palabras clave: cartón, costo, elaboración, láminas.

INTRODUCCION

Está establecido que una persona genera directa o indirectamente en promedio 150 Kg de papel y cartón al año. Si este papel y cartón se reciclara, salvaríamos al planeta de la tala de árboles durante 25 años. Debemos tener en cuenta que la producción de una tonelada de papel requiere más de 12 árboles de más de 20 años, es decir 3.8 m³ de madera, 100 000 litros de

agua y 5 000 Kw/h de energía. Pero, sí reciclamos el papel usado, las cantidades se reducen a 2 000 litros de agua y aproximadamente la mitad de energía, amén de la madera que sustituimos por el papel usado. El reciclaje y reuso de papel y cartón persigue la disminución del uso indiscriminado y abusivo de los recursos naturales y energéticos. Algunos objetivos se basan en la utilización al 100% de fibras recuperadas, el uso de sustancias no químicas blanqueadoras, el uso de aditivos que sean biodegradables, la producción de una mínima contaminación y el consumo mínimo de energéticos y no renovables.

METODOLOGÍA

Para poder determinar el costo de la elaboración de láminas de cartón a partir del reciclaje, se procesaron 100 litros de pulpa de manera artesanal. El proceso requirió de 6 Kg. de desechos de papel y cartón, 100 litros de agua para su hidratación más 165 litros de agua para el lavado de la pulpa y 250 litros de agua para el refinado de la fibras; estos procesos se realizaron utilizando una licuadora casera de un vaso de 5 litros de capacidad, lo cual requirió de 9 horas en total para completar el batido y refinado de la pasta. La Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) establece que el consumo de energía de una licuadora es igual a 350 watts por hora. En total, se gastaron 3150 watts (3.15 Kw) para procesar los 100 litros de pulpa-pasta, esta cantidad de energía cae dentro del rango de consumo básico establecido por la C.F.E. y que tiene un costo de \$0.409. El papel y cartón se compran por separado y a diferentes precios. El kilogramo de papel se compra hasta en \$1.20 el cartón se llegó a comprar hasta por \$0.40. Para la muestra, se utilizaron 4 kilogramos de papel y 2 kilogramos de cartón, lo cual costó en total \$5.40. El total de agua requerida para todo el proceso fue de 515 litros. En Tabasco el agua potable tiene un precio de \$0.98 por metro cúbico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El costo total del agua utilizada para la elaboración de las láminas fue de \$0.50. Al final del proceso, se obtuvieron 5.28 Kg. de láminas de cartón, lo que representa un 88% de rendimiento de los 6 kg que se procesaron y que obtuvo un costo final total de \$6.30 por lámina.

A nivel mundial, la industria del papel consume hasta 4 000 000 000 de árboles cada año, algunos de ellos procedentes de bosques primarios que no pueden sustituirse. Para fabricar la

pasta, la industria vierte a los ríos 950 000 toneladas de Organoclorados, emite la atmósfera 100 000 toneladas de SO₂ y 20 000 toneladas de Cloroformo.

Consumo y ahorro obtenido en la fabricación de una tonelada de papel.

Factores	Pasta virgen de madera	Pasta de recuperación (residuos reciclados)
Madera/papel	3 a 5 m ³ de madera	1.05 a 1.2 m ³ de papel
Energía	0.4 a 0.7 Tep(*)	0.15 a 0.25 Tep
Agua	280-450 m ³	2 m ³
Contaminación	Agua: Elevada	Agua: Moderada o baja
	Aire: elevada	Aire: nula o muy baja

(*) Tep: Toneladas equivalentes de petróleo

Fuente: Greenpeace

CONCLUSIONES

Las ventajas del reciclaje son significativas especialmente en lo que respecta al ahorro de agua. La producción de papel reciclado contamina mucho menos las aguas, especialmente si la pasta reciclada no es blanqueada con cloro, que la fabricación de la misma cantidad de fibra virgen. Desde el punto de vista ambiental el papel reciclado pos-consumo no blanqueado constituye la mejor opción. La contaminación producida con el reciclaje, no es por tanto, una consecuencia del proceso de reciclaje, sino de los compuestos usados en la fabricación del papel original.

Así mismo, es recomendable el reciclado del papel y cartón de desecho como una alternativa para ayudar a disminuir una cantidad de desechos sólidos que diariamente se acumulan en Villahermosa, Tabasco. Y con la elaboración de láminas de cartón a partir de estos materiales, no solo se fabrica un producto que ayudara a la disminución del volumen de Residuos Sólidos Municipales, sino que también se protegen los bosques y selvas que son talados para satisfacer la producción de papel nuevo a partir de celulosa virgen.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Villahermosa y en especial a los Laboratorios de Físicoquímica y Química Cualitativa y Cuantitativa.

REFERENCIAS

- Andrade, T. J.(2003). *Guía para la realización de proyectos de investigación*. UJAT. Villahermosa, Tabasco. 90 p. Número de Registro: 97751-1996.
- Asenjo, M. (1979). *El papel y su fabricación*. INLE. España. 580 p.
- Ayres, G. H. (1970). *Análisis Químico Cuantitativo*. Harla. México. 740 p.
- Casey, J. P. (1990). *Pulpa y papel Química y Tecnología Química*. V. I. Limusa. México. 950 p.
- Casey, J. P. (1990). *Pulpa y papel Química y Tecnología Química*. V. II. Limusa. México. 757 p.
- SEMARNAT. (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. México, D.F. 235 p. ISBN: 968-817-497-1.



PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL ENFOCADO A LOS RESIDUOS SÓLIDOS

J. L. Guevara Franco¹, L. P. Flores Castillo¹

1. División de Ciencias e Ingenierías

Universidad de Quintana Roo

Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort Col. Del Bosque
Chetumal, Quintana Roo, México.

luisguez@uqroo.mx, pafloros@uqroo.mx, Tel. 01 983 83 50390

RESUMEN

El objetivo general del programa de Educación Ambiental y Manejo de los Residuos Sólidos en la Escuela Primaria Benito Juárez, es crear en la comunidad una actitud responsable en el cuidado y conservación del ambiente informando y mostrando los problemas de contaminación ambiental, fomentar la separación y apoyar el reciclamiento, así como difundir el impacto ambiental y de salud que implica un manejo inadecuado de los residuos sólidos. El programa contempla los siguientes objetivos: Informar y sensibilizar a la comunidad sobre los problemas de contaminación y salud que producen los residuos sólidos; Difundir y fomentar la cultura de la separación de residuos sólidos y las ventajas de la reducción, la reutilización y el reciclado; Fomentar la colaboración y participación de la comunidad escolar: maestros, alumnos, padres de familia, personal directivo y administrativo, en el manejo adecuado de los residuos sólidos del entorno escolar. Con este programa se logró una sensibilización hacia el problema de los residuos sólidos por parte de los alumnos, maestros y padres de familia.

Palabras clave: Ambiente; educación ambiental; residuos sólidos.

INTRODUCCIÓN

La basura es un problema que afecta a todos, todos formamos parte del problema como generadores de basura, pero no todos participamos en la solución de este problema. En nuestras casas, escuelas, oficinas, centros comerciales etc., producimos basura que no siempre llega al cubo de la basura generando contaminación.

Los residuos líquidos, sólidos y gaseosos han sido utilizados como índices e indicadores de desarrollo, calidad de vida, en lo que respecta a los residuos sólidos, ya no solo es el parámetro de generación per capita de residuos sólidos (cantidad de basura generada en promedio por



habitante por día) que se analiza como en antaño, estudios recientes consideran ahora la separación de envases y vidrio como indicadores de sostenibilidad como lo propone García y Benayas (2007). El informe Bruntland (1987), considera a los residuos sólidos como uno de los principales problemas ambiental, fuente de contaminación marina al usar a los océanos y ríos como vertederos.

Los centros escolares deben de asumir su responsabilidad desde su ámbito de actuación, al igual que los gobiernos, en el análisis de los problemas ambientales y establecer pautas para mejorar. En las escuelas (de estados unidos) se produce 240 libras de residuos sólidos por estudiante por escuela anualmente, por lo que en 180 días de clases al año cada estudiante genera de 1 a 1.5 libras por día. CIWMB (1994).

El concepto de educación ambiental ha evolucionado, la educación para el desarrollo sostenido o sostenibilidad, se concibe como un proceso educativo, interdisciplinario, abierto y permanente, que pretende desarrollar actitudes y valores en la población para la toma de conciencia de los problemas ambientales, sociales y económicos y la adopción de una postura crítica ante ellos que capacite para la participación activa en la resolución estos problemas.

Contemplar la E. A. en la Educación Primaria viene justificado porque:

- “La construcción de conceptos y actitudes por parte de las personas se desarrolla mediante un proceso que tiene sus inicios con las primeras percepciones y acciones que realiza el sujeto y que sirven de base para aprendizajes cada vez más diversos y profundos, estando estos sujetos a contextos experienciales concretos.
- El proceso de construcción de conocimientos se da siempre en interacción con el medio ambiente, en todas sus facetas (sociales y culturales, biofísicas,...) por lo que debería de estudiarse en cada momento y circunstancia los contextos de aprendizaje de los que partir y trabajar con los alumnos según su edad, situación sociocultural, experiencias previas, intereses, etc. (Cuello et al, SF)

METODOLOGÍA

Planeación: En esta etapa se investigó el material disponible, adaptación y elaboración del material de difusión a utilizar en los diferentes grados, estrategias de manejo de grupo. Diseño, elaboración, reproducción y gestión de material de apoyo e incentivos: trípticos, poster,



calcomanías, diseño de camisetas, logotipos, definir y diseñar los incentivos. Elaboración de mecánica de concurso de un centro de acopio y la programación de visitas guiadas a los centros de acopio y sitio de disposición final de los residuos sólidos.

Intervención: Aplicación de diferentes actividades previa programación en coordinación con maestros y directivos.

Evaluación: Aplicación de análisis estratégico para evaluar debilidades y fortalezas del programa.

Acciones realizadas

Platicas de los maestros y alumnos de la UQROO con los profesores de los diferentes grupos de la primaria.

Platica sobre contaminación ambiental por residuos sólidos, a todos los grupos de la primaria acerca de la problemática que representan los residuos sólidos y cuales son los efectos de estos sobre los organismos, así como que los niños participaran con ideas acerca de que se puede hacer para reducirlos, planteando la separación en tres categorías: verdes orgánicos, azul inorgánicos y rojo sanitarios.

Colorear y pensar (dibujo del mar): se les entrego un dibujo a cada niño de primero y segundo, grado en el cual se encontraban algunos organismos marinos así como algunos residuos, teniendo que identificar lo que debía estar en condiciones naturales y los residuos sólidos que no debían estar en el, realizando un debate acerca de los efectos que estos residuos podrían ocasionar en el medio marino.

Juego: corre, piensa y separa, en los grupos de primero y segundo grado, este juego consistió formar dos equipos y cada niño debía tomar una ficha, que tenia un dibujo de un residuo, correr al otro extremo del patio en donde se encontraban tres contenedores: rojo, azul y verde, al llegar debían elegir en cual de ellos colocar la ficha.

Juego de lotería aplicado a los alumnos de primero a cuarto grado, adaptación de un juego de lotería con materiales que pueden ser reusados, utilizando tapas de colores (verde residuos orgánicos, azul residuos inorgánicos y rojo residuos sanitarios), para marcar la ficha que se cantaba, se debía seleccionar el color de la tapa de acuerdo al contenedor que pertenece.

Video Juego de memoria, aplicado en los grupos de quinto y sexto grado, utilizando un equipo de computo se proyectaba un juego de memoria con residuos orgánicos, inorgánicos y sanitarios pasando algunos de los niños a jugar mientras sus compañeros les ayudaban.

Video Juego Reclicator®, aplicado en los grupos de quinto grado, utilizando un equipo de cómputo se proyectaba un juego que consiste en rescatar los residuos que van cayendo y colocarlos en el contenedor que corresponde, sin dejar que se acumule los residuos.

Romper el globo y separar, aplicado a los grupos de tercer y cuarto grado, este juego consistió en formar dos equipos y por parejas tomar un globo, que en el interior tenia un dibujo de un residuo, correr al otro extremo del patio en donde se encontraban los contenedores rojo, azul y verde, al llegar debían romper el globo y elegir en cual de ellos debían colocar el dibujo.

Rally escolar, con los grupos de quinto y sexto grado, con seis bases en donde debían realizar diversas actividades enfocadas a residuos sólidos utilizando material de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 1998; EPA, 1998a).

Recorrido por el Boulevard junto a la Bahía (para observar la presencia o no de residuos sólidos), posteriormente se visitó el basurero (sitio de disposición final de los residuos sólidos) para observar la magnitud del problema así como las condiciones en las que se encuentran trabajando los pepenadores y por último, una visita a centro de acopio de plásticos en donde pudieron observar como se compran, manejan y recuperan los plásticos separados como una opción para reducir la contaminación por los residuos sólidos, esta actividad se desarrollo con todos los grupos escolares.

Concurso centro de acopio: consistió en que los niños trajeran residuos de: papel y cartón, plástico (PET), y latas de aluminio limpios y separados durante 8 días y como incentivo el grupo ganador tendría una visita al parque ecológico Xcaret.

Este consistió en invitar a los alumnos de la escuela primaria Benito Juárez a un concurso de separación de residuos sólidos en el cual tenia por objetivo aplicar la separación de residuos por parte de los niños de la primaria a fin de que ellos se dieran cuenta de cuantos residuos tiraban y que esos pueden ser aprovechables siempre y cuando sean separados limpios, para este fin ellos aplicaran el programa de separación en su casa, invitaran a sus amigos, familiares a ayudarlos y se percataran de la problemática de los residuos sólidos.

El concurso se realizó del 5 al 15 de junio del 2006 invitando a los niños de la escuela Primaria Benito Juárez ambos turnos, se les explico que debían de llevar sus residuos separados y limpios todos los días, los cuales se les pesarían para ir acumulando puntos, a fin de que los niños tomaran conciencia que los residuos tienen diferentes precios de compra, se le asignó el siguiente puntaje a los residuos
Por cada Kg. de Papel o cartón se les asignaba 3 puntos.

Por cada Kg. de Botellas de Plástico (PET) se les asignaba 5 puntos.

Y por cada Kg. de latas se les asignaban 10 puntos.

Como incentivo el grupo ganador tendría como premio un viaje al parque Xcaret, que se realizó los días 1 y 2 de julio del 2006.

Visita del payaso Marioneto como apoyo al cierre del concurso de centro de acopio, para la difusión de las actividades en el canal local de televisión.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se trabajo con toda la escuela Primaria Benito Juárez, llevándose a cabo platicas como se puede observar en la figura 1y la figura 2 muestra algunas de las actividades en cada uno de los 12 grupos de alumnos de esta primaria.



Figura 1: Pláticas realizadas con los niños de diferentes grados



Figura 2: Actividades desarrolladas con los niños de la Primaria Benito Juárez

Se realizaron 10 visitas al relleno sanitario de la ciudad, en donde los niños observaron la proporción del problema de los residuos sólidos, a una planta compactadora de plásticos (como una posible solución en la reducción de residuos), y un recorrido por el Boulevard a fin de que observen la cantidad de residuos tirados en el manglar.



Bajo estas condiciones se obtuvieron muy buenos resultados ya que los niños y muchos padres, participaron con mucho entusiasmo en el concurso de centro de acopio, formándose equipos de trabajo para poder conseguir el mayor número de puntos, en la radio, se transmitió

que los niños estaban realizando una limpieza hormiga y que se observaba la ciudad mas limpia.

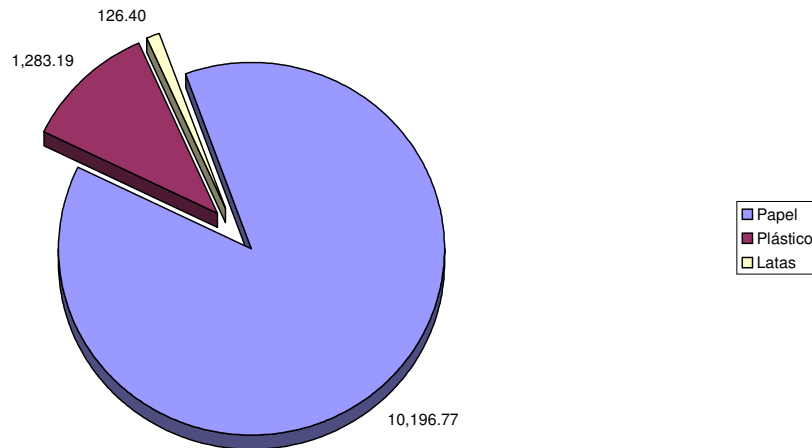


Figura 3: Materiales Recuperados en el concurso

La figura 3 muestra los materiales recuperados en los ocho días del concurso, obteniéndose 10,198 Kg. de papel y cartón, siendo este papel periódico, libretas libros, revistas y cajas de cartón; 1,283 Kg. de Plástico PET, envases de refresco en su mayoría, pero también envases de color (cloro, shampoo, detergentes líquidos, etc.); y la menor cantidad es de latas recolectándose 126 Kg. de este material, que se destinaron al mercado de reciclaje.

Se hizo hincapié que estos materiales no llegarían al sitio de disposición final en la visita que se realizó con cada grupo al basurero municipal y a un centro de acopio que tiene una planta compactadora, empacadora y una trituradora de plásticos, en la que se les explicó que estos materiales son llevados a diversos centros y estos residuos son utilizados como materia prima para la fabricación de envases o algunos otros productos de plástico.

Los puntajes obtenidos por el turno matutino se observan en la figura 4. Siendo el grupo 5° B el ganador de este turno el cual fue premiado con un viaje al parque Xcaret. Sin embargo se observa que los grupos de 5° y 6° grado fueron los que tuvieron una mayor participación en este concurso.

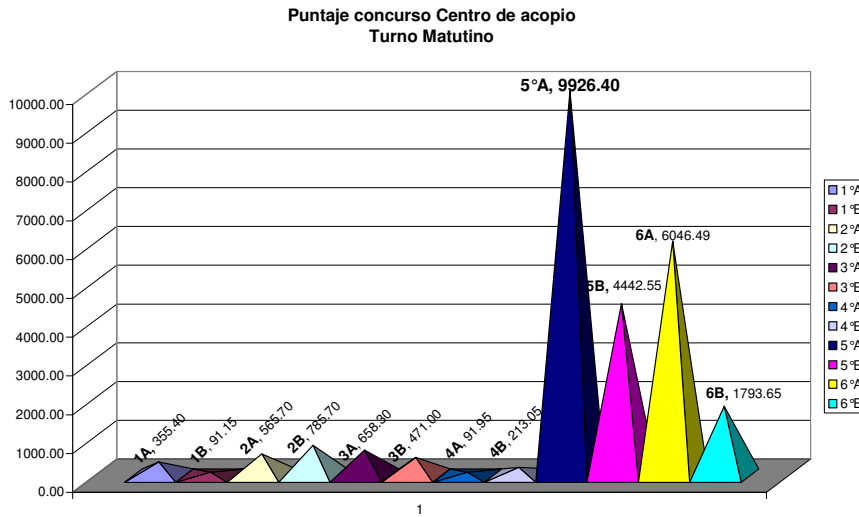


Figura 4: Puntaje concurso centro de acopio turno Matutino

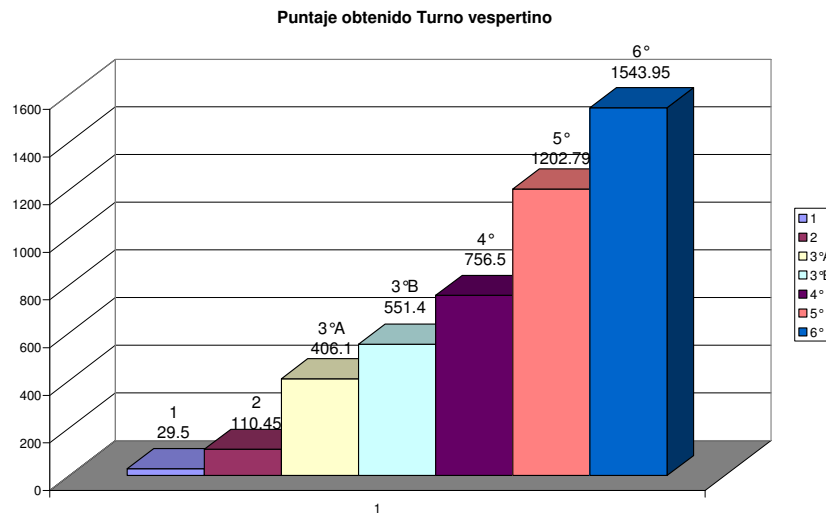


Figura 5: Puntaje concurso centro de acopio turno Vespertino

En el turno vespertino figura 5, la participación fue menor observándose una mayor apatía por participar, esto fue cambiando un poco a lo largo de los días, sin embargo por ser grupos con menor numero de niños y no tener incentivo o apoyo por parte de sus profesores se obtuvieron puntuaciones mucho menores, y solamente siete grupos participaron en este concurso.

CONCLUSIONES



Al abordar el tema de los residuos sólidos como uno de los diferentes problemas ambientales, se pretende que los alumnos integren conocimientos, habilidades y actitudes para prevenir y reducir la contaminación, sin embargo el tema se desarrolla en un tiempo acotado por la programación académica y no permanece a lo largo del periodo escolar sin crear hábitos y actitudes como la separación de la basura en la propia escuela, es necesario dar seguimiento a este tipo de programas en forma transversal y permanente en la educación básica a fin de dar un reforzamiento continuo, para promover el cambio de hábitos y actitudes proambientales, dentro del aula como fuera de ella.

Los alumnos participaron activamente en todas las actividades en algunos casos se observó asombro y curiosidad por el tema, logrando despertar en ellos conciencia de la problemática de los residuos sólidos y sus posibles soluciones.

Fue determinante el conocimiento de los incentivos en la motivación de los alumnos, para el desarrollo de las actividades.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la planta docente de la escuela Primaria Benito Juárez turnos matutino y Vespertino. Asimismo, al apoyo brindado por la Universidad de Quintana Roo, División de Ciencias e Ingeniería y al Parque Ecológico. Xcaret.

REFERENCIAS

1. Bruntland, G. H. (1987). *Our common future: Report of the world Commission on Environment and Development.* Oxford: Oxford University Press.
2. CIWMB, (1994). "A District-Wide Approach To Recycling" 1994. CIWMB California Integrated waste management board, CIWMB Publication Number: 500-94-009. April 1994 <http://www.ciwmb.ca.gov/Publications/Recycling/50094009.pdf>
3. Cuello Gijón, Manuel; Cuello Gijón, Agustín; Naranjo Cordobés, Luis G., Ortega Osuna, José Luis. "Orientaciones para la participación en la vida de los centros educativos". http://www.juntadeandalucia.es/averroes/publicaciones/valores/mcpri_ambiental.pdf.
4. EPA, 1998 *El Caso del Circulo Roto*, Solid Waste and Emergency Response, EPA-530-K-98-002S
5. EPA, 1998a *Sigue el rastro, El club de los protectores del planeta*, Solid Waste and Emergency Response, EPA-530-x-xx-xxx
6. García Ventura, Diego; Benayas, Javier. (2007) "Indicadores de Educación Ambiental en Municipios: Diseño y Relaciones con otros Indicadores de Sostenibilidad". Extracto de la comunicación presentada en la *I International Conference on Sustainability Measurement and Modelling. ICSMM 06*. Terrassa (Barcelona), 16-17 de Noviembre de 2006.

PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTERNACIONAL DE ADMINISTRACIÓN DE CALIDAD EN UN PROGRAMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA- AZCAPOTZALCO

Espinosa Valdemar Rosa María, Turpin Marion Sylvie, de la Torre Vega Alfonso, Vázquez Solís Roberto Carlos, Delfín Alcalá Irma, González Esquivel Berenice y Cisneros Ramos Adriana de la Luz.

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Del. Azcapotzalco, C. P.
02200, México, DF Tel. 5553189062, correo electrónico:
rmev@correo.azc.uam.mx

Palabras clave: auditoría, certificación; gestión de la calidad; manejo integral de residuos sólidos urbanos; procedimientos.

RESUMEN

En 2003, la UAM Azcapotzalco puso en marcha el Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos denominado “Separación, por un mejor uambiente”, encaminado a concientizar a la comunidad del *campus* sobre la problemática de los residuos e involucrarla en su separación, así como a cumplir con la legislación ambiental, a través de un trabajo multidisciplinario.

En un contexto de cambios y exigencias globales, el equipo del Programa decidió implementar un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo a la norma Internacional ISO 9000, como plataforma de comunicación de la calidad del mismo, tanto al interior como al exterior de la Universidad. Desde el año 2006 se ha implantado, en diversas áreas de la UAM Azcapotzalco, el sistema ISO 9000. En 2008, después de la etapa de maduración y mejora del Programa Separación, se presentan las condiciones adecuadas para proyectarlo en el contexto nacional de la calidad ambiental que la UAM-Azcapotzalco ha impulsado desde su creación, en 1974. Actualmente se están desarrollando las acciones necesarias para la certificación en el sistema mencionado, para obtener la certificación el próximo año.

Los procesos que se someterán a la certificación son el de “Recepción y manejo de residuos sólidos urbanos en el centro de acopio” y el de “Recolección de residuos de manejo especial en oficinas”.

INTRODUCCION

En México, las autoridades del Gobierno del Distrito Federal establecieron que a partir del 2004, todo generador de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), debe separarlos en las fracciones “orgánica” e “inorgánica” y así entregarlos al servicio de limpia. Los

generadores de más de 50 kg al día deben presentar un plan de manejo, requisito indispensable establecido en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF).

Nuestra Universidad está clasificada como un gran generador de residuos, por lo que en octubre de 2003 se puso en marcha, el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos del *campus* Azcapotzalco denominado *Separación por un mejor UAMbiente*. Este no es un programa aislado ya que existe un en el Plan Institucional Hacia la Sustentabilidad, dentro del que se han realizado acciones que han sido coordinadas por la Oficina de Gestión Ambiental del campus como el Programa de Ahorro de Energía, la Protección y Cuidado de Áreas Verdes, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, y el Programa de Compras “Verdes”. Algunas de las acciones enmarcadas

PROGRAMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

El Programa de gestión integral de residuos sólidos es el resultado de un trabajo multidisciplinario en el que participaron profesores, investigadores, trabajadores administrativos y estudiantes de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Azcapotzalco (UAM-A).

Diagnóstico

La UAM-A tiene una población de 3,000 trabajadores entre profesores y empleados administrativos, además de 12,000 alumnos. La superficie total del *campus* es de 190,513 m² de la cual 72,346 m² son áreas verdes.

Generación de residuos

A partir de los datos aportados por trabajos de campo realizados durante 5 años, por alumnos de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental del campus, se encontró que la comunidad universitaria genera un promedio semanal (sobre la base de cinco días hábiles) de 7.74 toneladas de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, de los cuales 1.72 toneladas son residuos de jardinería (Gálvez y de la Torre, 2003). La composición de los RSU generados en la UAM-A, se muestran en la (figura1).

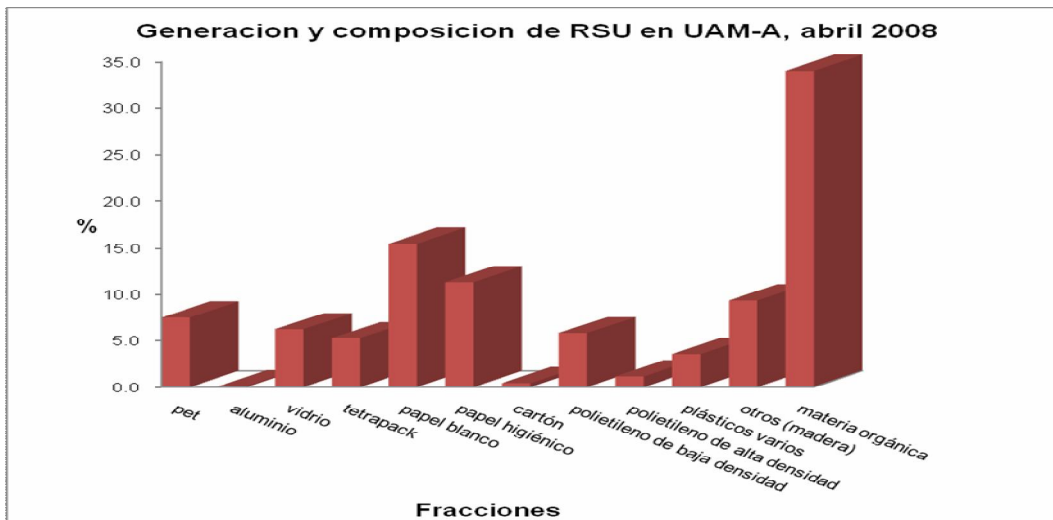


Figura 1. Composición de RSU en la UAM-A

Los datos mencionados fueron el punto de partida para el diseño del Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos, el equipo de planeación desarrolló primero la parte técnico-operativa para tener las bases que conducirían a la capacitación y sensibilización de los miembros de la comunidad universitaria.

Objetivos del Programa

Los objetivos institucionales del Programa denominado, “*Separación por un mejor UAMbiente*” son:

- Concientizar a la comunidad universitaria sobre la problemática de los residuos.
- Involucrar a la comunidad en la separación de los residuos.
- Cumplir con la legislación ambiental del Distrito Federal en materia de residuos sólidos.

Diseño y plan de manejo de los residuos sólidos

El Programa fue diseñado para ser aplicado en tres etapas:

Primera etapa: Separación en “Recuperables” (envases de PET, aluminio, vidrio y tetrapack) y “No recuperables (Todo lo demás), se aplicó en la planta baja de la Unidad.

Segunda etapa: Separación de los residuos igual a la primera etapa, aplicada en pasillos de los tres pisos de los edificios de la Unidad. Adicionalmente, se incluye la recuperación de papel en las oficinas académicas y administrativas de la Unidad.

Tercera etapa: Consiste en la incorporación al Programa de los talleres, laboratorios, áreas de fotocopiado, en los que se generan residuos de manejo especial, además del tratamiento de los desechos orgánicos mediante la puesta en marcha de una planta de composta.

La separación de los diferentes tipos de residuos recuperables, permite canalizarlos a instancias recicladoras, en tanto que los residuos no recuperables son enviados a los sitios de disposición final., la Figura 2 muestra el plan de manejo.

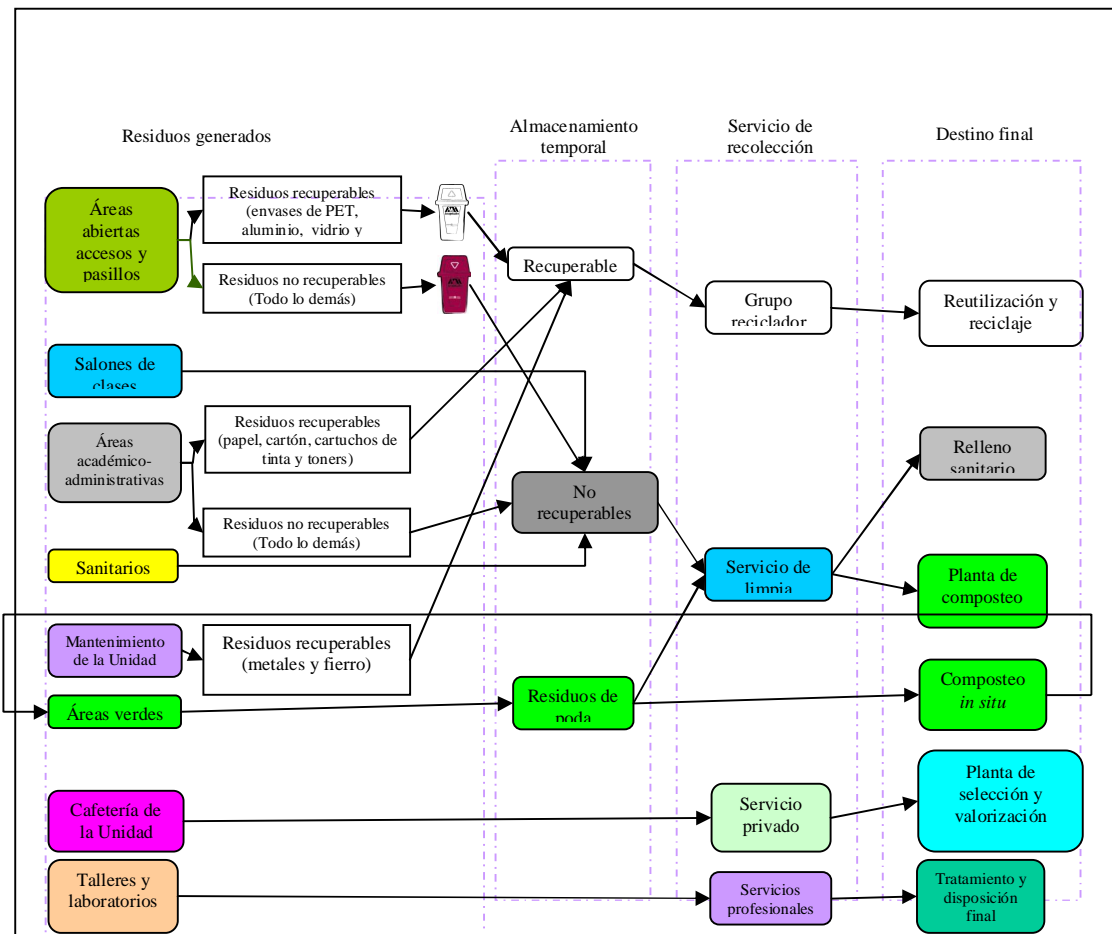


Figura 2. Plan de Manejo de residuos sólidos de la UAM-A

Implementación de ISO 9000-2008.

La UAM-A desde el 2004 comenzó a implementar su sistema de Gestión de la Calidad y en el 2008, por decisión del Rector y de la Secretaria del Campus, se comenzó a insertar el Programa en el Sistema mencionado en 10 etapas: 1. Identificación de procesos y servicios, 2. Análisis de procesos mediante el Diagrama de Tortuga, 3. Desarrollo de Diagramas de Flujo, 4. Entrenamiento en el programa VISIO, 5. Elaboración de procedimientos, 6. Inserción de los documentos en el Sistema eMQS, 7. Modificación al Manual de Gestión de Calidad, 8. Implementación de procedimientos, 9. Auditoría interna y revisión por la Dirección y, 10. Auditoría de certificación.

Identificación de procesos y servicios.

Esta etapa inicial se realizó durante julio de 2008 y fue, a consideración del equipo de trabajo, una de las etapas más importantes e impactantes, ya que ninguno de los integrantes del equipo había estado en contacto con la cultura ISO. En esta etapa fue necesario hacer un ejercicio de identificación de las actividades y las formas en como se llevan a cabo, se realizaron 4 reuniones de trabajo para identificar los servicios que ofrece el Programa, si, efectivamente había mucho trabajo pero no había claridad en las actividades que se realizaban en el Programa. Este ejercicio se desarrolló en dos pasos, un análisis de 20 días al interior del equipo de trabajo un segundo ejercicio con la asesoría de la Consultoría.

Después del ejercicio inicial, se identificaron 3 grandes actividades del Programa: la recepción de los residuos en el Centro de Acopio, la recolección de papel, cartón y toners en las oficinas académico-administrativas y el envío a reciclaje del vidrio, aluminio, envases de cartón laminado, PET, papel, cartón y cartuchos y toners.

Análisis de procesos mediante el Diagrama de Tortuga.

Esta herramienta, el Diagrama de Tortuga, es un elemento muy importante para el mapeo de procesos y validar nuevos alcances de las actividades donde se establecen 3 elementos principales: los elementos de entrada (aquellos que detonan el servicio), el proceso y las salidas; para cada uno de estos se le añaden dos componentes más: los elementos críticos de control y los indicadores de efectividad.

Entrenamiento en el programa VISIO y desarrollo de Diagramas de Flujo.

Como paso previo a la elaboración de los diagramas de flujo, se capacitó a los miembros de la Oficina de Gestión Ambiental y al equipo de trabajo de Separación en el software VISIO, que es de la familia de “Office” y una herramienta muy accesible y potente para la elaboración de estos instrumentos que se convertirán en la parte fundamental de los procedimientos, es por esto que esta es otra etapa de gran importancia, ya que aquí se materializan las actividades que se realizan, se concretan y explicitan detalles, se definen funciones y responsables de los procesos y se concentra toda la información que involucra el desarrollo del servicio.

Derivado de la identificación de procesos y servicios en donde se obtuvieron las 3 principales actividades que engloban el quehacer diario del programa: 1. la recepción de los residuos en el Centro de Acopio, 2. la recolección de papel, cartón y toners en las oficinas académico-administrativas y 3, el envío a reciclaje del vidrio, aluminio, envases de cartón laminado, PET, papel, cartón y cartuchos y toners, se determinó en conjunto con la Consultora Asesora, desarrollar dos diagramas de flujo, el de “Recepción y manejo de RSU en el Centro de Acopio” y el de “Recolección de RSU en oficinas”, en donde en el diagrama de flujo de “Recepción y Manejo de RSU en el Centro de Acopio” se integró una visión integral para darle continuidad a la línea de flujo de los residuos desde que se reciben hasta se envían a reciclaje, por lo anterior se conjuntaron las actividades de recibir todos los RSU que genera el campus, su almacenamiento separado, la selección de los proveedores de reciclaje, su envío y el retorno económico o en especie por concepto de venta de los subproductos, a continuación se muestra el diagrama de flujo.

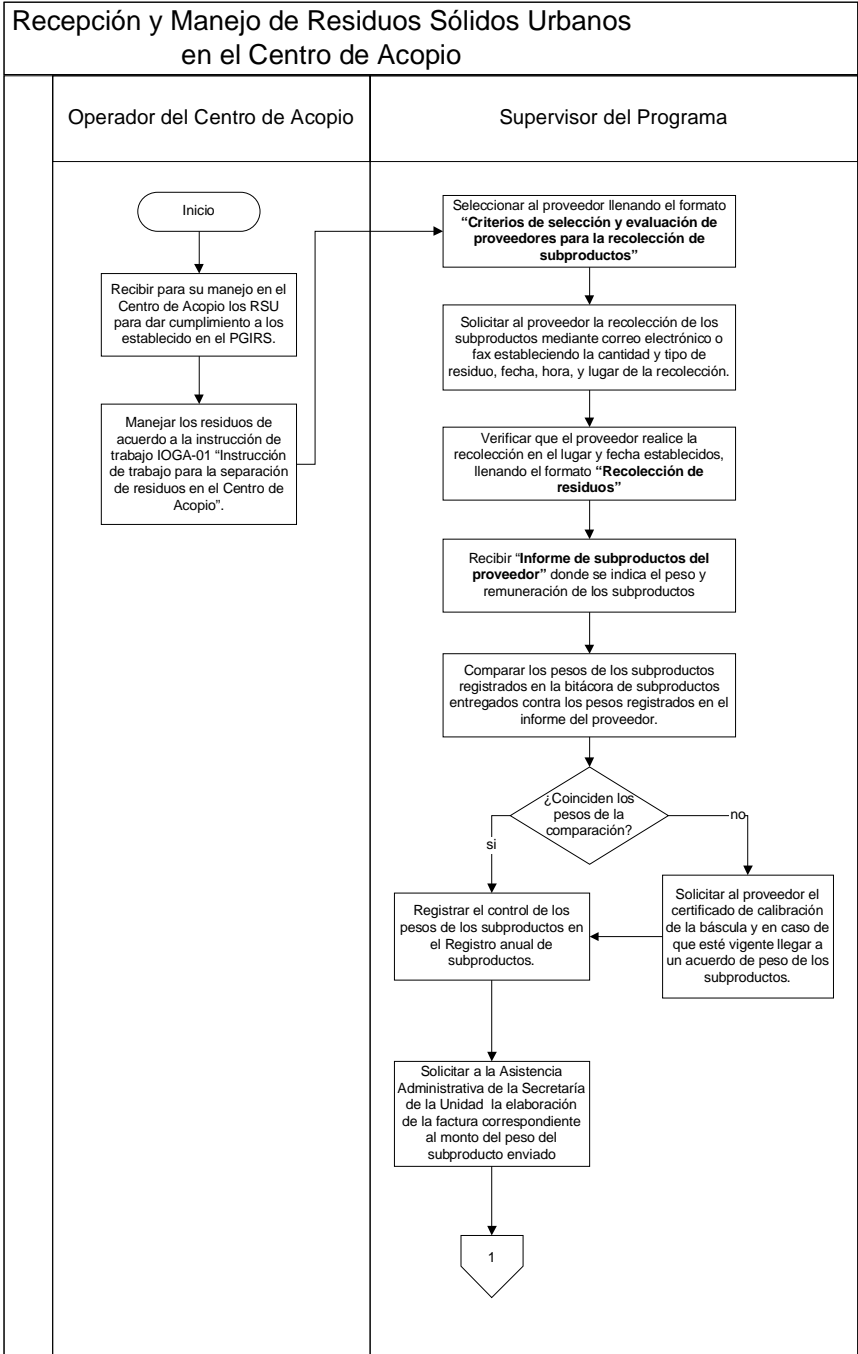


Figura 3. Primer sección del diagrama de flujo de "Recepción y Manejo de RSU en el Centro de Acopio"

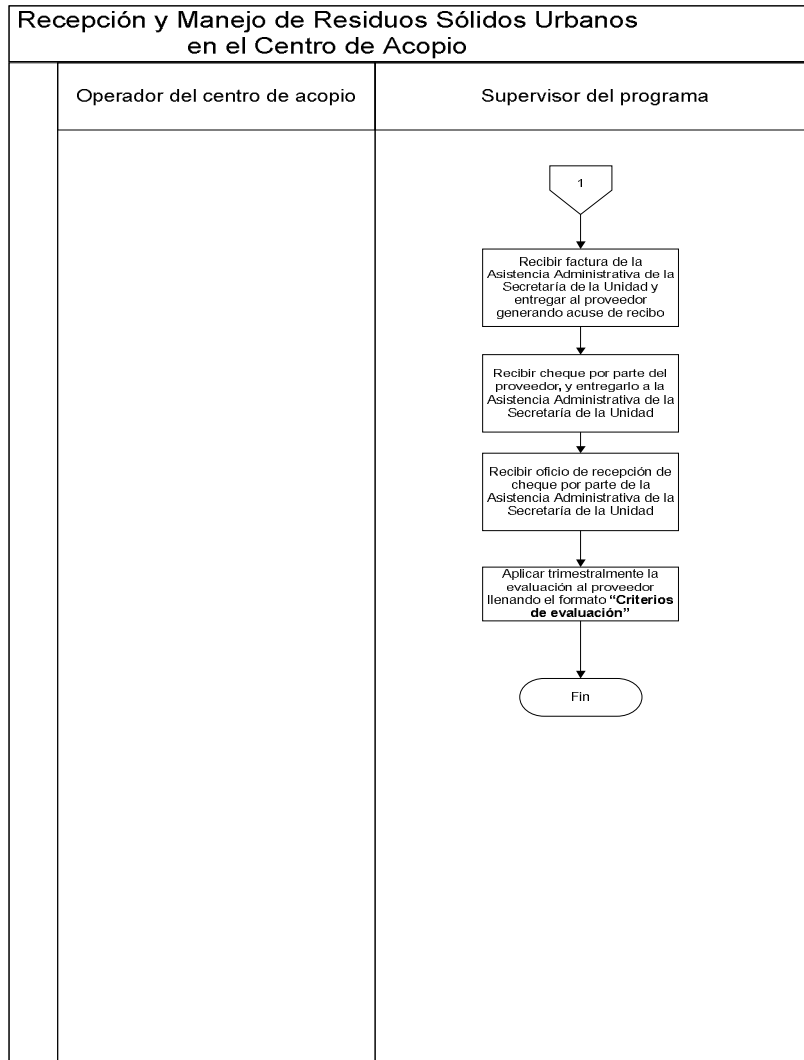


Figura 4. Segunda sección del diagrama de flujo de “Recepción y Manejo de RSU en el Centro de Acopio”

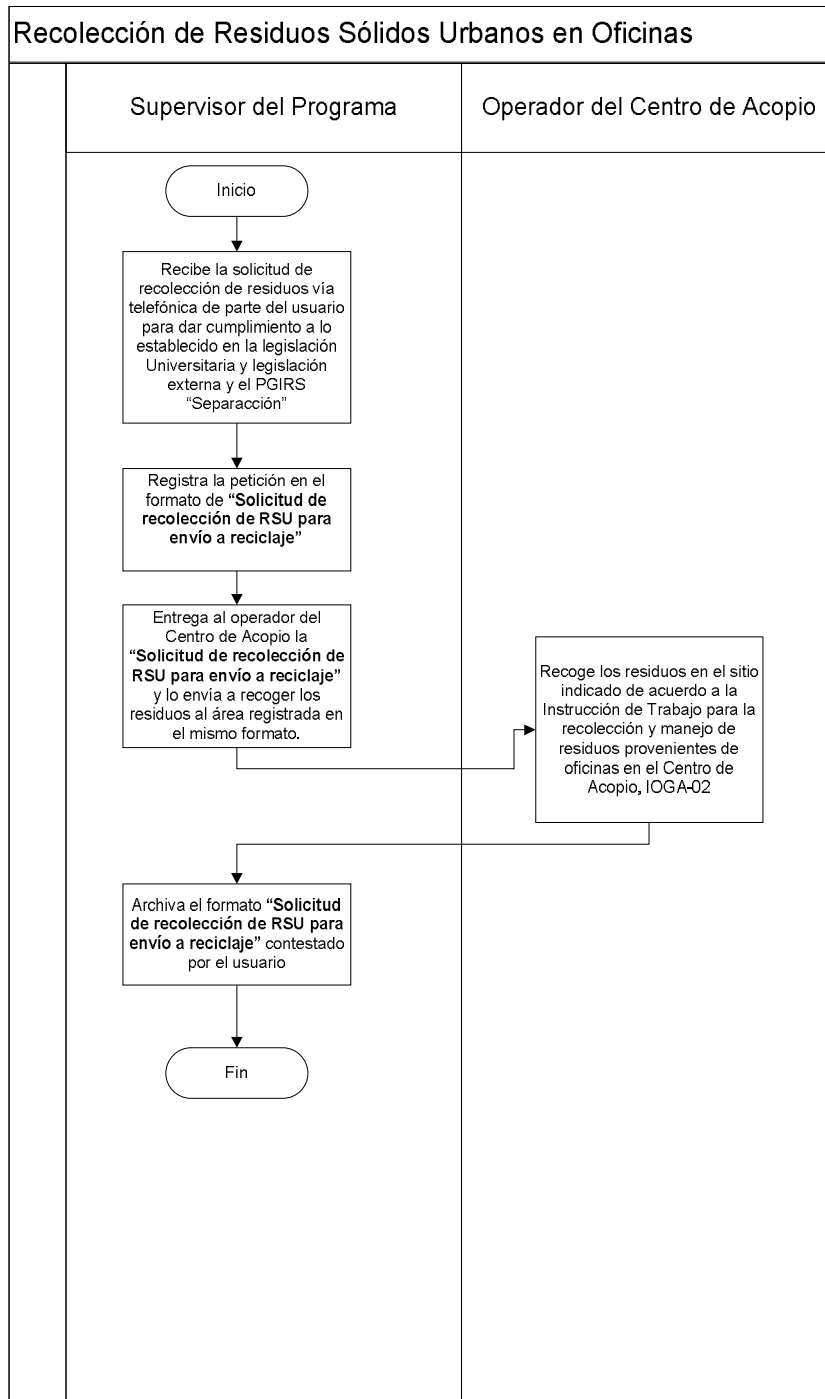


Figura 5. Diagrama de flujo de "Recepción y Manejo de RSU en el Centro de Acopio"

Elaboración de procedimientos.

Con base en los diagramas de flujo, se integraron los documentos llamados "procedimientos", que son aquellos en donde se establece el objetivo, el alcance, las

definiciones, el responsable de la elaboración y autorización de los mismos, el diagrama de flujo, los registros que integran el documento, las referencias, los anexos y las fechas de elaboración y revisión.

Al procedimiento de “Recepción y manejo de RSU en el Centro de Acopio” se le asignó un código que lo identifica en el Sistema de Calidad y es el de “POGA-04” y al de “Recolección de RSU en oficinas”, “POGA-05”, estos códigos se componen por: “P” que indica procedimiento, “OGA” indica el área al cual pertenece este procedimiento, que en este caso es “O” Oficina, “G” Gestión, “A” Ambiental, y un número, que a estos procedimientos se le asignaron el “04” y “05”, ya que son los procedimientos 4 y 5 de la Oficina de Gestión Ambiental porque hay 3 procedimientos en la Oficina que anteceden a estos y no necesariamente se relacionan con los del Programa.

Los registros que se integran a los procedimientos son de gran importancia, ya que estos son los documentos que una vez llenos, se convierten en evidencias del trabajo, un elemento fundamental para el desarrollo de las auditorias, ya sean internas o de certificación, estos documentos demuestran y amparan el trabajo realizado por el Separación y a continuación se muestran los concentrados de los registros de cada uno::

Registro	Responsable de archivo	Tiempo de retención	Lugar	Orden	Disposición
Bitácora de subproductos	Supervisor del Programa	12 meses	Centro de acopio	Fecha	Archivo muerto
Registro anual de subproductos	Supervisor del Programa	12 meses	Coordinación del Programa	Fecha	Archivo muerto
Informe del proveedor de subproductos enviados. subproductos enviados al proveedor	Supervisor del Programa	12 meses	Coordinación del Programa	Fecha	Archivo muerto

Tabla 1. Registros del POGA-04

Registro	Responsable de archivo	Tiempo de retención	Lugar	Orden	Disposición
Solicitud de recolección de RSU para envío a reciclaje	Supervisor del Programa	3 meses	Centro de Acopio	Fecha	Archivo muerto

Tabla 2. Registros del POGA-05

Inserción de los documentos en el Sistema eMQS.

El Sistema de Calidad de la UAM Azcapotzalco se encuentra administrado por el Sistema eMQS, que es electrónico y se puede acceder vía internet, en donde se concentra toda la información (procedimientos, formatos, indicadores, etc.) de las áreas que integran el Sistema para que la Oficina de Gestión de Calidad de la UAM Azcapotzalco pueda tener acceso a estos documentos y administrar el Sistema en su conjunto.

La sección del Sistema donde se encuentran alojados los procedimientos, indicadores y formatos del Programa Separación es la sección de la Oficina de Gestión Ambiental y a continuación se muestra la pantalla de la sección.

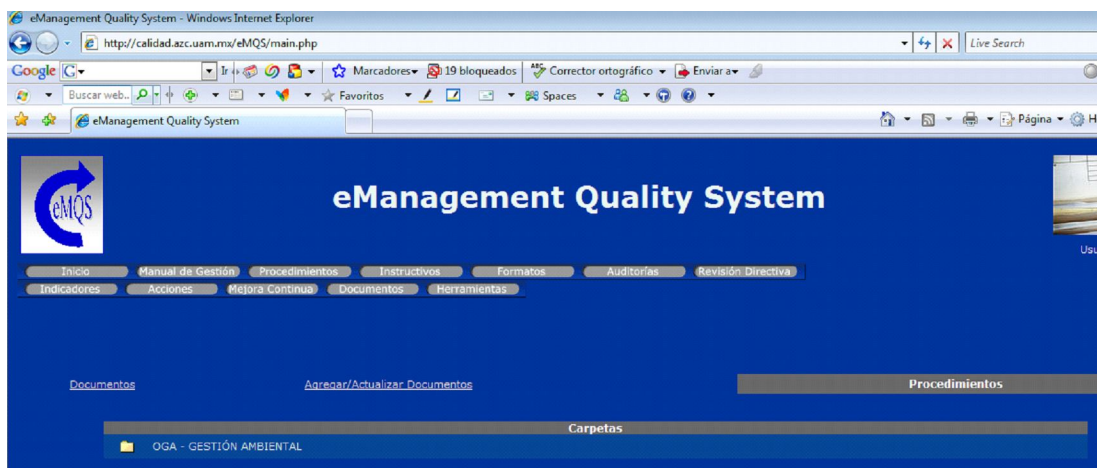


Figura 6. Pantalla de la Sección de la Oficina de Gestión Ambiental en el Sistema de Gestión de la Calidad de UAM Azcapotzalco.

RESULTADOS DEL PROGRAMA

En cumplimiento del Artículo 33 de la Ley de Residuos Sólidos para el D. F., la UAM-A está clasificando sus residuos en las siguientes fracciones (GDF, 2003):

- Residuos orgánicos: Restos de la poda de las áreas verdes

- Residuos recuperables: Materiales depositados en los “botes blancos”.
- Residuos inorgánicos: Materiales diversos, clasificados como “todo lo demás”, que desde el punto de vista de la Ley son residuos inorgánicos, y para el Programa Separación de la UAM- A, no tienen valor comercial por no ser recuperables (depositados en los “botes rojos”).

Los residuos recuperables se depositan y almacenan temporalmente en el centro de acopio del campus, sitio en que se les revisa, acondiciona y pesa, previo a su envío a reciclaje, cada año ha aumentado el volumen y la cantidad de residuos que se envían a reciclaje.

Esas cantidades, junto con los residuos de poda, representan más de 3 500 m³ de desechos que no fueron depositadas en el relleno sanitario y se evito la emisión de 455 Toneladas métricas de gases de efecto invernadero.

De acuerdo a la planeación inicial donde se establecieron las 10 etapas, actualmente el proceso de preparación para la certificación registra un avance de 6 etapas con un 74.98%.

Las etapas de Modificación al Manual de Gestión de Calidad, Implementación de procedimientos, Auditoría interna y revisión por la Dirección y Auditoría de certificación se encuentran en proceso.

Se tienen planeadas las actividades de un curso de formación de auditores internos con su respectiva selección del equipo de auditores, elaboración de listas de verificación, la elaboración de la auditoría interna, una reunión de apertura y otra reunión de cierre de la auditoría interna, la preparación de los informes de resultados, la entrega de los informes a los responsables de los procesos, la determinación de acciones correctivas para solventar los hallazgos, la implementación de las acciones correctivas, la verificación de las mismas, la revisión directiva del Comité de Calidad, la auditoría de certificación por QS Mexiko (empresa certificadora internacional), la determinación integración e implementación de las acciones correctivas después de la auditoría de certificación, la verificación de las evidencias de las acciones correctivas y la realización de un evento para la entrega de los certificados.

CONCLUSIONES

Desde su implementación en el 2003, el Programa de Manejo Integral de los Residuos Sólidos, *Separación*, ha cumplido con los objetivos para los que fue diseñado. A través de

acciones concretas ha informado y sensibilizado a la comunidad universitaria acerca de la importancia y la magnitud de la problemática de los residuos sólidos en nuestro país.

El conocimiento del Programa, a través del ejercicio diario de separación y el volumen de residuos recuperables que han sido enviados a reciclaje, ha despertado el interés de la comunidad universitaria y ha contribuido a su involucramiento en la cultura de separación de residuos sólidos y se han promovido cambios en los valores y la conducta de los individuos que conforman e interactúan en esta comunidad universitaria.

Desde el punto de vista legal, la Institución está cumpliendo con la legislación vigente en el Distrito Federal: los residuos se entregan separados a los camiones recolectores del servicio municipal, además de que se ha reducido la cantidad de residuos que se envían a disposición final.

Hay que destacar que, para garantizar el éxito de un Programa de manejo de los residuos sólidos en una institución de educación superior, son factores muy importantes, además de la parte técnica, el apoyo de las autoridades, el trabajo interdisciplinario, el involucramiento de la comunidad universitaria, y la calidad con una proyección internacional como plataforma de vinculación efectiva y facilitadora del seguimiento de los objetivos y avances planeados dentro del Sistema de Calidad, factores todos presentes en el Programa “Separación por un mejor ambiente”.

REFERENCIAS

1. Espinosa R. y Polanco G. Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UAM Azcapotzalco, Reporte 2005-2006. UAM-A, México 2006.
2. Espinosa R., Turpin S, Polanco G., de la Torre A. Delfín I y Raygoza I. 2008. Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UAM-Azcapotzalco. Integral management of urban wastes in a Mexican university. *Waste Management* 28 S27-S32
3. Espinosa R., Polanco G., de la Torre A., Turpin S. Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UAM-Azcapotzalco. I Coloquio Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, CIIEMAD-IPN, México 2006.
4. Gaceta Oficial del DF, 22 de abril de 2003. Decreto por el que se crea la Ley de Residuos Sólidos. Gobierno del Distrito Federal, México 2003.
5. Gaceta Oficial del DF., 1 de abril de 2004. Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal, México 2004.
6. Gálvez Coeto E. y de la Torre Vega A. 2003. Elaboración de un programa de gestión de la separación y acopio del PET en la UAM-A, Proyecto Terminal en Ingeniería Ambiental. UAM-A, México, D.F.
7. Manual del Sistema de Gestión de Calidad ISO 9000:2008. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México 2008.

8. Montaña, J. ISO 9001:2000 Guía práctica de normas para implantarlas en la empresa. México 2006.
9. Palmes, P. Auditoria Interna de ISO 9001:2000 Basada en Procesos, un nuevo método. México 2005.
10. Peach, R. Manual de ISO 9000. Colombia 1999.

Manejo de RSU hacia la sustentabilidad en la Universidad Veracruzana.

L. Garibay-Pardo¹, M. Baizabal-Blanco², L. Bonilla-Rodriguez³, H. Narave-Flores⁴ y M. A. Chamorro-Zárte⁵.

**1. Programa de Manejo de RSU, hacia la sustentabilidad en la UV.
Fac. de Biología-Xalapa.
Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.
Universidad Veracruzana.**

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
legapa3@hotmail.com, lgaribay@uv.mx**

**2. Proyecto de Separación y Manejo de RSU, Fac. de Biología-Xalapa.
Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.
Universidad Veracruzana.**

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
pb_marigel@hotmail.com**

**3. Proyecto de Separación y Manejo de RSU, Fac. de Biología-Xalapa.
Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.
Universidad Veracruzana.**

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
liz011@hotmail.com**

**4. Programa de Manejo de RSU, hacia la sustentabilidad en la UV.
Fac. de Biología-Xalapa.
Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.
Universidad Veracruzana.**

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
hnarave@uv.mx**

**5. Programa de Manejo de RSU, hacia la sustentabilidad en la UV.
Fac. de Biología-Xalapa.
Área de Ciencia Biológico Agropecuarias.
Universidad Veracruzana.**

**Circuito Aguirre Beltrán S/N. Zona Universitaria Tel. 2288421748
machamorro7@yahoo.com**

RESUMEN

Veracruz genera 5,900 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos (RSU) anualmente 1, 913 millones. En Xalapa, la capital, 400 diarias (SEMARNAT, 2001). En la Universidad Veracruzana *campi* Xalapa, de tres a cinco. En la Facultad de Biología-Xalapa, como parte de un proyecto institucional de la Universidad sustentable, se están aplicando estrategias para la separación de los RSU, considerando la participación de la comunidad estudiantil, académica, administrativa y técnica, tomando como base leyes al respecto y el Código Internacional de Colores. Se colocaron contenedores por colores, realizado divulgación; pláticas, exposiciones y talleres, programas de radio, televisión y prensa escrita. La respuesta obtenida de la comunidad universitaria ha sido medianamente favorable; los alumnos; tesistas, prestadores de servicio social y becarios, son voluntarios que participan. A Diciembre de 2008, hemos recuperado y vendido 2,000 Kgr. de RSU, participado en celebraciones ambientales, ferias y foros académicos. En 2007 ganamos el premio estatal del Medio Ambiente. En cada aula se colocaron cinco botes separadores, se logró un centro de acopio, ocho servicios sociales y tres tesis. Un avance de 10 a 15% pero consideramos este puede ser un proyecto detonador de la Universidad hacia la sustentabilidad, siendo Biología un marco ideal y ser un ejemplo.

Palabras claves: clasificación; manejo; RSU; sustentabilidad

INTRODUCCIÓN

Vivimos en una sociedad de consumo en la que los residuos que generamos se han convertido en un grave problema para el ambiente, tan sólo en la ciudad de Xalapa se generan aproximadamente 394 toneladas diarias de residuos sólidos municipales (RSU), de los cuales aproximadamente el 70% son aprovechables, de este porcentaje la mitad corresponde a materia orgánica la que es fácil transformarla en abono orgánico (SEMARNAT, 2001).

Actualmente, existen diferentes tratamientos, procesamientos y disposiciones finales de los residuos sólidos, siendo la mayoría inadecuados, por ejemplo los desechos que son incinerados producen gases, que provocan contaminación atmosférica; o los rellenos sanitarios, en este caso casi todos los residuos sólidos municipales se disponen en un terreno seleccionado y acondicionado para evitar un impacto negativo al ambiente y salud humana, sin ningún aprovechamiento de algunos residuos de valor económico, debido a que son reciclables y reutilizables (Sancho y Cervera J, 1999).

La conformación de un programa de manejo para los RSU, es una necesidad latente y forma parte de las nuevas propuestas en materia de sustentabilidad en todas las instituciones de Educación Superior.

El presente proyecto incluye la separación de residuos sólidos no orgánicos (plásticos, cartón y papel), de acuerdo al código internacional de colores para su reutilización o comercialización.

Se ha estructurado una estrategia de manejo para aplicarla en la Facultad de Biología-Xalapa de la Universidad Veracruzana, para que en esta institución exista una disposición adecuada de los RSU, en la cual se considerará la participación de la comunidad estudiantil, académica, administrativa y técnica.

Este proyecto forma parte del Programa Piloto RESU, el que se aplica por primera vez en la Universidad Veracruzana a partir de Noviembre del 2006 y tiene como objetivo implementar un manejo adecuado de los RSU y crear una cultura en torno al cuidado del ambiente y en un futuro se convierta en uno de los proyectos detonadores del Programa de Sustentabilidad en la universidad.

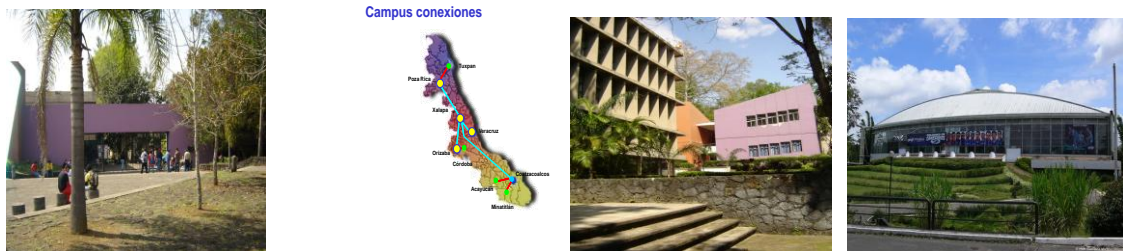


Fig.1: Diferentes vistas de la Universidad Veracruzana y su cobertura en el Estado.

Para realizar este programa piloto se integran las escuelas del Área Biológico-Agropecuaria (Ciencias Agrícolas, Biología) y del Área Técnica (Ingeniería Ambiental, Ingeniería Civil, Químico Farmacéutico Biólogo, Ingeniería química, Ingeniería Mecánica Eléctrica) y fuera de la Región Xalapa la Facultad de Sistemas de Producción Agropecuaria (FISPA), de la Región de Acayucan.

Así, no tan solo se implementará un programa de Manejo de RSU en la Facultad de Biología sino que también se probará la eficacia de esta metodología para que pueda hacerse extensiva a toda la Universidad. Es por ello que la presente investigación pretende diseñar y aplicar un programa de manejo para la separación y disposición final de residuos sólidos generados en la facultad de Biología de la Universidad Veracruzana, y así:

- Contribuir a generar una cultura para el manejo responsable de los RSU en la Facultad en una primera fase y lograr un espacio para centro de acopio,
- Realizar el manejo de los RSU (recolección-separación-acopio y comercialización).

- Implementar un comité permanente de alumnos que participen activamente llevando a cabo el proyecto y este trascienda a las siguientes generaciones.
- Generar una guía metodológica para el manejo de RSU, utilizable en el futuro en esta facultad o en alguna otra entidad educativa.
- A largo plazo que esta práctica se implemente en toda la Universidad, siendo un proyecto detonador del Programa de Sustentabilidad de la UV.

METODOLOGIA

Para la presente investigación, se diseñó una primera metodología y posteriormente se llevo a cabo otra, para reforzar el proyecto ya que la primera no llevó a los resultados esperados.

Primera metodología:

Manejo y colocación de Contenedores.- La primera actividad consistió en la colocación de dos juegos de seis contenedores; el primer juego se situó afuera de las oficinas de la facultad y el segundo fuera de la biblioteca en otro edificio diferente.

Los contenedores, son de color verde oscuro, con tapa y con una capacidad de 32 galones; así mismo se etiquetaron, conforme al Código Internacional de Colores, que tienen como objetivo indicarle al usuario la manera de cómo se deben deshacer de sus desechos sólidos.

Gestión del Centro de Acopio.- Paralelamente a la instalación de los contenedores etiquetados, se realizó la gestión de un centro de acopio en la facultad.

Recolección de Material.- Para la recuperación del material que se encuentra depositada en los diferentes contenedores, se estableció que dos veces por semana se realizara la recolección y el material se llevara a un lugar a guardar en tanto se conseguía el centro de acopio.

Capacitación y divulgación. Se realizaron reuniones con el comité de maestros del proyecto piloto RESU. En las reuniones, los integrantes del proyecto analizan las debilidades y fortalezas del proyecto, así como se realizan exposiciones y/o actividades con la intención de capacitarse y adentrarse en el tema.

Divulgación. Se diseñaron pláticas para maestros, alumnos y personal de apoyo del SETSUV, quienes fueron convocados por la Administración.

Paralelamente se realizaron carteles tanto para invitar a la comunidad universitaria a participar activamente dentro del proyecto así como, para especificar la manera correcta de depositar separadamente los desechos sólidos en los diferentes contenedores previamente colocados.

Después de los primeros tres meses, se realizó un análisis del programa y se detectaron varias inconsistencias por que el programa no estaba teniendo el éxito pensado, es decir, no había la respuesta esperada por la comunidad de toda la facultad. Es por ello que a partir de Febrero de 2007 se replantearon adaptaciones a la metodología inicial; esperando mejores resultados.

La segunda metodología consistió de tres partes: Gestión y reinstalación de contenedores; información/divulgación y sensibilización; manejo, registro y venta de material recuperado.

Gestión e instalación de contenedores.- Para llevar a cabo un buen manejo de los residuos era necesario contar con un Centro de Acopio dentro de la Facultad e insumos, tanto para adaptar dicho centro de acopio, el manejo y recolección de los residuos, como colocar contenedores en cada aula. Esto se gestionó con la administración y se planteo un diseño de contenedores temporales de cartón, para cada una de las 18 aulas y laboratorios.

Instalación de contenedores por Aula.- Uno de los problemas que llevó al replanteamiento de la metodología, fue el hecho de que los estudiantes depositaban sus residuos en un contenedor común (todo revuelto, sin separación) que se encontraba ubicados cada aula, laboratorios y demás espacios, sin que los alumnos se tomaran la molestia de acudir a los contenedores grandes de separación a eliminar sus desechos.

Después de haber conversado con alumnos de diversos niveles y de manera informal, se adaptaron cajas de cartón como pequeños contenedores para todas las aulas y laboratorios con la misma clasificación que los contenedores grandes. Es importante mencionar que antes de situarlos, se planeo la sensibilización y capacitación, mediante una plática que se les impartiría a todos los alumnos, maestros y trabajadores en general.

Los nuevos contenedores presentarían ventajas, tales como: ocupan poco espacio, son biodegradables ya que están hechos de cartón y papel; son de bajo costo, ligeros para vaciar los desechos ya clasificados y cada uno con una etiqueta amigable con colores y se adecuaron de seis a cinco; ya que se observó que podían estar juntos metal y vidrio pues su generación es mínima.

Actividades de información y sensibilización.- Como primera actividad se invitó a una reunión de alumnos que cuentan con la beca PRONABES, misma que establece que todos los beneficiarios, tienen que prestar algún servicio a la institución de adscripción. Para ello se realizó una presentación, la cual poseía una doble intención. La principal era hablarles sobre todas las generalidades e importancia del manejo de los residuos; y la segunda que los asistentes hicieran sugerencias con respecto a la presentación para mejorarla, pues sería la que se daría al resto de la comunidad de la facultad.

Posteriormente y con el apoyo de la administración de la facultad se calendarizaron y se impartieron pláticas a los trabajadores del SETSUV en horarios matutino y vespertino. Y a través de la dirección de la facultad se convocó a los maestros.

Finalmente se calendarizó y se realizó la difusión del proyecto mediante una presentación a todos y cada uno de los grupos de la facultad. Algunos maestros, con la presentación existente se las impartirían a sus alumnos o los maestros implicados en el proyecto darían la plática al resto de los grupos. La presentación de 42 diapositivas contiene información que invita a la reflexión, consecuencias del manejo inadecuado, naturaleza de los residuos, temporalidad de degradación, formas de manejo, etc.

Conmemoración de fechas relacionadas.- Para reforzar el proyecto se planearon actividades de concientización y divulgación en el marco de celebraciones ambientales como el “Día de la Tierra” y “Día Mundial del Medio Ambiente”. Para ello se pensó en una exposición de carteles, un periódico mural y artículos realizados con material reciclado además se presentaría el juego de los cinco nuevos contenedores que posteriormente se llevarían a cada aula. Paralelamente se exhibirían en el auditorio videos y documentales, como la “La verdad incómoda”, “La Pesadilla de Darwin”, “El viejo que plantaba árboles”, etc. Y se realizaría la limpieza de toda la facultad.

A este evento se pensó invitar a autoridades, maestros, alumnos, compañeros de la facultad y a toda la comunidad universitaria a través del periódico Universo, así como de manera personal y vía correo electrónico.

Otra actividad programada fueron dos concursos: un certamen de fotografía; “Encuadra un instante de la Naturaleza” y “La comida de reciclaje”

Manejo, registro y venta del material recuperado.- Quedó instituido el viernes como el día en que todos los alumnos implicados en el proyecto se encargarían de llevar los residuos sólidos de los contenedores de las aulas a los grandes y de ahí al centro de

acopio; donde se tendría que compactarlos y hasta donde sea posible separarlos y clasificarlos.

Este día utilizarán su camiseta para diferenciarse como prestadores de servicio en el proyecto RESU, misma proporcionada por la dirección de la facultad.

Registro del material recuperado.- Con una báscula (Dinamómetro o Romana) se determina el peso de cada tipo de material y esta actividad depende de la capacidad del centro de acopio de la facultad. Es decir, cuando se llena completamente, se saca el material, se amarra, compacta y se empaqueta lo más posible y posteriormente se solicita a servicios generales su apoyo para transportarlo al lugar de comercialización o se acarrea en vehículos particulares.

Venta del material.- Este será llevado a dos diferentes centros de compra que inicialmente se habían investigado; el PET en el Centro de Acopio CarVyt, y el resto a centros de acopio particulares.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien no se obtuvo una gran respuesta hubo logros significativos y sobre todo el iniciar una práctica que tiene que ir transformándose, en una nueva cultura y que seguramente las siguientes generaciones irán adoptando y se sumará al gran proyecto de la sustentabilidad en la universidad.

Definitivamente el proyecto ofrece muchos retos, pero también ha dado la pauta de aspectos sobre lo complejo que es implementar una nueva cultura; contravenir una práctica ancestral, en la eliminación de nuestros desechos y uno de los tantos desafíos ambientales que enfrentamos hoy en día, no sólo como profesionales de la biología sino como miembros de una sociedad. Esto, sin lugar a duda es lo conducente; el desarrollar alternativas que minoricen los efectos provocados por el manejo inadecuado de nuestros residuos; lo que podemos lograr trabajando en equipo y en nuestra comunidad.

Y así lo observamos en la facultad donde obtuvimos algunos resultados favorables gracias al apoyo del equipo RESU, conformado por alumnos de la facultad de Biología, con los cuales se ha logrado realizar diversas actividades satisfactoriamente, de igual modo el personal administrativo colaboró en la obtención del centro de acopio y algunos materiales de apoyo y algunos académicos, se sumaron al proyecto impartiendo las pláticas a los estudiantes.

En las dos celebraciones ambientales realizadas, se despertó el interés de alumnos y académicos de la facultad, ya que un gran número de integrantes acudieron a visitar las exposiciones, los concursos, las proyecciones y la ceremonia de premiación. Esto consideramos, contribuyó a la motivación en general hacia el proyecto y más aun la del equipo de trabajo y demás integrantes de la comunidad estudiantil, docente y de servicios y trajo como consecuencia que se sumaron más alumnos al proyecto que también contribuyeron con nuevas ideas y sugerencias para mejorar y hacer mas frecuentes estas celebraciones.

Una motivación muy importante es el hecho de saber que estamos contribuyendo al cuidado del ambiente, al haber sido reconocidos con el **Premio Estatal del Medio Ambiente el 5 de Junio del 2007**, lo que fue un gran incentivo; premio polémico entre la comunidad universitaria, principalmente en maestros integrantes del comité RESU (proyecto piloto de la Universidad), aun así, continuamos e incentivamos a los compañeros a no decaer y que esto era una muestra de que el proyecto, era una posibilidad de hacer acciones concretas, no tan sólo discursos sobre sustentabilidad y cuidado del ambiente.

Otro gran estímulo fue ver en conjunto la gran cantidad del material que se recuperó y no fue incorporado al total de residuos que se genera a diario en la Facultad de Biología, sino que fue destinado para su reciclaje y aunque mínimo se obtuvo una ganancia para complementar los gastos del proyecto.

Y por ultimo, otro gran estímulo fue el desarrollar una guía para facilitar esta práctica en otras instituciones educativas de nivel superior a partir de una experiencia real con todos sus aciertos y errores.



Fig. 2: Contenedores pequeños, grupo RESU, centro de acopio y exposición del día de la tierra.

Participación de algunos académicos y personal del SETSUV.- En las actividades de información y sensibilización, varios catedráticos apoyaron el proyecto al

proporcionar un espacio en sus clases y cuatro se sumaron impartiendo ellos mismos la plática que se dio a todos los estudiantes.

El personal de base del SETSUV, hicieron comentarios para enriquecer el proyecto y un 90 % se interesó y expresaron la necesidad del manejo y la sensibilización a él, ya que los alumnos tiran la basura por doquier.

Participación de Alumnos y Formación de un Equipo de Trabajo.- Después de las pláticas que se impartieron a los alumnos de la facultad, cuatro alumnos se sumaron al equipo RESU para colaborar activamente en las actividades de manejo, divulgación, etc. En su mayoría becarios PRONABES, quienes deben prestar un servicio social a la institución que les otorga el beneficio.

Centro de acopio.- Gracias a la gestión realizada; las autoridades administrativas asignaron un lugar en la segunda planta del edificio central. Al principio le faltaba la puerta, estaba sucio, no contaba con luz, la pintura estaba deteriorada, etc. Una semana después, la administración colocó la puerta y tres meses después con la venta del material recuperado, fue posible la compra de los insumos necesarios para pintar y adecuar el centro de acopio; actividad llevada a cabo por los alumnos del proyecto. También se logró el material para manejo y acarreo de los RESUs.

Celebraciones alusivas para fortalecer el Proyecto.- Con las actividades diseñadas para posicionar el proyecto; aprovechando las celebraciones ambientales se logró que 20 estudiantes más se sumaran al proyecto y apoyaran en las siguientes celebraciones, la limpieza de la escuela y lo más importante fue de ahí que surgieron los herederos del proyecto de la siguiente generación . Igualmente los concursos de fotografía y comida de reciclaje así como los premios otorgados fueron motivadores y solicitaron nuevos concursos similares.

Premio estatal del medio Ambiente.- El premio fue entregado el 5 de Junio con motivo de la celebración del Día Mundial del Medio Ambiente, en las instalaciones del Jardín Botánico “Francisco Xavier Clavijero”, de mano del Sr. Gobernador Lic. Fidel Herrera Beltrán.

Material Recuperado. En los periodos del 2 de Noviembre del 2006 al 12 Junio del 2007 se recuperaron **269 Kg.** y del 15 de Junio al 5 de Noviembre de 2007; **182.5 Kg.** (Cuadro No. 1) No obstante que fue poca la cantidad de dinero obtenido producto de la venta, fue muy satisfactorio ver la recuperación y el enorme volumen del material recuperado que ya no se sumó al resto de basura.



Fig. 3: Contenedores grandes, material recuperado y acarreo para su venta.

MATERIAL	Cantidad en Kg. en el primer periodo.	Cantidad en Kg. en el segundo periodo.	Precio	Cantidad total
VIDRIO	43	17	\$ 0.25	\$ 15.00
ALUMINIO	6	1.5	\$ 12.00	\$ 90.00
PAPEL	66	46	\$ 1.20	\$ 134.40
CARTON	38	24	\$ 0.50	\$ 31.00
PERIODICO	54	21	\$ 0.60	\$ 45.00
PET	62	40	\$ 1.00	\$ 102.00
TOTAL	269	182.5	-	\$ 417.40

Cuadro No. 1 Cantidad y precio del material recuperado.

Diseño de etiquetas y donación de contenedores para las aulas.- Se diseñaron tres diferentes modelos de etiquetas, atendiendo a las sugerencias realizadas por la comunidad universitaria; en donde se tomaban en cuenta aspectos como el color, el texto y las figuras para que estas fueran llamativas y cumplieran con su objetivo: el de llevar a cabo una separación adecuada de los residuos sólidos. Y en el marco de la celebración de los Cuarenta años de la Facultad, el Gobernador del Estado a través del programa estatal “Tu Decides” donó 125 contenedores de plástico y pequeños, para colocar los juegos de cinco en cada aula y laboratorio, con su etiqueta y con un cartel con la instrucción de la separación.

Elaboración de una guía metodológica.- Con el trabajo realizado se elaboró la guía metodológica para la continuación del proyecto e implementación en cualquier otra institución educativa.

Logros académicos y formación de estudiantes.- A partir de este proyecto se han generado a la fecha, nueve servicios sociales y cinco trabajos recepcionales en las modalidades de tesis y tesinas. Además se diseñó el Taller “Separa, Aprende, Diviértete y

Salva la Planeta” que se ha presentado en nueve ocasiones en ferias académicas, escuelas, comunidades y grupos religiosos. Y está ahora a cargo de la tercera generación de alumnos desde que se implementó y a la fecha se han recuperado cerca de 2000 Kgr.

9. CONCLUSIONES.

Actualmente pertenecemos a una sociedad consumista y es necesario proponer e implementar alternativas para resolver los problemas ecológicos de nuestro ambiente, uno muy importante, el calentamiento global, todos contribuimos a que este fenómeno siga creciendo; pero no basta con preocuparnos, debemos realizar acciones como bien lo menciona la frase “Piensa Globalmente, Actúa Localmente”, (www.fao.org) es decir, realizar acciones e iniciar por nuestra casa, localidad, escuela, etc. Sólo así aminoraremos el impacto causado en todo llámese, cuerpos de agua, suelo, biodiversidad y recursos naturales de cada región.

Es inminente que el problema lo tenemos aquí y ahora, no es posible esperar más, es por ello que proyectos de esta naturaleza, nos dan idea de la tarea titánica que debemos de realizar; siendo las Universidades, las generadoras de conocimientos y formación de profesionistas quienes deben de marcar la pauta en esta práctica; y mas aun en una facultad como esta, donde se estudia la biodiversidad, cuidado y manejo de los recursos naturales, cambio de uso de suelo, cuerpos de agua, etc.

En ese sentido el proyecto del RESU en la Facultad de Biología sienta bases para que en el futuro se consolide como una practica diaria y espontánea y que permee a las siguientes generaciones y este sea un proyecto clave y detonador para llevar a nuestra Universidad a Practicas de Sustentabilidad.

Con un equipo de trabajo (estudiantes, académicos, administrativos y personal de base) es posible realizar un programa de manejo de RSU aunque llevarlo a cabo no es una tarea fácil.

En la Facultad de Biología-Xalapa, el efectuar el programa causó polémica, esto por el contrario en lugar de afectar el proyecto, funcionó como motivación ya que al paso del tiempo los resultados eran palpables, un incremento en el numero de integrantes del equipo, instalaciones en donde almacenar el material, el Premio Estatal y sobre todo la notable diferencia en los contenedores del inicio y el grado de separación que se había alcanzado algunos meses después.

Es fundamental no descuidar la información y difusión constante del programa hacia la comunidad pues sin esta práctica se regresa a una separación inadecuada o a que el proyecto se caiga completamente.

Y finalmente que se haga una práctica continua hacia las siguientes generaciones para que no se pierda el proyecto, siga avanzando y se logre la proyección del mismo.

REFERENCIAS.

1. García, Davis, Gretel y Torrijos Ocadiz, Eduardo. (2003) *Recicla y juego con: periódico, plástico y cartón*; Edit. Selector. México: 146
2. Gutiérrez Núñez N.G. 2000. *Manejo integral de los desechos sólidos orgánicos en la industria de alimentos*. Monografía. Facultad de Química. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. México: 79
3. Jaramillo J; (1999). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Organización Mundial de la Salud. Washington, D. C: 214
4. Keating, M. (1993) *Cumbre para la Tierra. Programa para el cambio. El Programa 21 y los demás acuerdos de Río de Janeiro en versión simplificada*. Publicado por el Centro para Nuestro Futuro Común, Ginebra, Suiza. Disponible en www.bibliotecadigital.conevyt.org.mx/servicios/hemeroteca/decisio/d3/josefina_c.htm. Consultado en Mayo de 2008
5. *LEY DE PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL PARA EL ESTADO DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE*.(2004) (Ley publicada en la Gaceta Oficial. Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, lunes 28 de junio de 2004.
6. Mackenzie L. Davis; Masten J. Susan. (2005) *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Edit. Mc GrawHill. Primera Edición: 762
7. Morales Molina, C. (2005). *Anteproyecto para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados en la unidad habitacional Jardines de Xalapa, Ver.* Trabajo Recepcional Práctico Técnico. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. México: 73
8. Olivo B. (2005). *Diagnostico Ambiental del Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos en la Unidad de Ingeniería y Ciencias Químicas Zona Xalapa*. Trabajo Recepcional Práctico Técnico. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. México: 84
9. Programa de cooperación descentralizada de la FAO. (2005) *Piensa globalmente actúa localmente*. Nuevas alianzas para. un mundo sin hambre. Disponible en http://www.fao.org/tc/dcp/docs/dcpbrochure_es.pdf. Consultado en Marzo de 2008
10. Sancho y Cervera, J. y G. Rosiles. (1999). *Situación actual del Manejo de los residuos sólidos en México*. SEDESOL. Disponible en www.gemi.org.mx/documentos/ fecha de consulta Junio 2008
11. Sanz Fonfría, Ramón; Ribas, Juan de Pablo. (1999) *Ingeniería Ambiental. Contaminación y Tratamientos*. Ed. Alfa Omega: 14.
12. SEMARNAT, 2001. *Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos municipales en los principales centros urbanos de México*: 25-31, 43-57.
13. Tamiz C.; Marco V. H, (1988). *No toda la basura es basura: aprovéchala*. Editorial árbol, México D. F: 235



ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA MUNICIPAL PARA LA PREVENCIÓN Y LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS EN ATEMAJAC DE BRIZUELA JALISCO, MÉXICO

L. Alencastro-Larios N.S., Méndez-Rodríguez V.M., Sybil-Cudurie A., Solís González S.A.

1. Procesos Tecnológicos e Industriales
Ingeniería Ambiental

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente
Periférico Sur Manuel Gómez Morin #8585 C.p. 45604 36 69 34 34

Palabras clave: Ambiente; lixiviados; metanogénesis; residuos sólidos municipales. (Máximo 6 tópicos clave, en orden alfabético y separados por signo de punto y coma).

RESUMEN

El municipio de Atemajac de Brizuela cuenta con una población de 6236 habitantes¹, padece una fuerte afectación al ambiente y a la salud de sus habitantes debido al mal manejo de los residuos, tendiendo como principal problemática su sitio de disposición final. Por lo que se diseñó e implementó un sistema permanente para brindar un adecuado manejo integral de residuos en tres meses con el que se busca minimizar la cantidad de residuos que se disponen finalmente. Como resultados de este trabajo se conoce que la generación de residuos per cápita es de 0.54kg/hab/día, con un peso volumétrico de 113kg/m³, con un porcentaje del 27% en peso de residuos con potencial de reciclaje, 59% en peso de residuos orgánicos y el resto residuos sin potencial de aprovechamiento (actualmente). Como parte de la implementación de este sistema fueron instalados 143 tambos con una capacidad de 200 litros con sus respectivas adecuaciones para la separación de residuos, rutas de recolección selectivas, capacitación, educación y sensibilización ambiental creando grupo voluntario de seguimiento “PAMA”, mas de 2000 manuales para la separación, construcción de centro de acopio y como actividades colaterales fueron plantados 7200 árboles y se produjo un video documental de esta experiencia.

INTRODUCCIÓN

Los estilos de vida actuales, han llevado a la sociedad a adoptar patrones de consumo que afectan el medio ambiente, pues la selección de artículos desechables por parte de los consumidores y el exceso de empaques por parte de los fabricantes, son prácticas

¹ Comisión Estatal de Población, 2005.

muy comunes de nuestro diario vivir, que tienen un impacto negativo en el ambiente y en el bolsillo de los productores; ya que a partir de estos productos, se generan inmensas cantidades de basura (residuos mezclados) día a día, la cual no se valoriza ni se aprovecha, sino que todo lo contrario, se le da una mala disposición final, lo que trae como consecuencia altos costos en su manejo y además diversos cambios y alteraciones ambientales afectando el nivel de vida en diversas zonas; en su mayoría las más marginadas y de escasos recursos, ocasionando una afectación directa a los espacios naturales y de igual manera a la población.

Tal es el caso de Atemajac, el cual cuenta con una población de 6,236 habitantes², representando el 0.09% en relación con la población de Jalisco, y así como en la mayoría de los municipios de este estado, la mayor parte de su población se ubica en la cabecera municipal con una presencia del 80% mientras que el porcentaje restante cubre las demás localidades del municipio.

Atemajac se encuentra ubicado al sur del Estado de Jalisco y al noreste en relación a la región de Sayula, con una extensión Superficial de 191.57 kilómetros cuadrados. Representa el 0.24% de la superficie total del estado de Jalisco³.



Figura 1. Ubicación del Municipio de Atemajac en el Estado de Jalisco⁴

La mayor parte del municipio es zona boscosa con una extensión de 20,000 hectáreas de la extensa serranía, que por el sur llega hasta el estado de Colima.

El suelo se presenta áspero y al igual que existen extendidas mesetas, hay profundas barrancas, cerros y cordilleras. La mayor parte de la tierra es permeable; la formación pedregosa no brota a flor de tierra.

Así en el mundo, México y aterrizando en este municipio, la problemática de los residuos (comúnmente conocido como basura), ha sido hasta ahora un fuerte desafío por superar en lo social y ambiental de difícil manipulación, por lo que se debe manejar de manera conjunta; estableciendo líneas estratégicas que ataquen el problema desde la

² Inegi, Censo de Población y Vivienda 2005

³ Ibid

⁴ Imagen 1 (Mapa del municipio de Atemajac) FO Consultores SC, con base en la Carta General del Estado de Jalisco.

raíz; pues la falta de sensibilización, educación, así como la cultura del consumismo, han ocasionado que la mayoría de las personas nunca se cuestionen acerca del destino final de sus productos que desechan.



Siendo así que, Atemajac de Brizuela, enfrenta todos los días molestias de la población por el manejo inadecuado de los residuos y además sanciones por las autoridades correspondientes debido a la situación actual de su sitio de disposición final, afectando los recursos económicos del municipio ya que este no cuenta con las características mínimas de protección al ambiente, impactando de manera directa con las 3.5 toneladas de residuos que son dispuestas diariamente, que en su mayoría (75% en peso) puede ser aprovechable si se realiza un adecuado manejo de residuos, lo que disminuiría de forma notable los diversos impactos ambientales debido a la generación de biogás (que afectan la atmósfera), lixiviado (contaminación de suelo y agua), y generación de vectores (fauna nociva); los que ocasionan de manera directa o indirecta una afectación en la población y el medio natural.

Por lo anterior se pretende mediante este programa brindar una solución para el manejo de los residuos, mediante una gestión integral, con el fin de que no se generen productos inútiles y revueltos ocasionando que se mas complicada su valorización; sino como residuos separados, los cuales puedan ser reincorporados en un proceso productivo; con lo que se evitaren los efectos adversos a la población además de disminuir de manera muy significativa la contaminación del suelo, agua y atmósfera, ya que por un lado se reducen los espacios necesarios para disponer finalmente la basura (residuos mezclados) y además se logran ahorros sustanciosos en energía, agua y materias primas en la fabricación de nuevos productos.

Es por esto que surge la necesidad de la elaboración de los Programas Municipales para la Prevención y la Gestión Integral de Residuos, así como su implementación, cumplimiento y seguimiento con el objetivo de disminuir el fuerte grado de perturbación y afectación ambiental que hoy se tiene como resultado de la falta de asignación de recursos, la innovación en empaques y embalajes por parte de los productores que hacen que perduran mayor tiempo en el ambiente sin sufrir un proceso de degradación, el consumismo así como la falta de educación, concientización y sensibilización por parte de la población, son los perfectos detonantes del problema que se tiene que solucionar de manera objetiva, bajo los principios de responsabilidad compartida, acatando la política ambiental en materia de residuos la cual se basa en los principios de reducción, valorización así como en la prevención y gestión integral de los residuos que incluye entre otras cosas:

- Finanzas sanas, para lograr un servicio sustentable;
- Educación ambiental para integra la participación de la sociedad;
- Comunicación social adecuadas para conocer los beneficios de esta gestión;
- Marco legal que permita construir un municipio ordenado.

Este programa busca involucrar a los diferentes actores que interactúan en el municipio de acuerdo a los siguientes objetivos:

- Asegurar la prestación del servicio público de manejo integral de RS.



- Limitar los impactos a la salud de corto, mediano y largo plazo.
- Disminuir la afectación ambiental.
- Desarrollar esquemas para la prevención y valorización de los RSU.
- Desarrollar esquemas de viabilidad operacional y económica en todo el programa.
- Mejorar las condiciones de trabajo de los actores involucrados en el manejo de los residuos.
- Creación de fuentes de empleo dignas, en las que se involucren a todas las personas que actualmente desarrollan trabajos de “pepena”.
- Brindar flexibilidad para la actualización del programa.

Principalmente las necesidades que tiene el municipio para desarrollar e implementar este programa son:

- Optimizar los tiempos de recolección de residuos.
- Disminuir los costos por la recolección y transporte de residuos.
- Disminuir de manera considerable los impactos ambientales negativos por la disposición final de los residuos en sitios no adecuados.
- Disminuir el consumo y la afectación de los recursos naturales.
- Disminuir el espacio actual que se utiliza para la disposición final de los residuos.
- Desarrollar una población más conciente de la problemática ambiental relacionada con el manejo inadecuado de los residuos.
- Dejar implementado un instrumento que tenga seguimiento por parte de la población el cual año con año vaya fortaleciéndose.

Objetivo del programa

Llevar a cabo un proyecto donde se implemente de manera permanente el adecuado manejo de los residuos en el Municipio de Atemajac de Brizuela, a partir de la creación de comités responsables de dar seguimiento, enfrentando las problemáticas y adversidades que puedan surgir; estando al frente de todas las decisiones que se vayan a tomar, brindando una solución óptima y económicamente viable para dar un aprovechamiento integral a los residuos abarcando los diferentes ejes como son: la educación ambiental y concientización de la comunidad para que se realice de manera conjunta entre todos los actores de este municipio, realizando las adecuaciones a la infraestructura, creando rutas de recolección en las que se logre la minimización, separación, reutilización y reciclaje de los residuos sólidos urbanos. Esto con el fin de disminuir el impacto ambiental, social y económico causado por la mala disposición de los residuos.

Este objetivo dará como resultados grandes beneficios a la población:

- Los residuos serán revalorizados en procesos productivos.
- Creación de fuentes de empleo dignas.
- Educación y sensibilización de los habitantes para generar hábitos de consumo responsable.
- Involucrar a las autoridades responsables para la toma de decisiones en temas ambientales y de mejora en la población.



- Reducción significativa de enfermedades ocasionadas por el manejo inadecuado de la basura.
- Atemajac de Brizuela será un municipio ejemplar a nivel estatal y nacional en brindar un óptimo manejo de los residuos cumpliendo con toda la normatividad ambiental vigente.
- Disminuir de manera objetiva el impacto ambiental por el manejo inadecuado de la basura.
- Creación de grupos sociales interesados en el tema ambiental.
- Disminuir la contaminación visual que se tiene por los espacios ocupados por basura.
- Involucrar a la población de Atemajac para que se apropie de ese proyecto dándole continuidad.
- De manera colateral a este proyecto se realizarán actividades de mejora ambiental (reforestación, mejora del suelo, captación de agua, disminución de los efectos negativos del cambio climático).

METODOLOGÍA

1. Diagnóstico

1.1 Características de los residuos sólidos

Para el cálculo de la generación per cápita, características de los RSU y composición de estos en el Municipio de Atemajac de Brizuela se llevó a cabo una caracterización en campo de los residuos sólidos municipales apoyados en la NMX-AA-15-1985 NMX-AA-16-1984 Muestreo y método de cuarteo, NMX-AA-61-1985 determinación de la generación per capita y NMX-AA-22-1985 selección y cuantificación de subproductos principalmente.

Primero se obtuvo el número de casas para muestrear de acuerdo con la información sobre métodos estadísticos obtenida de la NMX-061-AA-1985, en la que se establece el fundamento matemático para la obtención del número de muestras a partir de una población determinada que dio un resultado de 30 casas.

La generación de residuos de los diversos tipos también depende del poder de adquisición de las personas, por lo que la cabecera municipal se dividió en estratos socioeconómicos en concordancia con las autoridades municipales y las observaciones hechas durante los recorridos realizados en el diagnóstico.

Los estratos socioeconómicos identificados son: clase alta (A), clase media (M) y clase baja (B). De acuerdo con esta información, la cantidad total de casas habitación a muestrear se distribuyó en estos estratos sociales y el resultado fue el siguiente:

Estrato Social	No. Casas
A	4
M	15
B	11

Estas casas fueron muestreadas durante 8 días consecutivos. El primer día se realizó la “operación purga”, en la que se le informó a la gente sobre el estudio a realizar y se les otorgó una bolsa de plástico para que depositaran su basura. Esa primera bolsa se tiró directamente al basurero municipal, debido a que los residuos contenidos en ella no era

seguro que fueran de un solo día. Los siguientes 7 días se recolectaron las bolsas en horarios preestablecidos para asegurar que los residuos fueran únicamente los generados en 24 horas.

Dichos recorridos se hacían aproximadamente en períodos de 3 horas a partir de las 7:00 am. Durante este mismo muestreo se obtuvo información importante como el número de habitantes en cada casa.

Diariamente las bolsas con basura fueron llevadas a un sitio para iniciar con la caracterización de los residuos, para este paso se siguió la Norma Mexicana **NMX-061-AA-1985**, en la que se expone el “método del cuarteo”.

Como el manejo de los residuos sólidos puede ser en ocasiones peligroso, se utilizó equipo de protección personal como batas, guantes de látex y de carnaza, botas de jardinería, cubre bocas y lentes de protección.



Figura 2. Elaboración del cuarteo

Con las 2 partes de basura que no se separan, se realiza el estudio del “peso volumétrico”.



Figura 3. Determinación del peso volumétrico

1.2 Organización y operación actual del servicio público de manejo integral de Residuos sólidos

Antes de llevar a cabo este proyecto en la cabecera municipal se realizaba una recolección de los residuos sin ningún tipo de separación y clasificación en la fuente (casas, comercios), con el uso de 2 camiones recolectores⁵, las rutas eran ineficientes casa por casa, con recorridos todos los días de la semana a excepción de los domingos y la disposición final se realizaba en un sitio incontrolado que ocasiona graves problemas de afectación al ambiente, salud y aunado a esto grandes incumplimientos por parte del municipio lo que generaba multas y sanciones por parte del gobierno del estado.

Se estima que ese tiradero, el cual se muestra a continuación lleva acumulando basura de hace mas de 4 años.



Figura 4. “Basurero” (ubicado en la delegación Yolosta, vía Telcome)

Cabe mencionar, que este tiradero a cielo abierto no cumple con la normatividad ambiental vigente (NOM-083-SEMARNAT-2003) pues presenta la siguiente problemática:

- El sitio en mención está considerado como tipo “D” pues recibe una cantidad menor a 10ton/día.
- Cobertura de residuos deficiente.
- Compactación deficiente.
- No se cuenta con ningún sistema que garantice la protección al suelo.
- No se cuenta con sistema de captación de lixiviados.
- No se conforma ningún tipo de talud, por lo que existen deslaves de residuos hacia las partes bajas del predio.
- No cuenta con franja de amortiguamiento.
- No existe cerca perimetral que impida la entrada de fauna.
- No se realiza ningún tipo de actividad para el control de fauna nociva.
- En las visitas de campo realizadas, se observó que el cuerpo de residuos cuenta con características que son indicativos de que ha sufrido numerosos incendios.

En este sitio se depositan todos los residuos sólidos urbanos que se generan en la cabecera municipal incluyendo los residuos biológico infecciosos que se generan en la

⁵ Información proporcionada por el H. Ayto. de Atemajac de Brizuela

clínica de salud del municipio, ya que a pesar de que esta cuenta con un servicio especial de recolección, muchas veces resulta insuficiente.



El municipio enfrenta otro grave problema ya que en la mayoría de las localidades, principalmente en las más alejadas de la cabecera municipal, no se cuenta con servicio de recolección de residuos, lo que ocasiona que los residuos sean quemados o botados en diferentes sitios clandestinos, que no cuentan con el mínimo grado de protección ambiental ocasionando un riesgo inminente de contaminación y afectación a la salud pública.

Atemajac cuenta con un relleno sanitario tipo D, el cual no se ha podido utilizar debido a que tiene una problemática social muy fuerte, esto a pesar de que se cuenta con las medidas de protección que se establecen en la norma, y las características de construcción.

Sin embargo se realizó una visita a este relleno sanitario y se observó que mucha de su infraestructura ya se encuentra deteriorada, pues este relleno se construyó ya hace más de 3 años.

Por todo lo antes mencionado, el municipio ha podido identificar que uno de sus principales retos para la actual administración, es implementar un manejo adecuado y eficaz de sus residuos donde se aprovechen al máximo los recursos, sin embargo no se contaba con experiencia técnica para el desarrollo de las actividades encaminadas a lograr un manejo integral de residuos.

1.2.1 Estructura para el manejo de los residuos

Se cuenta con 6 personas para la recolección de los residuos sólidos, se dividen en 2 equipos, ya que se cuentan con 2 camiones recolectores; de diferentes capacidades, de 15m³ el cual es de diesel y 6m³ de gasolina normal.

Se cuenta también con maquinaria (tractor) para compactar y manejar la basura ya en el relleno sanitario.

Gastos que se tienen mensuales de la Recolección de Residuos⁶

- Gasolina: \$12,000 a \$13,000 pesos mensuales (de los dos camiones).
- Sueldos: \$29,140 pesos al mes (para 6 personas).
- Además de contar con gastos extras para mantenimiento de infraestructura, neumáticos, equipo de seguridad (guantes, impermeables).

Cada persona en Atemajac de Brizuela, es responsable de barrer sus propiedades tanto dentro y fuera, la única parte que queda a cargo del municipio son las áreas generales, como la plaza, portales y en eventos especiales.

La recolección se lleva a cabo todos los días de la semana menos los domingos (este día solo se recolecta la basura en la plaza central y el mercado) cada camión cuenta con su ruta establecida, abarcando toda la cabecera municipal y otras comunidades cercanas a este.

La recolección de residuos se realiza casa por casa, los recorridos empiezan todos los días aproximadamente a las 8:00 am con una duración de 3 horas en promedio, después

⁶ Información proporcionada por H. Ayto. de Atemajac de Brizuela

de recolectar todos los residuos sólidos revueltos (sin ningún tipo de separación) se llevan directo al relleno sanitario sin pasar antes por una estación de transferencia o un almacenamiento temporal.



2. Implementación del Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

2.1 Educación ambiental

Formación de grupos de trabajo con personas del municipio.

Elaboración de un video y fotografía como material de apoyo para los talleres, cursos y demás juntas relacionadas, utilizado como herramienta para la sensibilización ambiental en donde se muestran los recursos naturales del municipio y como estos han sido afectados a causa de la basura, así como las soluciones a este problema.

Entre otras actividades con todos los actores involucrados en el municipio como:

- Niños: Taller en el curso de verano en la casa de la cultura (100 niños)
- Adolescentes y Jóvenes: Pláticas a los alumnos de Secundaria y Preparatoria del municipio (550 alumnos)
- Señoras: Pláticas de Oportunidades en la clínica de Salud durante una semana (660 amas de casa)
- Elaboración de periódicos murales que hablen sobre el cuidado al medio ambiente con especial énfasis en los residuos.
- Elaboración de periódicos murales, los cuales se colocaron en la Presidencia Municipal y el Centro de Salud.
- Elaboración de taller en donde se llevó a cabo una composta piloto en la clínica de Salud con las señoras que asistieron a las pláticas de oportunidades.
- Promover la creación de grupos que se comprometan con el seguimiento y permanencia del programa de GIRS.
- Se trabajó con un grupo de personas interesadas en seguir con el programa, con los cuales se formó el grupo PAMA (Promotores Ambientales del Municipio de Atemajac).
- Se tuvieron talleres de concientización y seguimiento al proyecto, en donde se elaboró un cronograma de actividades y se dividió el municipio en barrios, teniendo un responsable de cada barrio con su grupo de trabajo, para seguir concientizando, sensibilizando y evaluando que el proyecto se este llevando a cabo.
- Capacitación continua a la población, solución de problemas y conflictos: con la ayuda del grupo PAMA.
- Elaboración de manuales para el grupo PAMA en donde se especifica el proyecto en general para que ellos sean los responsables de difundirlo y contestar las dudas frecuentes a la comunidad.
- Elaboración de señales éticas para la separación y clasificación de los residuos
- Elaboración de manuales para la separación y clasificación de los residuos:
- Se repartieron más de 2000 manuales en la cabecera municipal, principalmente en puntos específicos como tianguis y fuera de la misa del domingo.
- Invitación para la participación en la elaboración de composta municipal y capacitación para la elaboración en casa.
- Elaboración de manuales para la elaboración de composta municipal y doméstica.
- Capacitación a todo el personal involucrado dentro del municipio para el correcto funcionamiento del SGIRS (recolección, acopio, tratamiento y disposición final).



Figura 5. Concientización a la comunidad por parte del grupo PAMA

Los talleres que se impartieron eran teórico-prácticos, en donde se llevó a cabo la elaboración de composta, para que la población además la implemente en sus casas.



Figura 6. Talleres teórico-prácticos

2.1.2 Actividad de concientización

Involucrar el nuevo proyecto de separación de los residuos en actividades cotidianas de la población, para que ellos se sumen al proyecto de GIRS.

El 5 de Julio el día de Reforestación Nacional, se consiguieron para el municipio de Atemajac 7,200 árboles, los cuales se plantaron en una zona deforestada muy cerca de la cabecera municipal. Se tuvo la asistencia de 450 personas, donde en un ambiente familiar se convivió y reforestó incluyendo además actividades de cómo sería la separación dentro del municipio, se contaba para esto con 2 juegos de tambos de cada tipo de residuo; se contaron además con los siguientes servicios: 2 bandas de música, Garrafones de gatorade, Fruta, Gaffetes para los organizadores, Servicio Médico (Ambulancia), Baños, Mesa de Registro, Lonas de señalización, 350 playeras para los participantes, 50 playeras para los organizadores, Termos, Pulseras.



II Encuentro de Expertos
en Residuos Sólidos
27-30 Abril 2008
Morelia, Michoacán, México

Figura 7. Imagen del día de la reforestación cuando la gente iba llegando al evento

2.2 Grupos ambientales (ONGs)

Para darle seguimiento al Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos se formó un grupo no gubernamental ni con fines de lucro, nombrado PAMA (Promotores Ambientales del Municipio de Atemajac), fue formado por la misma gente del municipio interesada en el medio ambiente, se llevaron a cabo varios talleres de concientización con ellos para explicarles la problemática actual, como se encuentra Atemajac, cuales son los objetivos, expectativas y resultados del proyecto, ellos serán los encargados de darle seguimiento y apoyo en cualquier momento al proyecto y bajo cualquier circunstancia, por lo que ellos forman parte vital de este.

Este grupo esta conformado de personas interesadas en la problemática ambiental que se vive actualmente y están decididas a llevar acciones para la corrección de estas, así como la implementación y el seguimiento al PGIRSU. El grupo se integra por personas de todas las edades, sus actividades las llevan cada semana con una junta de trabajo, la cual es generalmente los miércoles, donde exponen los puntos a tratar y pendientes, por lo pronto se reúnen también los domingos a recolectar PET por los diferentes barrios del municipio, ya que este el centro de acopio y la composta municipal llevarán acabo actividades de concientización, talleres y control de la infraestructura para la recolección de los residuos.

Cuenta con el apoyo del Padre de la Parroquia del municipio, del Ayuntamiento, así como de diferentes instituciones y escuelas

El fin de este grupo es llevar varias actividades para llevar a cabo el PGIRSU las cuales son las siguientes:

- Seguir con la educación y la sensibilización ambiental en el municipio.
- Verificar que el programa se este llevando a cabo, así como hacerle las modificaciones necesarias para su buen funcionamiento.
- Establecer los vínculos con los responsables de aseo público del municipio (los cuales son también integrantes del grupo) con el ayuntamiento y las diferentes instituciones del municipio interesadas al buen manejo de los residuos (Clínica de Salud, DIF).
- Establecer los convenios con las recicladoras que serán los que se llevarán los residuos ya separados para su revalorización y reciclaje.
- Evaluar el funcionamiento de los tambos que se pondrán en diferentes puntos del municipio para la separación de los residuos.

- Llevar a cabo talleres pláticas de concientización e involucrar más a la comunidad en este programa.



El grupo se divide en varios equipos los cuales serán representantes de cada barrio del Municipio, esto con el fin de tener un control más específico y poder darle un seguimiento más a fondo, se cuenta con un representante de cada barrio, el cual tiene su grupo de trabajo.

2.3 Planeación estratégica para la Prevención y Gestión Integral de los RSU

2.3.1 Estrategias básicas de la Prevención y Gestión Integral

- Creación y capacitación del grupo de Promotores Ambientales del Municipio de Atemajac (PAMA), el cual se encargará de supervisar el correcto funcionamiento del Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos. Además de implementar medidas correctivas y solicitar recursos al municipio, cuando para el buen funcionamiento del programa se requieran.
- Educación ambiental en las escuelas, desde la primaria hasta la preparatoria o bachillerato, por parte de los maestros, y de la población en general, por parte del grupo de acción social “PAMA” divididos en grupos de trabajo presentes en cada uno de los barrios que conforman a la cabecera municipal, a través de pláticas y talleres constantes para concientizar y sensibilizar a la gente sobre la importancia de que el PGIRSU funcione correctamente.
- Difusión de la información y de los resultados a la sociedad, para hacerlos sentir parte del programa y asegurar su participación y colaboración.
- Comunicación constante entre los coordinadores del centro de acopio y la planta de compostaje municipal, el grupo de acción “PAMA”, los encargados del servicio de recolección municipal y demás autoridades municipales competentes. Con el objeto de realizar acciones conjuntas para cumplir los objetivos de la GIRSU.

2.3.2 Estrategias de desarrollo social

Para que exista una participación social y que la gente se involucre con este programa se creó un grupo llamado PAMA (Promotores Ambientales del Municipio de Atemajac) este grupo de personas se encargaron de darle seguimiento a este proyecto, habrá personas en cada barrio del municipio las cuales revisaran si ese barrio hace bien su separación como también realizara actividades donde la gente participe y se involucre mas con este proyecto para así ir creando mas cultura ambiental.

RESULTADOS

1. Generación

Los resultados del estudio del “peso volumétrico” se muestran en la siguiente tabla.



	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	PROMEDIO
Peso de tambo (Kg)	16	16	16	16	16	16	16	
Peso para P.V. (Kg)	24	19	27	25	22.5	23	26	23.7857143
Peso del tambo y basura (Kg)	40	35	43	41	38.5	39	93	
Diámetro interno (m)	0.558	0.558	0.558	0.558	0.558	0.558	0.558	
Altura (m)	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	
Peso de residuos + tara (Kg)	40	35	43	41	38.5	39	42	
Peso volumétrico (Kg/m ³)	114.1178276	90.3432802	128.382556	118.872737	106.985463	109.362918	123.627647	113.098918
Volumen del tambo (m ³)	0.210308946	0.21030895	0.21030895	0.21030895	0.21030895	0.21030895	0.21030895	0.21030895

Figura 8. Peso Volumétrico de los residuos de Atemajac de Brizuela

Así se calculó que el promedio de generación per cápita en casas habitación es de **0.4414 Kg/hab/día** de basura, pero ese resultado no representa el total del promedio de generación debido a que también se tiene que tomar en cuenta la generación en el mercado, escuelas, tiendas, plaza central y demás puntos que frecuenta la población. La generación promedio de esos lugares también se tomó en cuenta al realizar cuarteos individuales para el mercado, escuelas, tiendas y plaza. El resultado se dividió entre el número de habitantes de la cabecera municipal de Atemajac de Brizuela y lo que se obtuvo se sumó a la generación per cápita de basura doméstica y se obtuvo así la generación per cápita total de **0.4511 Kg/hab/día**. A continuación se ilustra de una mejor manera el cálculo antes mencionado.

$$\frac{\text{Generación en casas habitación}}{\text{Población}} + \frac{\text{Generación en sitios comunes}}{\text{Población}} = \text{Generación per cápita.}$$

Este resultado representa la generación de basura por habitante durante el tiempo ordinario, sin embargo; Atemajac de Brizuela es un municipio con numerosas festividades durante el año por lo que su población en esos días se ve incrementada a más del triple. Esta información también se tomó en cuenta para determinar la generación total para la que finalmente se calculó un incremento estimado del 20%, lo que nos da un resultado final de **0.5413 Kg/hab/día**. Con los datos poblacionales anteriormente mencionados y con toda la información obtenida a través del método del cuarteo y del peso volumétrico se procedió a calcular la generación per cápita anual en peso y en volumen y posibles comparaciones.

Generación per cápita kg/hab/día	Peso volumétrico kg/m ³	Generación por población Kg/día/pob	Peso en un año	Volumen en un año	Volumen de alberca	Veces que se llena una alberca en un año
0.54132595	113.0989184	3375.708623	1232133.6	10894.30089	2500	4.357720355

Figura 9. Características físicas de los residuos generados en Atemajac

La generación por toda la población de residuos se obtiene de la siguiente fórmula:
 Generación por población (Kg/día/pob) = Generación per cápita (Kg/hab/día) * # Habitantes.

Habitantes	Generación(kg/día/hab)	Generación (kg/día/población)
6,236	0.5413	3,375.5468

Figura 10. Generación de basura al día en el municipio de Atemajac (incluyendo localidades)

2. Composición

Para la separación adecuada de los residuos se siguió la Norma Mexicana **NMX-015-AA-1985**, la cual clasifica los residuos de manera minuciosa, para así obtener los porcentajes en peso de la generación de acuerdo al tipo de residuo sólido.

Los resultados obtenidos en este “método del cuarteo” se presentan a continuación.

Residuo	% Promedio
Cartón	3.447944842
Cartón encerado	0.312581629
Lata	1.173524886
Papel	1.797682553
Papel sanitario	1.79673416
Pañal desechable	8.834441451
Plástico rígido	2.603318984
Plástico de película LDPE	3.392670888
Poliestileno expandido o unisel	0.985661075
Orgánicos	56.82009538
Vidrio transparente	8.447418606
Otros	1.971973625
Polipropileno PP	0.32437073
PET	3.29991314
HDPE	1.846134285
Tela	0.716922126
Construcción	2.714486169

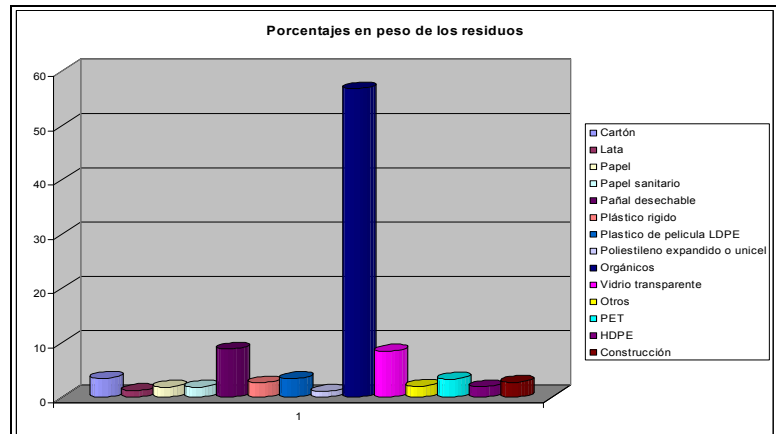


Figura 11. Composición porcentual en peso de los residuos de Atemajac de Brizuela

Durante el mismo estudio técnico, se obtuvieron también las densidades de los residuos. Con la generación poblacional y los porcentajes en peso del cuarteo, se calculó el total de generación por cada residuo en peso y volumen.

Residuo	Densidad kg/m ³	Cuarteo (peso)	Generación de la población por día (kg/día)	Generación de la población por día (m ³ /día)
Plástico	65	7.74936641	261.5960301	4.02455431
Papel	89	1.797682553	60.68452496	0.681848595
Cartón	50	3.447944842	116.3925714	2.327851427
Orgánico	200	56.82009538	1918.08086	9.590404298
Metales	250	1.173524886	39.61478076	0.158459123
SANITARIOS	150	20.56396732	694.1796182	4.627864122

Figura 12. Volumen para cada uno de los componentes que integran los residuos.

3. Estrategia del Manejo Integral

En base al análisis, se definió como mejor opción la instalación de 3 tambos cada 30 casas. Para los residuos “Envases de plástico” (color azul), “Orgánico” (color verde) y “Sanitarios y Otros” (color naranja). Y por el resto de los residuos (papel y cartón, vidrio y metales), el camión de aseo público pasaría a ciertos puntos estratégicos de generación de esos residuos como escuelas, tiendas, etc. y de ser necesario pasaría a las casas cada determinado tiempo solamente a recoger esos residuos ya separados.

Para calcular dicho número de tambos se realizó lo siguiente:

$$\#tambos = \frac{\#casas}{30casas/1Juego} \cdot \frac{3tambos}{1Juego}$$

$$\text{Entonces: } \frac{1231 \text{casas}}{30 \text{casas} / 1 \text{Juego}} \cdot \frac{3 \text{tambos}}{1 \text{Juego}} = 123 \text{tambos}$$



Después se procedió a calcular las dimensiones necesarias para la creación de un centro de acopio para satisfacer la necesidad de almacenar los residuos ya separados.

Residuo	Generación de la población por día (m ³ /día)	alto	ancho	largo	m ³	Días para recolección
Plástico	51.5875641	2	4	5	40	9.938988748
Papel	6.082515738	2	2	5	20	29.33202495
Cartón	26.55257211	2	4	5	40	17.18322722
Vidrio	20.32909038	2	2	5	20	13.74665705
Metales	1.537944238	2	4	5	40	252.4310322

Figura 13. Necesidades físicas del centro de acopio

Con base en el número de tambos de 200 litros, la información del cuarteo y del peso volumétrico, se procedió a diseñar el nuevo sistema de recolección, en el que habrá rutas definidas con días diferenciados para la recolección de los residuos separados. De acuerdo con lo obtenido en el peso volumétrico, la capacidad total de cada tambo es de 0.2103m³.

Entonces para hacer dichas rutas, se calculó el volumen de los residuos separados en cada tambo por día, tomando en cuenta que habrá 41 juegos de tambos distribuidos en la cabecera municipal cada 30 casas. Es decir; que a partir de la implementación del nuevo sistema de recolección, el camión recolector solamente hará 41 paradas diarias en los puntos donde se encuentren los juegos de tambos, en lugar de pasar a las 1231 casas. Esto apunta hacia un gran ahorro en el combustible utilizado para mover el automotor y una optimización del uso de los recursos destinados a la recolección en casas habitación. Como se muestra en la siguiente tabla, los cálculos indican que para no superar la capacidad de los tambos es necesario recolectar los residuos orgánicos diariamente y los envases de plástico al igual que los sanitarios y otros cada 2 días.

Residuo	Generación diaria de la población (kg/día)	Generación diaria de la población (m ³ /día)	Volumen diario de los residuos por tambo (m ³ /tambo/día)
Orgánico	1918.08088	9.5904043	0.2339123
Sanitario y Otros	694.1796182	4.62786412	0.112874735
Envases de Plástico	261.5960301	4.02455431	0.098159861

Figura 14. Clasificación de residuos en Atemajac de Brizuela

3.1 Almacenamiento temporal

Los contenedores que el ayuntamiento proporciona para el almacenamiento temporal de los residuos generados por la población son tambos de 200l con una tapadera para evitar que los residuos se mojen, junto con una estructura para cada juego de tambos y así facilitar las maniobras de los recolectores y evitar los robos.

Para cada tipo de residuo generado se diseño una ruta de recolección lo cual evitara que los tambos se llenen y sean adecuados para el volumen que se genera.

Este sistema de almacenamiento temporal necesita de una limpieza cada 3 meses para evitar la corrosión de los mismos.

La duración de este almacenamiento temporal es mínimo 3 años con un buen cuidado, manejo y mantenimiento de estos se aumenta la duración.

3.2 Recolección

Únicamente en base al recurso económico del municipio, se definió adecuar la infraestructura actual, por lo que el camión de mayor capacidad recolectará los residuos de mayor generación; es decir, los de los tambos que se ubicarán cada 30 casas.

El camión contará con una división justo a la mitad, para contener en uno de los compartimientos los residuos orgánicos; mientras que en el otro contendrá los residuos sanitarios y otros, pero en los días en que recoge los envases de plástico, tendrá que realizar 2 viajes; en el primero recolectará los residuos orgánicos y los envases de plástico y los llevará al centro de acopio y a la planta de compostaje municipal respectivamente. En el segundo viaje recogerá los residuos Sanitarios y Otros, que son los únicos que llevará a disposición final en el relleno sanitario.

El camión chico pasará a los puntos donde se tiene más generación de estos, así como un recorrido por la cabecera para recolectar por las casas el papel y cartón así como vidrio y metales para llevar estos al centro de acopio.

Las rutas definidas en días diferenciados para cada camión, se muestran a continuación.

- Camión grande: capacidad de 15 m³

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Orgánico	Orgánico	Orgánico	Orgánico	Orgánico	Orgánico	Orgánico
Sanitarios y Otros	Envases de plástico	Sanitarios y Otros	Envases de plástico	Sanitarios y Otros	Envases de plástico	Sanitarios y Otros

Figura 15. Ruta de recolección

- Camión chico: capacidad de 6m³.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Papel y Cartón	Papel y Cartón	Papel y Cartón	Papel y Cartón	Papel y Cartón	Vidrio y Metales	Papel y Cartón
Vidrio y Metales		Vidrio y Metales		Vidrio y Metales		Vidrio y Metales

Figura 16. Ruta de recolección

3.3 Tratamiento (separación, composteo, otros)

Los residuos inorgánicos se llevarán a un centro de acopio diseñado con base en los datos de generación de cada uno de los residuos ya separados expresados en la parte de la caracterización de los residuos de este documento.

Para el cálculo de las dimensiones necesarias para la creación de un centro de acopio para satisfacer la necesidad de almacenar los residuos ya separados, se tomó como base una altura total de los residuos de 2 metros y de acuerdo a todos los cálculos anteriores, se obtuvo el tiempo en que se llenaría cada compartimiento del centro de acopio y el número de días en que es necesaria la recolección de los mismos.

Residuo					
Plástico					
Papel					
Cartón					
Vidrio					
Metales					
Generación de la población por día (m3/día)	alto	ancho	largo	m3	Días para recolección
51.5875641	2	4	5	40	9.938988748
6.082515738	2	2	5	20	29.33202495
26.55257211	2	4	5	40	17.18322722
20.32909038	2	2	5	20	13.74665705
1.537944238	2	4	5	40	252.4310322

Figura 17.

Dimensionamiento del Centro de Acopio

Para el reaprovechamiento de los residuos orgánicos se construirá una Planta Municipal de Compostaje, que se ubicará cerca del centro de acopio. De acuerdo a la generación diaria de los residuos orgánicos, se irán depositando en pozos o en camas, con una infraestructura muy básica adecuada al presupuesto del municipio.

3.4 Disposición final

Los residuos orgánicos, los cuales son más de la mitad de los residuos se llevaran a la planta de compostaje municipal ubicada dentro de la cabecera municipal.

Los residuos sanitarios y otros serán llevados al basurero municipal directamente, como son únicamente el 25%, se puede aumentar la vida útil de este.

Los inorgánicos reciclables se llevaran al centro de acopio donde se almacenaran temporalmente hasta juntar las cantidades requeridas por la empresa recolectora para su revalorización y aprovechamiento.

4. Evaluación Medioambiental

Con los datos obtenidos y mencionados anteriormente se sabe:

- La cantidad de residuos que genera cada habitantes al día son 0.546kg
- En el Municipio de Atemajac hay 5070 habitantes en la cabecera municipal
- Por lo tanto la cantidad de basura sin separar que se genera al día por todos los habitantes es de 2,768kilogramos = 2.768 toneladas, las cuales son depositadas en el tiradero

Analizando la gráfica que se muestra a continuación se puede observar que todos los residuos que entrarán en la separación suman el 75% de los residuos que se generan actualmente, el otro 25% son los residuos que no se pueden reaprovechar (Sanitarios y Otros)

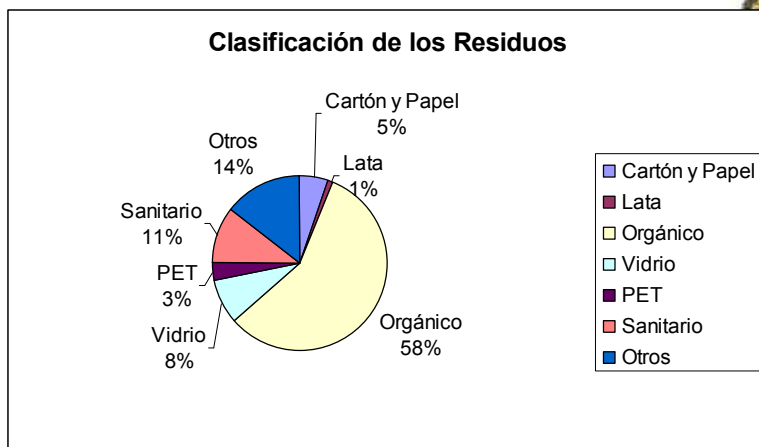


Figura 18. Resultado de la caracterización de residuos (% en peso).

Por lo tanto la cantidad de basura (los residuos que no se pueden revalorizar) que se generaría al día de todos los habitantes ya con la separación es de: 692kilogramos (que corresponde al 25% de los residuos actuales) 0.692 Toneladas.

A continuación se muestra una gráfica comparativa de la cantidad de residuos generados que van directamente al tiradero actualmente y de los residuos que se generarían ya con la separación.

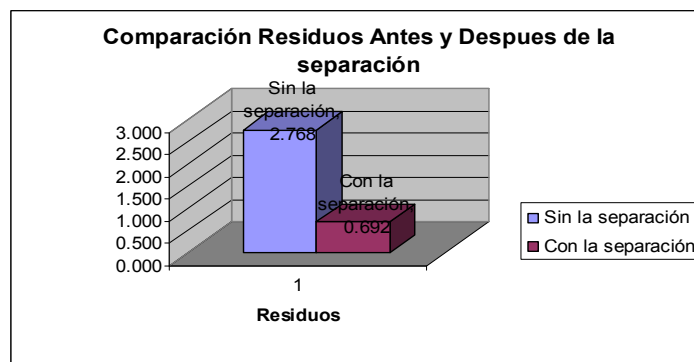


Figura 19. Comparación antes y después del PMPGIRS

La siguiente tabla muestra los resultados en cantidades que se tendrían de los residuos ya con la separación, los cuales dejarían de ir al relleno sanitario y se reaprovecharían como materia prima.

Residuos que se separarían	Cantidades generadas al día
Cartón y Papel	0.138 Toneladas
Orgánico	1.606 Toneladas
Vidrio	0.221 Toneladas
PET	0.083 Toneladas
Lata (Aluminio)	0.028 Toneladas

Figura 20. Residuos susceptibles para re aprovechamiento.

Residuos que no se separarían	Cantidades generadas al día
Sanitarios y Otros	0.692 Toneladas

Figura 21. Residuos de difícil reciclaje.



Con este análisis se puede observar que se reduciría mucho la cantidad de residuos sólidos en el municipio, los cuales además se aprovecharían como materia prima entrando otra vez al ciclo de vida de un producto sin utilizar materia prima nueva, así se aprovecharía al máximo los recursos, en vez de que se tenga una mala disposición de estos ocasionando impactos negativos al medio ambiente.

CONCLUSIONES

Es de vital importancia que los municipios brinden el interés necesario para tomar acciones en beneficio del ambiente o su conservación, ya que este tema sigue siendo hasta nuestros días algo secundario, que se atiende hasta que ya existe una afectación; sin embargo los estudios y las consecuencias de nuestro manejo inadecuado reflejan que es necesario tener un cambio de actitud, desarrollando programas como este, en el que los residuos quedan de alguna manera bajo un seguimiento continuo, creándose fuentes o vías para su reutilización y valorización para evitar en lo posible que estos vayan a disposición final la cual en su mayoría es inadecuada, insuficiente e ineficiente.

Las condiciones climatológicas que tiene México, por su ubicación geográfica brindan una excelente oportunidad para “deshacernos” de los residuos orgánicos, por medio de procesos aeróbicos (compostaje y/o vermicompostaje) y anaeróbicos, transformándolos en material productivo para el campo, cultivos y en la restauración de suelos que por su mal aprovechamiento se encuentran afectados; estos procesos especialmente los aeróbicos necesitan bajos costos de infraestructura y son demasiado sencillos, ya que consisten en replicar lo que hace la naturaleza con los residuos orgánicos, bajo un sistema controlado optimizando el proceso con el objeto de disminuir los tiempos de degradación y realizar mejoras en producto.

Además es importante realizar una separación de los residuos desde la fuente generadora, ya que esto aterriza hacia la responsabilidad compartida, tanto en el consumidor así como en los productores ya que estos deben involucrarse, haciéndose responsables de sus productos en todo su ciclo de vida.

La simple acción de la separación se ve directamente reflejada en que esos productos separados encuentren un eslabón mas de la cadena, antes que llegar a la disposición final, lo que se ve reflejado en ahorro energético y monetario, fuentes de empleo, reducción del impacto ambiental, disminución de la afectación a la salud y de los ecosistemas que son adaptados antropogénicamente para servir como SDF, siendo así que los documentos rectores que definan el ciclo que tendrán los productos que se convierten en residuos cobren vital importancia para el mejoramiento del ambiente y de la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

- Antonio León Dávila y maestra Lupita de Atemajac.
- Mirella León Castro.
- Lydia Hernández, Eduardo Parra Ramos y Cecilia Gutiérrez.
- A todos los Promotores Ambientales del Municipio de Atemajac

- A todos los compañeros y organizadores de la Red GIRE SOL
- Juan Pablo Rojas Guerrero, CINEMA ESTUDIO.
- Belén del Rocio Cárdenas Leal. CEMEX.
- Víctor R. Arias Hernández, SAP.
- Isaac David Aquiles Estrada, IAR



REFERENCIAS

- Lic. y Q.F.B. Yolanda Senties E., Dr.-Ing. Günther Wehenpohl, M.V.Z. A. Ricardo Sánchez Rubio, Q.F.B. Concepción Bonfil Valle. “ESTUDIO DE GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES”
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL “*Gestión de Desechos y Reciclaje*”
- Dr. en Ing. Günther Wehenpohl, GTZ, M. en Ing. Claudia Patricia Hernández Barrios, “GUIA PARA LA ELABORACIÓN DE PROGRAMAS MUNICIPALES PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS” Primera edición: Enero de 2006, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2006.

LA MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, EJE CENTRAL DEL PROGRAMA ESCUELA LIMPIA DEL CENTRO DE EDUCACIÓN AMBIENTAL QUETZALLI EN COATZACOALCOS

A. Barradas-Rebolledo¹, G. Silva-Talancón²

1. Profesor Investigador del Instituto Tecnológico de Minatitlán y Asesor Ambiental del Centro de Educación Ambiental Quetzalli.

Blvd. Institutos Tecnológicos S/N, Col. Buena Vista Norte,
C.P. 96848, Minatitlán, Ver.

abarradas5000@yahoo.com.mx, tel. (922) 22-24345, (922) 22-24339

2. Directora del Programa Escuela Limpia del CEA Quetzalli. Fundación Quetzalli A.C.

Av. Ignacio de la Llave # 1307, Col. Centro,
C.P. 96400, Coatzacoalcos, Ver.

escuelalimpia_quetzalli@yahoo.com.mx, tel. (921) 21-44495, (921) 138-4782

RESUMEN

Minimizar residuos debe incluir la participación de todos los sectores de la sociedad, así, las escuelas pueden inculcar en sus alumnos hábitos saludables para clasificarlos, convirtiendo a la escuela en un centro de acopio temporal y organizado para las familias. Esto influye en hábitos como clasificar y acopiar en los hogares, orientando hacia el orden, responsabilidad y conciencia ambientales. El programa de capacitación para Escuela Limpia, inició en septiembre 27 de 2008 en Quetzalli. Actualmente opera el tercer grupo de escuelas, cubriendo a 13 instituciones, desde maternas, hasta de Educación Superior de Coatzacoalcos y 6 instituciones foráneas de 3 Municipios vecinos. El programa induce al diseño e implementación de Planes Ambientales Escolares (PAE). Por ahora operan 5 PAE's, mientras otros están en preparación. Estos incluyen acciones en 7 aspectos: Fomento de la cultura ambiental, Manejo Integral de Residuos, Uso eficiente y sustentable del agua y la Energía, Alimentación Saludable, Cuidado de la biodiversidad y Retroalimentación. El programa cuenta con la valiosa participación de 9 instancias, entre empresariales, gubernamentales y sociales, en apoyo a las escuelas. Además de las instalaciones y personal del CEA Quetzalli. Éste mantiene una estructura que integra la dimensión ambiental en la vida diaria desde edades tempranas.

Palabras Clave: Escuela limpia; residuos sólidos; sustentable; plan ambiental escolar

INTRODUCCIÓN

El Centro de Educación ambiental y Protección Civil “Quetzalli”, surge como respuesta y compromiso con el mundo y la sociedad, por el derrame de petróleo ocurrido en diciembre del 2003, como iniciativa del Gobierno Municipal (2003-2007), abriendo sus puertas en agosto del 2005. Su estructura única en su género delimita 4 áreas; cada una dando reconocimiento a cada uno de los 4 elementos (tierra, agua, aire y fuego); con un edificio central de Integración en el que existe también un Centro de Astronomía y un pequeño auditorio.

Quetzalli (que en náhuatl quiere decir: “el que da luz”, “el que ilumina” o “el que regresa la luz”), tiene la VISIÓN de ayudar a formar generaciones de individuos con plena conciencia y responsabilidad de su vida y la de su entorno, con conocimientos de la leyes de los cuatro elementos (fuego, aire, agua y tierra) y del cosmos, para el cuidado de la vida y aprovechamiento saludable de los mismos. La MISIÓN es acercar al niño, al joven, la familia, al ciudadano e instituciones a la Naturaleza, facilitando experiencias vivas con amor y respeto a través de actividades de interacciones con los cuatro elementos y el Cosmos.



Fig. 1. Palapa de cafetería y teatro al aire libre del CEA Quetzalli

Por la importancia del desarrollo sustentable, se ha propiciado que los programas de mejoramiento ambiental se redirijan en un sentido profundo entre las relaciones del ser humano con la naturaleza. Se incide en la minimización de residuos, considerando elemental que los materiales que provienen de la naturaleza, sean devueltos a la misma, evitando perjudicar la salud humana y a los ecosistemas.

En la búsqueda de alcanzar la permacultura, (cultura sostenible) se van sumando programas y acciones que contribuyen al mejoramiento de las condiciones de vida en todo su entorno, como lo es el programa de Escuela Limpia al que se ha invitado a escuelas de la localidad con la finalidad de apoyar planes específicos que ellos elaboren.

El Centro de Educación Ambiental Quetzalli, en Coatzacoalcos, promueve acciones para el mejoramiento ambiental en todos los niveles educativos del entorno. Entre dichas acciones se encuentra el PROGRAMA “ESCUELA LIMPIA” que incluye el diseño y ejecución del Plan Ambiental Escolar (PAE) para cada escuela participante.

Coatzacoalcos está en colindancia con otros municipios, como son: Minatitlán, Cosoleacaque, Nanchital, Acayucan, Chinameca, y Agua Dulce, entre otros. Con estos municipios Quetzalli ha firmado acuerdos de participación y se les ha invitado al Programa de Capacitación de Escuela Limpia.

Los materiales que componen la corriente de residuos contienen grandes cantidades de pilas, plásticos, cartón, unicele, tetrapack y papel, convirtiéndolos en combustibles potenciales y demostrando su relación con el calentamiento global, además, de provenir muchos de ellos de fuentes forestales, así como provocar la contaminación del aire.

Por otro lado, México es un país de gente joven con más del 50% de la población menor de 21 años, los cuales, en su gran mayoría se encuentran en instituciones educativas. Considerando que a través de la educación se establecen los hábitos que van a perdurar en el tiempo; la escuela consciente de su labor establece pequeños cambios cotidianos que influyan en los hogares de la población estudiantil, y más aún en todos los sectores de su alrededor.

En estudio realizado por SEDESMA en el año 2005, sobre la generación de residuos sólidos municipales en la región de Coatzacoalcos, se determinó que la disposición de residuos es únicamente a cielo abierto, con una generación en ese municipio de 150 a 300 ton/día, mientras que en publicaciones más recientes del Departamento de Limpia Pública de Coatzacoalcos se reportan datos cercanos a 400 ton/día, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Generación de residuos sólidos en los municipios del Sur de Veracruz

Municipio	Coatzacoalcos	Cosoleacaque	Ixhuatlán del Ste.	Minatitlán	Nanchital	Pajapan
Población	280,363	104,970	14,015	151,923	26,804	14,600
Vocación municipal	Urbano	Industrial rural	Rural	Industrial urbano	Urbano	Rural
Disposición de residuos ¹	Tiradero	Tiradero	Tiradero	Tiradero	Tiradero	Tiradero
Cantidad de residuos generados/día ¹	150-300 ton/día	100 ton/día ³	10 ton/día	150-300 ton/día ³	20-30 ton/día ³	10-15 ton/día ³
Tiraderos a cielo abierto ² (capacidad)	5 tiraderos 73,000 ton/año	16 tiraderos 26,650 ton/año	8 tiraderos 3,600 ton/año	30 tiraderos 41,870 ton/año	13 tiraderos 4,560 ton/año	4 tiraderos 3,830 ton/año

1 Sitio web de SEDESMA, Veracruz; 2 Anuario Estadístico 2005, INEGI; 3 Estimado por autores

El Programa ESCUELA LIMPIA tiene como objetivos:

- Ayudar a las instituciones con la información que favorezca la conciencia ambiental para promover dentro de su escuela acciones concretas y a su elección.
- Propiciar los cambios de hábitos de la comunidad educativa, incluyendo: administrativos, docentes, alumnos y familias.
- Sostener el entusiasmo de sus acciones con el apoyo que requieran sus iniciativas.
- Inducir a la conformación del Comité Escolar Ambiental, el cual será el encargado de diseñar, poner en marcha y retroalimentar un Plan Ambiental Escolar.

El cambio de hábitos se induce a partir de un principio lingüístico que es el camino más corto de cambios efectivos: con los que se propone evitar los términos: TIRAR, BASURA y SEPARAR.

- **Tirar** implica un hecho descuidado de descartar algo que no sirve, ni tiene valor.
- **Basura** se entiende por una mezcla de residuos orgánicos e inorgánicos y es mejor no mezclar que separar. Está relacionada a algo desagradable, maloliente e indeseable, donde nadie desea meter las manos.

- **Separar** implica hacer esfuerzos extras para apartar algo que ya ha sido mezclado por desconocimiento del origen y de su destino final.

Haciendo estos cambios lingüísticos, se pueden hacer cambios importantes. En la invitación que se hace, se trata de **DIGNIFICAR Y CLASIFICAR LOS RESIDUOS**. Se dignifican como materiales cuyo origen es la tierra y sus recursos naturales, por lo que bien vale la pena reintegrarlos a los ecosistemas de una forma agradecida cuando ya se han utilizado y se ha decidido que ya no son útiles para los fines que se extrajeron. La clasificación necesita niveles más altos de conciencia para asegurar que la calidad de los materiales se mantiene para otros fines prácticos o para su disposición final minimizando el equilibrio natural de los ecosistemas.

METODOLOGÍA

Objetivos y Metas.

El **OBJETIVO** general del Programa Escuela Limpia de Quetzalli es fomentar la concientización ambiental en las Escuelas de Coatzacoalcos y Municipios vecinos, mediante un **PROGRAMA DE CAPACITACIÓN** que induzca, además, a los directivos y profesores a elaborar y poner en marcha un **PLAN AMBIENTAL ESCOLAR** propio, que involucre a los profesores, alumnos, personal, padres de familia y de ser posible a otros sectores de su entorno, en un frente común en pro de la vida y la salud humana y de la naturaleza como un **TODO**.

Las metas de inicio del programa a finales de 2008 fueron:

- Impartir el programa de capacitación a grupos de directores-profesores de 5 a 10 escuelas por grupo.
- Que cada escuela diseñe el Plan Ambiental Escolar (PAE) e implemente las acciones pertinentes, con la asesoría del grupo Quetzalli en un tiempo determinado.
- Organizar encuentros anuales que sirvan de plataforma para la presentación de avances y resultados de las escuelas participantes y sirva de motivación a las que no lo tienen.
- Incluir una temática de capacitación que induzca a la comprensión de la sustentabilidad ambiental, económica y social-cultural, orientando a los participantes en su aplicación práctica e incluyente.

Temática del Programa.

La organización de los temas dirige la capacitación hacia la sensibilización, concientización y adquisición de conocimientos ecológicos y ambientales. Los contenidos inducen a la conformación de grupos de trabajo en las escuelas participantes, bajo la planificación de las acciones escolares para el mejoramiento ambiental y el desarrollo sustentable, en un Plan Ambiental Escolar. Por lo que el contenido del Programa Escuela Limpia es el siguiente:

- Semblanza de la problemática mundial, nacional y local,
- El papel de la Escuela y los educadores para el mejoramiento ambiental y de la calidad de vida,
- Manejo integral de residuos (Contacto con empresas e instancias que se dedican al acopio de residuos),
- Huertos escolares,

- Uso eficiente y sustentable del agua,
- Biodiversidad de la región,
- Ahorro de energía eléctrica,
- La importancia de la alimentación para el cuidado de la salud,
- El Plan Ambiental Escolar (PAE) como eje para la escuela y el desarrollo sustentable,
- Elaboración del PAE por cada escuela participante,
- Asesoría para la implementación.

Etapas.

Las etapas para la impartición del Programa Escuela Limpia en 4 fines de semana (4 horas cada sábado), complementados con 2 semanas de asesoría para diseñar e implementar el Plan Ambiental Escolar son las siguientes:

1. Enlace con la institución y Firma de oficio de participación
 - a. Convocatoria vía medios de comunicación (periódicos, radios, entre otros) a las escuelas de la ciudad para dotarlos con contenedores para sus residuos sólidos.
 - b. Enlace con la Secretaría de Educación de Veracruz, Delegación Zona Sur, para contactar con supervisores y directores de las escuelas públicas.
2. Enlace con autoridades y organismos prestadores de servicios públicos municipales; instancias de gobierno estatal; e instancias de gobierno federal, para invitarlos a participar en el programa con los apoyos relacionados con sus funciones.
3. Pre-diagnóstico de la escuela; población escolar, superficie tanto de edificios y áreas verdes, cantidad, origen y tipo de residuos, productos consumidos dentro de la institución, estado de las instalaciones hidráulicas, equipo e instalaciones eléctricas, posible captación de agua pluvial, consumos de agua y energía, entre otros, donde las variables dependientes serían la cantidad de residuos que salen a la calle por bolsa u otro medio y los consumos de energía y agua. Esta etapa requiere de:
 - a. Solicitud de la escuela para que Quetzalli la integre en el proyecto “Escuela Limpia”.
 - b. Contacto con las escuelas interesadas y calendarización de las visitas.
 - c. Recorrido del área y observación.
 - d. Contacto directo y encuesta con el personal de la institución.
 - e. Contacto directo y encuesta con el alumnado y padres de familia.
 - f. Vaciado y análisis de datos obtenidos.
 - g. Observación técnica de situaciones concretas detectadas.
 - h. Retroalimentación con la población encuestada.
 - i. Elaboración del documento: “Diagnóstico de la Situación Ambiental de la Escuela”.
4. Sensibilización al personal de la institución mediante el programa de capacitación; preferentemente a un grupo de trabajo conformado particularmente para los fines del programa.
 - a. Emisión por parte la escuela interesada de un documento de intención de incorporación al proyecto “Escuela Limpia”, asumiendo su compromiso y responsabilidad, a la vez que asigna a un representante ambiental.
 - b. Impartición del programa de capacitación para un grupo inicial de entre 20 y 30 participantes, que incluya los tópicos ya mencionados en la temática a seguir.

5. Elaboración del **Plan Ambiental Escolar** como producto del programa de capacitación. Inicialmente se diseña el Plan Ambiental Escolar (PAE) por cada representante de las instituciones participantes. El cual debe incluir:
 - a. Nombre del PAE.
 - b. Misión.
 - c. Visión.
 - d. Análisis del documento “Diagnóstico de la Situación Ambiental de la Escuela”.
 - e. Objetivo General.
 - f. Objetivos Específicos.
 - g. Priorización de acciones.
 - h. Programa de ejecución de acciones.
 - i. Cronograma de acciones.
 - j. Programa de seguimiento y evaluación.
6. Asesoría en la implementación de acciones en las escuelas participantes.
7. Presentación de avances y resultados en “Encuentro para la presentación de PAE´s”

Consideraciones de importancia para el manejo de residuos.

Se considera que la educación debe ser empírica y solutiva a los diversos problemas que como ciudadanos se tienen, desde su prevención a buscar medidas alternas de solución a los que ya existen.

Para aspirar a una vida sostenible, se requiere de tomar decisiones y llevar acciones que favorezcan a la VIDA. Este es el mayor de los valores al que la educación puede aspirar: **FORMAR SERVIDORES DE LA VIDA.**

1. Proponer que al dignificar los residuos, se entreguen limpios, secos y clasificados, contribuyendo educativamente con esto a los hábitos de: orden, terminar lo iniciado, de conservar limpio el lugar donde se encuentra, compromiso consigo mismo y con el ambiente, y tener la primera solución: el manejo de los residuos se hace donde se generan.
2. Como efecto secundario de la dignificación de residuos es que si cada uno se hace responsable de los residuos de lo que se compra y aún los desechables se tienen que lavar, dejan de tener valor como tal y entonces se facilita el dejar de consumirlos.
3. El primer término de las 3 R's, es REDUCIR: debiera ser la primera medida donde hacer énfasis: el conocer los ciclos de vida de las cosas que se compran y se consumen; el consumismo y sus efectos tanto en la economía como en el ambiente en sus diferentes procesos: la extracción, industrialización, consumo y descarte.
4. Aquí se pone atención en poder RECHAZAR aquellos productos que: Son más dañinos a la salud (alimentos enlatados con el uso de aditivos y conservadores), Alimentos en los que al conocer su origen podemos darnos cuenta de utilización de productos transgénicos, herbicidas o fertilizantes inorgánicos; Productos que durante su producción involucre el sufrimiento y manejo inhumano de animales (productos de pieles de animales exóticos, criaderos inhumanos de animales que sufren para la producción del producto); Productos que durante su industrialización haya provocado el tratamiento injusto de personas.
5. Se propone hacer conciencia de los procesos de extracción, industrialización, consumo y descarte que pueda ser en beneficio de todos los involucrados al mismo tiempo de cuidar de la fuente de su extracción.

6. Se propone DIGNIFICAR LOS RESIDUOS, dándoles el lugar que les corresponde, con el cuidado que merecen, llevándolos al centro de acopio, tanto en casa, escuela, industria o municipio.
7. Al tener residuos limpios y en orden, sin que generen mal olor, insectos o desorden; se favorece el segundo aspecto REUSAR o Reutilizar, donde en el pequeño centro de acopio en escuela o casa, puede convertirse en un almacén, ordenado de material para reusar de diversas maneras, contribuyendo también al ahorro.
8. Cuando los residuos rebasan lo útil y práctico, se llevan a los centros de acopio pre-establecidos con los que se han establecido los nexos y formas de cada escuela para hacerlos llegar para el último paso RECICLAR.
9. Enlazar a las escuelas con las instancias de la comunidad que tienen en sus manos la solución del derivar los residuos para el reciclaje; papel, cartón, plásticos, latas, tetrapack además de buscar la economía de agua y energía.
10. Reconocer algunos de los residuos domésticos tóxicos para reducirlos en lo más y de otra manera su mejor manejo, como son: las pilas, el aceite quemado de cocina, el exceso de bolsas de plástico y el unicef.
11. Al separar los residuos orgánicos, se les orienta en diversos métodos de composteo de sus residuos, y llevarlos a la posibilidad de un Huerto Escolar, en el que deberán de conocer las especies propias de la región, sus características nutricionales y la forma de cultivo y cosecha.
12. El composteo puede ser directo al piso o en lombricomposta, obteniendo con ello tierra o fertilizantes ricos en nutrientes para el huerto.

Compromisos con las escuelas.

De Quetzalli para la Escuela: Capacitar y Asesorar a la escuela en su PAE

De la Escuela para Quetzalli: Llevar al 100% del alumnado a Quetzalli para capacitación escolar, previa cita. Donde se encuentran todas las alternativas que marca el programa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escuelas e instancias participantes

Las instituciones participantes en alguno de los tres cursos de capacitación que se han impartido en el contexto del Programa Escuela Limpia de Quetzalli se muestran en la Tabla 2. En ella se indica el avance en capacitación y del plan ambiental escolar.

Las empresas participantes en el rubro de compartir iniciativas sobre manejo integral de residuos municipales se relacionan en la Tabla 3.

Además, han participado autoridades municipales de los siguientes municipios:

1. CHINAMECA. Suplente de Presidente.
2. ACAYUCAN. Director de Ecología.
3. AGUA DULCE. Director de Ecología y Regidor.
4. COSOLEACAQUE. Director de Ecología y Regidor.
5. NANCHITAL. Director de Ecología.

Tabla 2. Relación de instituciones participantes y avances en el PAE

	ESCUELAS	CAPACIT'N	DIAGNOST.	PAE
C O A T Z A C O A L C O S	COLEGIO BUCHKINHAN	COMPLETA	COMPLETO	PENDIENTE
	COLEGIO LEONA VICARIO	COMPLETA	COMPLETO	OPERANDO
	INSTITUTO MODERNO DR. JOHN SPARK	COMPLETA	COMPLETO	OPERANDO
	COLEGIO PEARSON	COMPLETA	COMPLETO	OPERANDO
	INSTITUTO LA SALLE	COMPLETA	COMPLETO	OPERANDO
	KIDIGY	PARCIAL	PENDIENTE	PENDIENTE
	INSTITUTO QUETZALCÓATL VILLA ALLENDE	COMPLETA	PENDIENTE	PROCESO
	UNIVERSIDAD SOTAVENTO	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE
	UNIVERSIDAD ISTMOAMERICANA	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE
	TELEBACHILLERATO PROGRESO Y PAZ	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE
	ESCUELA H. SANTOS	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE
	INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE
	MATERNAL SOL ARCOIRIS	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE
	COLEGIO VILLA RICA	COMPLETA	COMPLETO	PROCESO
N L	INSTITUTO BISMARCK DE NANCHITAL	COMPLETA	COMPLETO	OPERANDO
A. D.	INSTITUTO LA SALLE DE AGUA DULCE	COMPLETA	PENDIENTE	PROCESO
	JOSÉ MARÍA MORELOS	COMPLETA	PENDIENTE	PROCESO
MI NA TI TL ÁN	INSTITUTO TECNOLÓGICO	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE
	ESCUELA PROF. FRANCISCO ERRASQUIN GÓMEZ	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE
L. CH.	COBAEV 43 LAS CHOAPAS	EN PROCESO	PENDIENTE	PENDIENTE

Tabla 3. Relación de colaboradores empresariales que encauzan el manejo integral de residuos sólidos.

EMPRESAS	ACTIVIDAD
DIARIO DEL ISTMO de Coatzacoalcos, Ver.	DONACIÓN DE BOTES SEPARADORES Y PUBLICIDAD
LIMPIA PÚBLICA de Coatzacoalcos, Ver.	ACOPIO DE PILAS USADAS
CMAS, de Coatzacoalcos, Ver.	DIAGNÓSTICO ESCOLAR Y CONCIENTIZACIÓN DEL CUIDADO DEL AGUA.
FIDE. FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	DIAGNÓSTICO ESCOLAR Y CONCIENTIZACIÓN EN EL AHORRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA
SISTEMAS DE PURIFICACIÓN A.C. de Coatzacoalcos, Ver.	PROPUESTA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL
ECOPET	ACOPIO DE PLÁSTICOS, LATAS, PAPEL Y CARTÓN
ATENEA. LAS CHOAPAS, VER.	ACOPIO DE PLÁSTICOS, PAPEL Y ALUMINIO
CLUB ROTARIO, de Coatzacoalcos, Ver.	PROGRAMA SAYTA: ACOPIO DE ACEITE RESIDUAL DOMÉSTICO.
MUJERES POR MÉXICO de Coatzacoalcos, Ver.	ACOPIO DE TETRAPACK
GUÍAS DE MÉXICO de Coatzacoalcos, Ver.	ELIMINACIÓN DEL USO DE BOLSAS DE PLÁSTICO.
MADRES DE FAMILIA de Coatzacoalcos, Ver.	CAPACITACIÓN DE ACOPIO EN CASA.

Como complemento al trabajo desarrollado se han llevado a cabo dos talleres de CARTA DE LA TIERRA en las instalaciones del CEA Quetzalli, con el apoyo del Representante Nacional de Carta de la Tierra, M. Mateo Castillo Ceja.

Han participado la mayoría de las instituciones involucradas en el Programa Escuela Limpia, siendo un factor importante de sensibilización y motivación para diseñar la participación de las comunidades escolares y los sectores que involucran.

Contenido Típico de un PAE en operación

Los planes ambientales escolares, como producto del Programa Escuela Limpia, han reflejado las inquietudes encontradas del CEA Quetzalli y de las instituciones participantes.

Se han planificado los temas del PAE de acuerdo a la propuesta del programa. El PAE cuenta con la organización de las acciones priorizadas para su ejecución en tiempos determinados. Además, se establece el programa de seguimiento y evaluación.

Un contenido típico que se estableció para las escuelas participantes es el siguiente:

MISIÓN. Proporcionar los principios y lineamientos para el buen desarrollo de las estrategias administrativas y académicas encaminadas a promover transformaciones significativas para el mejoramiento ambiental y calidad de vida

VISIÓN: ser un instrumento que oriente de forma consiente a las generaciones formadas en la institución para acceder a los niveles educativos avanzados con una mentalidad positiva para contribuir a la sustentabilidad del planeta atendiendo los principios éticos y la responsabilidad compartida.

OBJETIVO GENERAL: fomentar la realización interna de los actores de la comunidad educativa que incida en su vinculación afectiva promoviendo la sensibilidad y concientización en Pro de una cultura ambiental.

Los objetivos específicos se plantean de forma estructurada como sigue:

1. FOMENTO DE LA CULTURA AMBIENTAL DE LOS ACTORES DE LA COMUNIDAD EDUCATIVA

1.1 Diagnóstico a partir de encuestas para identificar las necesidades de educación ambiental.

1.1.1 Personal educativo.

1.1.2 Padres.

1.1.3 Alumnado.

1.2 Fomento a la cultura ambiental

1.2.1 Conferencias.

1.2.3 Talleres.

1.2.4 visitas ecoturísticas.

1.2.5 Eventos de convivencia.

1.2.6 Folletos, carteles.

2. MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS

2.1 Compras verdes

2.1.1 Insumos administrativos.

2.1.2 Eliminación de alimentos chatarras.

2.3 compostaje

2.3.1 Proceso de compostaje.

2.3.2 Uso del abono en huertos.

2.2 Reutilización de residuos.

2.2.1 Concientización.

2.2.2 Implementar contenedores para separación de materiales.

2.2.3 Actividades con materiales de reuso.

2.2.4 Reutilización de residuos.

2.2.5 Reciclaje artesanal de papel.

2.2.6 Acopio de materiales para su comercialización externa.

3. USO SUSTENTABLE DEL AGUA

3.1 Agua para beber

3.1.2 Potabilización propia.

3.1.1 Diagnóstico del uso del agua de garrafón.

3.2 Agua para sanitarios

3.2.1 Diagnóstico del uso de agua en sanitarios.

- 3.2.2 Reducción del agua en sanitarios.
- 3.3 Agua para limpieza
 - 3.3.1 Diagnostico.
 - 3.3.2 Captación de agua de lluvia.
 - 3.3.3 Reutilización de aguas grises para lavar.
- 3.4 aguas de desecho.
 - 3.4.1 aguas grises.
 - 3.4.2 aguas negras.
- 4. USO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA
 - 4.1 Diagnostico de lámparas climas, refrigeradores, uso de combustible (cocina).
 - 4.2 modificaciones de instalaciones.
 - 4.3 sustitución de lámparas y equipos.
 - 4.4 Educación ambiental respecto al uso sustentable de la energía.
 - 4.5 potencial para implementación de energías alternativas.
- 5. ALIMENTACIÓN SALUDABLE
 - 5.1 Eliminación de alimentos chatarras.
 - 5.2 Mejoramiento de la calidad de los menús alimenticios.
 - 5.3 Evaluación de la salud de los niños.
- 6. RETROALIMENTACIÓN
 - 6.1 Integración de informes de la salud de los niños.
 - 6.2 Auditoria ambiental de las instalaciones.
 - 6.3 Evaluación de la cultura ambiental de la comunidad educativa.

CONCLUSIONES

Los resultados de dos talleres de capacitación que se han dado entre finales de 2008 y principios de 2009 han sido exitosos, contando a la fecha con 5 planes ambientales escolares, en la que el eje central han sido las acciones relacionadas con el Manejo Integral del los Residuos Sólidos Municipales.

Los sectores del entorno académico han demostrado interés en integrarse y de ahí se ha derivado la aceptación de otras instancias empresariales y municipales que motivan al CEA Quetzalli a proponer otras iniciativas de participación social y formación profesional ambiental.

REFERENCIAS

1. ATEGRUS (Asociación Técnica para la Gestión de Residuos y Medio Ambiente). 1997. EL ESTADO DEL ARTE EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS. Editorial Board. Barcelona España.
2. Barradas Rebolledo, Alejandro. 1999. Investigación sobre metodología adecuada a la planificación de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y rurales (aplicada a la zona Minatitlán-Cosoleacaque, en el sur de México). TESIS DOCTORAL, Universidad Politécnica de Madrid.
3. Berbel V., J., Porcel S., O. y Jiménez V., F., 1997. LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA. Revista Técnica RESIDUOS No. 39. Bilbao, España.
4. Bravo, Adrian. 1996. TÉCNICAS Y APLICACIONES DE CULTIVO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia fetida*). México.
5. Deseano G. F. Del C., García R. L, Torres M. Del C. 1998. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ÁREA RURAL DEL SUR DE VERACRUZ. Trabajo Profesional dirigido por Barradas R., Alejandro. Instituto Tecnológico de Minatitlán Veracruz. México.

6. Castro Ruiz Renata, Mondragón Yáñez Jesús. 1999. Planificación de la recogida y valorización de los residuos sólidos domésticos en la zona conurbada Minatitlán- Cosoleacaque. Trabajo profesional dirigido por Barradas R., Alejandro. Instituto Tecnológico de Minatitlán, Veracruz.
7. INEGI, 2005. Anuario Estadístico
8. López Garrido, J. - J. Pereira Martínez - Francisco M. Vidal. 1975. BASURA URBANA. RECOGIDA, ELIMINACIÓN Y RECICLAJE. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona.
9. López I., X. y Ansola, J. 1997. EXPERIENCIA PILOTO DE RECOGIDA SELECTIVA DE RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS CONTENIDOS EN LOS RSU. Revista Técnica RESIDUOS No. 34. Bilbao, España.
10. SEDESMA, 2005. Veracruz, página WEB.
11. Szantó, N. M. 1996. Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para el manejo de RSU. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social – Ilpes. Santiago de Chile.
12. Tchobanoglous George, Hilary Theisen, Samuel A. Vigil. 1996. GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. Editorial Mc Graw Hill. España.

LOS RESIDENTES DE EL SALTO, JALISCO Y SU PERCEPCIÓN DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN

Gerardo Bernache Pérez

CIESAS Occidente

Ave. España 1359, Col. Moderna, Guad. Jalisco 44190

gbernache@yahoo.com.mx, (33) 3268-0600 ext. 3003

RESUMEN

Los residentes de El Salto Jalisco han realizado una serie de manifestaciones de inconformidad y de reclamo por la forma en que opera el Vertedero Los Laureles que se ubica cercano a sus viviendas.

Los ciudadanos perciben que el ambiente está siendo contaminado por “la basurera” y se sienten afectados por dicha contaminación. Los olores fétidos y nauseabundos que tienen que soportar son uno de los principales motivos de su reclamo. Los lixiviados han contaminado los pozos de agua cercanos y han ocasionado la muerte de ganado, de tal manera que los ranchos vecinos tuvieron que cerrar y mover sus actividades productivas a otro lado. Ciertas enfermedades de las personas que viven cerca se atribuyen a la contaminación de la basurera, se afirma que han aumentado las enfermedades como el cáncer.

La percepción del riesgo que tienen los habitantes de El Salto es producto de sus experiencias de vida y de la discusión colectiva en grupos ciudadanos. Han decidido manifestarse en las calles para exigir a las autoridades ambientales para que pongan un alto a la flagrante contaminación que resulta de las operaciones diarias de disposición final de residuos en Los Laureles.

Palabras clave: basura; contaminación; El Salto; percepción de riesgo; protesta social; y vertederos.

INTRODUCCIÓN

El municipio de El Salto es parte de la zona conurbada de Guadalajara, su nombre se refiere a la cascada que forma el Río Santiago al entrar a esta localidad. Durante la primera mitad del siglo pasado y hasta la década de los setenta El Salto se enorgullecía de su río y se daban múltiples actividades de recreación y vida social alrededor de los márgenes del río. Desde Guadalajara partían paseantes para pasar el día disfrutando de los remansos del río, de algunos deportes acuáticos y más.

Desde la década de los setenta el río fue contaminándose por desechos industriales de plantas localizadas en los municipios de Ocotlán y Poncitlán. El gobierno estatal de Jalisco impulsó la industrialización regional y El Salto fue definido como una zona apta para el crecimiento

industrial porque su población era relativamente pequeña y concentrada en la cabecera municipal y otras delegaciones menores. La industria tuvo todas las facilidades para instalarse en la zona y se desarrollaron parques industriales. Esta industria también empezó a utilizar el río Santiago y la cuenca de El Ahogado para desechar sus aguas residuales.

A partir del año 2000, los ayuntamientos locales de El Salto autorizaron la construcción de varios fraccionamientos con cientos y miles de casas en zonas previamente declaradas como zonas de amortiguamiento de actividades industriales y en ciertos casos los fraccionamientos fueron construidos en terrenos aledaños a industrias de alto riesgo.

En los últimos tres años, los habitantes de los municipios de El Salto, Juanacatlán y la zona norte de Tonalá¹ empezaron a sentir con mayor peso los efectos de la contaminación del Río Santiago. Décadas atrás habían dejado de usar el río para actividades recreativas y productivas, pero ahora la contaminación del río ha llegado a tal punto que los olores y vapores que emanan del cauce son insoportables y se empieza a relacionar la contaminación con su bienestar y con su salud.

En los primeros días del año 2008 tiene lugar un accidente, cuando un grupo de niños del Fraccionamiento La Azucena en El Salto se aventura a jugar más allá de las calles y corren por la orilla del río a unas cuerdas de sus casas. Uno de los niños cae al río y al hacer un esfuerzo por salir toma varios tragos del agua contaminada, logra salir del río y siguen jugando sin darle mayor importancia al accidente. Miguel, el niño que sufrió el accidente, empieza a sufrir malestares al día siguiente y termina en estado de coma en el Hospital General, donde fallece un par de semanas después. La Secretaría de Salud y el Gobierno de Jalisco tratan por todos los medios posibles de negar el estado de contaminación del río y su relación con el deceso del niño Miguel. La familia pide respuestas, pero la reacción del gobierno estatal llega al grado de amenazar a la madre de levantar cargos penales en su contra por maltrato infantil y negligencia en el cuidado de su hijo – implicando que la causa del deceso era una falta culposa de la madre.

Esta infortunada muerte ha servido, sin embargo, de elemento catalizador de la inconformidad y las protestas por el estado de contaminación del río y de otras grandes fuentes de

¹ Aunque el título de la ponencia se refiere a los residentes de El Salto, en realidad las protestas incluyen grupos organizados de habitantes de otros dos municipios: Juanacatlán y la zona nororiente de Tonalá (Tololotlán y Puente Grande). La referencia a los habitantes de El Salto es porque ellos son los que se ven afectados de manera más directa y conforman el mayor contingente de vecinos que organizan acciones de protesta por la contaminación.

contaminación flagrante. Se han desarrollado y consolidado una docena de asociaciones y grupos ambientalistas locales de los dos municipios, El Salto y Juanacatlán, que han formado alianzas con otras asociaciones de la vecina comunidad de Puente Grande en Tonalá y de Guadalajara.

Los dos grandes problemas que han identificado como amenazas a su salud y a su bienestar han sido: 1) el cauce contaminado del río Santiago y su afluente El Ahogado que descarga aguas residuales de la zona sur y suroriente del área conurbada que incluye grandes sectores de los municipios de Guadalajara, Tlaquepaque y Tlajomulco; 2) el vertedero Los Laureles que se ubica en la zona perimetral del municipio de Tonalá en su frontera con El Salto, un vertedero que recibe residuos todos los residuos que generan Guadalajara y Tonalá, además de otros municipios de la región y de múltiples empresas dedicadas a la recolección contratada de residuos comerciales e industriales no peligrosos. Este vertedero se encuentra lejano a la cabecera municipal de Tonalá, pero se encuentra muy cercano a una decena de colonias de El Salto y sus actividades tienen un impacto directo sobre los habitantes de estas colonias.

EL VERTEDERO LOS LAURELES

Este sitio tiene varias etapas de funcionamiento que van desde sus inicios como un tiradero clandestino, luego el ayuntamiento tomó la iniciativa de convertir el sitio, para el año 1986, en una planta de separación industrializada de residuos para el tratamiento de la basura de la ciudad. El proyecto se construyó y funcionó por un tiempo, pero terminó por fracasar como planta y dio lugar a un tiradero a cielo abierto que en los últimos años se reacondicionó como vertedero controlado (Bernache y cols. 1998, Bernache 2006). A partir de los años noventas el Ayuntamiento de Guadalajara adquiere este predio en el municipio de Tonalá y se empezó a utilizar como un vertedero a gran escala, ya que durante el año de 1991 se recibían alrededor de 500 toneladas diarias. Para 1994, la empresa concesionaria CAABSA y el ayuntamiento de Guadalajara establecen un contrato para que la empresa se haga cargo de la recolección y disposición de residuos del municipio. En este año, la empresa CAABSA recibe del ayuntamiento de Guadalajara y empieza a operar los dos vertederos en uso: Coyula que era el principal sitio de disposición final y Los Laureles, el vertedero de segundo orden por la distancia de la mancha urbana. El vertedero entró en las ligas mayores a partir del 2000, se reporta que el sitio recibió más de 1,100 toneladas por día durante el 2003. El vertedero de Los

Laureles tiene cuatro secciones principales en las que se han enterrado residuos sólidos en el primer predio de unas 45 hectáreas.

A finales del 2007 la empresa compra un gran lote de terreno adyacente al actual vertedero, el lugar es conocido como el predio Los Ayala, con una superficie de unas 10 hectáreas, anexo a Los Laureles y en los primeros meses de 2008 empiezan a gestionar la autorización para ampliar sus actividades en este espacio, lo cual le permitiría continuar con la disposición de residuos por otra década más de lo que tenían planeado. De hecho un letrero al ingreso del lugar indica que estarán en operaciones, por la capacidad ampliada del vertedero, hasta el año 2030. Sin embargo, entre los residentes de El Salto, este anuncio de ampliación del tiempo de operación causa una percepción negativa. Ellos estaban en el entendimiento de que el periodo de operación del vertedero estaba por concluir y con el anuncio de que estará en funciones por otras dos décadas es recibido con gran malestar colectivo.

A partir de finales del año 2006 se cierra el vertedero de Coyula y el sitio de Los Laureles empieza a recibir el 100% de los residuos sólidos generados en Guadalajara, Tonalá y otros municipios vecinos. Para diciembre de ese año Los Laureles estaría recibiendo unas 2,500 toneladas de residuos municipales por día. Un cálculo simple nos indica que en el periodo 1994-1999 se habrían depositado unas 1.1 millones de toneladas en el predio; durante el ciclo 2000-2006 se habrían sumado otras 2.8 millones y durante el 2007 se añadirían 0.9 millones de toneladas. Esto cubriría el periodo en que CAABSA ha operado el sitio, para un total aproximado de 4.8 millones de toneladas de residuos municipales. En los próximos años, durante la vida útil del vertedero, se depositarían al menos 25 millones de toneladas de basura, con el consecuente impacto ambiental y de salud sobre la población cercana (Bernache 2006).

Los principales vectores de contaminación del sitio tuvieron poco o ningún control efectivo y se escaparon de manera cotidiana por más de 20 años. A partir de la década de los noventa los contaminantes en forma de lixiviados, de emanaciones de metano, además de otros factores incrementaron las molestias que ocasiona la operación del vertedero en la población residente en áreas circunvecinas.

Los Laureles tenía en 1999 una docena de puntos de captación de lixiviados (nueve charcos o lagunas de oxidación y unas tres fosas construidas para tal fin) para los escurrimientos líquidos de los cerros de basura. Las acciones para el manejo de los lixiviados se resumen en: no dejarlos escapar del sitio, captarlos en charcos y fosas por el escurrimiento propio de la

topografía del sitio y, finalmente, bombearlos a la cima de los depósitos para inyectarlos conforme la lógica de la recirculación como método de tratamiento. Como se muestra en la siguiente tabla (8.3), en 1996 se confirmó la presencia de coliformes totales y E. Colli en la muestra de lixiviados. Por la presencia de microorganismos patógenos y el alto nivel de plomo tal muestra resulta clasificada como residuo peligroso por sus características de toxicidad y biológico-infecciosos. La muestra de 1997 resulta con características tóxicas porque el cromo hexavalente está muy por encima del límite máximo permitido por la norma. Además, el plomo también había aparecido como el segundo componente tóxico relevante en 1997 (aunque dentro de norma). Lo mismo se puede decir de los resultados de níquel en 1996.

Tabla 1. Componentes de los residuos tóxicos en los lixiviados de Los Laureles

Residuos Tóxicos	Agosto 1996	Mayo 1997	Límites permisibles
Arsénico	<0.02	<0.01	5.0 mg/L
Bario	<0.2	<0.2	100.0 mg/L
Cadmio	0.60	<0.30	1.0 mg/L
Cromo hexavalente	<0.01	40.41	5.0 mg/L
Níquel	3.3	<1.0	5.0 mg/L
Mercurio	<0.01	<0.01	0.2 mg/L
Plata	<1.0	<0.5	5.0 mg/L
Plomo	20.0	3.1	5.0 mg/L
Selenio	<0.01	<0.01	1.0 mg/L

Análisis de acuerdo con la Norma Ecológica CRP 001 (1993).

Fuente: Bernache, Bazdresch, Cuéllar y Moreno 1998.

En otra serie de seis muestreos realizados en el año de 1996, con análisis realizados de acuerdo con la Norma Ecológica CCA 031 (1993) y la Norma Ecológica 001 (1996), los resultados indican que los lixiviados estaban fuera de los límites permitidos en tres puntos:

1. Conductividad. De las muestras 100% estuvo por encima de los 8,000 μ mhos/cm que establece la norma como límite permisible. En el total de las muestras, el rango fue de 10,000 - 40,000 μ mhos/cm.
2. Grasas y aceites. De las muestras 33% estuvo fuera del límite de <100 mg/L. En el total de las muestras el rango fue de 23 - 330 mg /L.

3. Cromo hexavalente. 33% presenta valores fuera de norma que establece un límite de <1.0 mg/L y las muestras tuvieron un rango de 0 - 15 mg/L.

Estos resultados confirman las características contaminantes de los lixiviados y la necesidad de someterlos a un proceso de tratamiento y neutralización adecuados (Bernache 2006). En cuanto a los biogases, el riesgo de explosión es menor que en otros vertederos gracias a la estructura del vertedero en capas de depósitos que forman una pirámide. Fue hasta 2001 cuando, después de unos 15 años de iniciadas las operaciones de CAABSA en Los Laureles, se consideró pertinente instalar un sistema de ventilación de biogases con una red de pozos perforados en las partes altas de la tercera sección del vertedero. Vale la pena señalar que ventilar los biogases es una medida para evitar explosiones, pero no es una forma de tratamiento de los mismos.

LA PROTESTA SOCIAL Y UN SALTO DE VIDA

La reacción de movilización es un elemento importante cuando las autoridades no responden a su papel de árbitro en las disputas y no tienen la capacidad para meter en cintura las operaciones irregulares de ciertas empresas o entidades que operan vertederos (Moore 2008). Las organizaciones ambientalistas y vecinales de El Salto y Juanacatlán, con el liderazgo de la organización *Un Salto de Vida, A.C.*, han empezado una serie de acciones de protesta social por las condiciones ambientales de las zonas donde viven. Entre las organizaciones participantes se encuentran: Agrupación Un Salto de Vida, A. C., Familias Unidas por la Vida, Un Salto a la Cultura, Grupo de Apoyo a Colonos de Jardines del Castillo, Asociación de Colonos de La Azucena, Primera Sección, Grupo Ecologista El Roble, A.C., Grupo de Promotores Ambientales de Juanacatlán, Juanacatlán en Acción, Pro Vida de Puente Grande y otras asociaciones de Guadalajara como IMDEC. Estos grupos han pedido, en sus marchas y plantones, que se declare zona de emergencia ambiental al corredor geográfico que se estructura a los márgenes del río Santiago desde el municipio de Juanacatlán, pasando por municipio de El Salto y hasta la localidad de Puente Grande (Tonalá),

Las principales acciones de protesta, durante el año 2008, han sido cuatro:

- 1) Protesta frente a la puerta de ingreso del vertedero Los Laureles, después de una marcha que empieza en el centro de El Salto ya la cual acuden unas 500 personas. Una comisión entra al sitio y realiza un recorrido con representantes de la empresa CAABSA y de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo de Jalisco para observar las condiciones del sitio y hacer una serie de demandas con el fin de disminuir el impacto de la operación del sitio sobre los habitantes de El Salto y de Puente Grande. La empresa acepta realizar una serie de acciones, pero no hay acuerdo respecto a la ampliación del sitio ya que los miembros de la comisión pide que no se autorice la ampliación.
- 2) Protesta simultánea con cientos de participantes que cierran la circulación en la carretera libre a Zapotlanejo a la altura de Puente Grande, al tiempo que cierran la circulación en el centro de Guadalajara (Ave. Juárez y Ave. 16 de Septiembre) a unos metros del Palacio de Gobierno. Se entrega un pliego petitorio donde se establecen sus demandas. Como respuesta se programan reuniones con autoridades responsables de salud pública, del manejo de agua, de residuos y de gestión ambiental para dar respuestas y seguimiento a las peticiones.
- 3) Protesta con la instalación simbólica de tasas de sanitarios (metáfora de las aguas negras del río Santiago) y pancartas frente a la Casa Jalisco para pedir la resolución a sus problemas.
- 4) Marcha e intento de cierre de la planta, confrontación con grupos organizados de pepenadores, además del control de fuerzas policiales que impidieron llegar a la puerta. En esta protesta se dan cuenta que la empresa y el gobierno del estado tienen un acuerdo para enfrenar y reprimir sus acciones de movilización en contra de la basurera, como ellos le llaman.

En estas protestas se pide la declaración de emergencia de la zona, mejor atención a su salud, limpieza del río Santiago, obras de infraestructura para tratamiento de aguas en la zona conurbada, control estricto de las operaciones de la “*basurera*” (Vertedero Los Laureles). Hacia el día 15 de abril de 2008 se entrega en la SEMADES una denuncia popular contra la empresa CAABSA y la operación del vertedero de Los Laureles.

LA PERCEPCIÓN DEL RIESGO DE LA BASURERA

El riesgo es una noción que implica el advertir la presencia cercana de factores peligrosos que pueden afectar el bienestar y la salud de aquellos que se ven expuestos de manera constante (cf. Douglas y Wildavsky 1982; Luhmann 1992; Beck 1994; y Sustain 2002). Esto es lo que han experimentado los habitantes de la región referida de El Salto. Por una parte, los habitantes de las Delegaciones Puente Grande y Tololotlán del municipio de Tonalá han sufrido el impacto de los escurrimientos líquidos denominados lixiviados que por años han escapado del predio de Los Laureles y como estas dos Delegaciones se encuentran en un plano más bajo que el Vertedero, entonces los cauces de arroyos y escurrimientos siguen la pendiente del Vertedero hacia los ranchos, viviendas y zona urbana. Varios ranchos han tenido que cerrar sus actividades productivas porque el agua de los pozos y de los abrevaderos superficiales y canales de irrigación se han visto contaminadas por los lixiviados que escapan del vertedero de manera superficial o por filtración subterránea. Debido a lo anterior el ganado que bebía de esta agua se enfermaba y muchos murieron.

En estas delegaciones de Tonalá, los pozos de agua utilizados en las casas han sufrido un impacto también, además de que hay escurrimientos superficiales de lixiviados en tiempos de lluvias que corren libremente y se mezclan con otras aguas inundando con ello algunas calles y edificaciones ocasionando daños a mobiliario y riesgo de enfermedades por el contacto o exposición de algunos habitantes a estos líquidos.

Por otra parte, los habitantes de colonias de la Cabecera Municipal de El Salto y residentes de San Antonio Juanacaxtle de Juanacatlán, así como los residentes de Puente Grande resienten el impacto de olores putrefactos y emisiones de polvos provenientes de Los Laureles, así como los problemas que ocasiona el tráfico de vehículos pesados que transitan por sus calles rumbo al Vertedero y que en el camino dejan basura regada en calles y avenidas, así como un rastro de lixiviados que escurren de los camiones. Aparte de los riesgos asociados al tráfico de vehículos pesados por calles que no están acondicionadas para tal fin y donde viven familias que se ven en riesgo de sufrir un accidente.

Además, a partir del impacto sufrido por la operación del Vertedero Los Laureles, por la experiencia cotidiana y por la visita de observación realizada al sitio, las organizaciones civiles y ambientales le han pedido a la SEMADES acepte una denuncia ciudadana contra la empresa CAABSA por su operación no apropiada de sus actividades que ocasionan

contaminación ambiental en la zona y que causan un sinnúmero de molestias a los vecinos. A continuación se enumeran los problemas que tiene la operación de la empresa CAABSA y las faltas de cumplimiento a la normatividad ambiental y de salud vigente en el estado de Jalisco. La denuncia de estos grupos ha identificado una serie de problemas como son las faltas a la normatividad ambiental vigente, el impacto del tráfico de camiones pesados por sus calles, mejores prácticas de manejo y disposición de residuos y, por último, la vida útil del vertedero y su posible ampliación en un terreno anexo.

Exigencias incluidas en la Demanda Ciudadana presentada a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADES) del estado de Jalisco.

1. Contaminación de mantos freáticos que se ha observado en los pozos de extracción de agua que se ubican en las zonas aledañas. Especialmente los habitantes solicitan que se realicen pruebas de laboratorio a los pozos, veneros y estanques que se encuentran en las delegaciones de Tololotlán, Tonalá.
2. Durante la visita de observación del 20 de febrero 2008 que realizó una comisión de representantes de los colonos, se observaron una serie de irregularidades en las instalaciones del Vertedero Los Laureles, entre las que destacan la falta de control de los efluentes de lixiviados contaminantes y la falta de métodos adecuados de tratamiento de lixiviados, ya que el recirculado de lixiviados no es un método aceptable.
3. Los vecinos consideran que la empresa no realiza una operación de relleno sanitario adecuado. Es decir, los residuos que se depositan en el sitio no son cubiertos de manera regular y de acuerdo a las especificaciones de la operación de un relleno sanitario como es el contar con una geomembrana impermeable en la base del depósito.
4. También se exige que la empresa realice un esfuerzo por controlar las emisiones a la atmósfera de polvos que se generan con el tráfico de camiones y con las maniobras que se realizan dentro del Vertedero.
5. Piden que la empresa establezca un programa para controlar los olores del sitio, mejorando sus prácticas de operación del relleno sanitario. Revisar y supervisar el sistema de manejo, captación y tratamiento de gas metano que se produce por la descomposición del componente orgánico de los residuos sólidos en el relleno sanitario.

6. Se pide también que la empresa establezca un plan de contingencia para evitar al máximo los incendios accidentales y para controlar rápida y efectivamente todos los incendios que ocurran dentro del sitio.
7. Además, se solicita que la empresa diseñe un plan para establecer una zona perimetral de amortiguamiento que contribuya a controlar la dispersión de emisiones a la atmósfera, dispersión de polvos y control de olores putrefactos que emite el relleno sanitario.
8. Solicitan que la empresa integre una organización y prácticas de operación que garanticen la calidad de sus servicios y de la protección al ambiente. En este sentido se pide que la empresa participe en programas que garanticen el monitoreo y supervisión que lleven a la mejora continua de sus operaciones para que sus prácticas sean de calidad, eviten ocasionar molestias y riesgos innecesarios a la población vecina y controlen los vectores de contaminación de las fuentes de agua y de emisiones a la atmósfera. La empresa puede participar en los programas voluntarios de certificación de su administración de aspectos ambientales como son el estándar internacional ISO 14000 o el programa nacional conocido como Industria Limpia.
9. Debido al impacto negativo en el entorno ambiental y debido a la cercanía de viviendas y la construcción de fraccionamientos en un radio menor de 500 metros del perímetro del Vertedero Los Laureles en Tonalá, solicitan que la SEMADES no autorice la solicitud de expansión de las operaciones del Vertedero Los Laureles al predio anexo que han adquirido, mismo que se conoce como el predio de Los Ayala, en Tonalá. De autorizarse esta expansión, los colonos y vecinos de la zona sufrirían los impactos de la operación del Vertedero por 10 o 15 años más de lo previsto actualmente.
10. En todo caso, se pide que no se otorgue el permiso para operar en el predio anexo de Los Ayala mientras no concluyan los muestreos de aguas y mientras la empresa no realice acciones correctivas para evitar la contaminación y para mejorar sus prácticas de operación como relleno sanitario dentro del Vertedero Los Laureles.

CONCLUSIONES

Los colonos que residen en fraccionamientos, colonias y pueblos cercanos al vertedero Los Laureles han decidido emprender acciones de protesta para parar las fuentes generadoras de

contaminación en la zona. Una de las principales fuentes es *la basurera* como ellos la identifican. El Vertedero Los Laureles tuvo un periodo de casi dos décadas emitiendo olores, polvos, gases como el metano, además de escurrimientos líquidos contaminantes que contaminaron aguas superficiales y mantos subterráneos.

Las molestias y los riesgos que se perciben por parte de la población vecina han aumentado en los últimos años, llegando a un punto máximo con la muerte del niño Miguel que cayó accidentalmente al Río Santiago. Por si fuera poco, la colocación de un anuncio espectacular al ingreso del Vertedero donde se anuncia la ampliación de las operaciones hasta el 2030 fue algo que molestó a los vecinos al corroborar que tendrían que seguir aguantando la degradación ambiental ocasionada por el Vertedero por 22 años más.

La percepción del riesgo está asociada a los olores nauseabundos que en ocasiones son insoportables y causan náuseas. Los humos y partículas suspendidas que se emiten especialmente cuando hay incendios no controlados en el vertedero. Además de la constatación directa de la calidad del agua de los pozos y manantiales de la zona, mismos que están clausurados porque se han muerto animales después de beber su agua.

La población está inconforme por las molestias que causa el vertedero, pero además piensan que muchas enfermedades que sufren los miembros de sus familias pueden estar relacionadas con la contaminación de *la basurera*. Ellos quieren parar este problema de degradación ambiental que directamente les afecta y quieren que la empresa y las autoridades se hagan responsables de la situación

REFERENCIAS

1. Beck, Ulrich 1994 *La sociedad de riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Paidós. Barcelona.
2. Bernache, G., M. Bazdresch, J. L. Cuéllar y F. Moreno (1998). *Basura y Metrópoli. La gestión social y pública de los residuos sólidos municipales de la zona metropolitana de Guadalajara*, Universidad de Guadalajara-El Colegio de Jalisco-ITESO-CIESAS, Guadalajara.
2. Bernache Pérez, Gerardo (2006). *Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. Editorial Casa Chata, CIESAS. México, D.F.
3. Douglas, Mary y Aaron Wildavsky (1982). *Risk and culture. An Essay of the Selection of Technological and Environmental Dangers*. University of California Press. Berkeley, California.
4. Luhmann, Niklas (1992). *Sociología del Riesgo*. Universidad Iberoamericana y Universidad de Guadalajara. Guadalajara.
5. Moore, Sarah A. (2008). "The politics of Garbage in Oaxaca, Mexico". *Society and Natural Resources*, 21 (7): 597-610.
6. Sunstein, Cass (2002). *Risk and Reason. Safety, law and the environment*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.



GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA FRONTERA NORTE: LOS CASOS DE JUÁREZ, REYNOSA Y TIJUANA

Couto Benítez, Ismael¹

1. Egresado de la Maestría en Administración Integral del Ambiente

El Colegio de la Frontera Norte

Km. 18.5 Carr. Escénica Tijuana-Ensenada, San Antonio del Mar, Tijuana, B.C., C.P. 22560
ismaelcouto@gmail.com, (664) 6.31.63.00 ext. 1222

RESUMEN

Los municipios fronterizos del norte de México han sido catalogados como deficientes en la prestación del servicio de limpia. Esta investigación tiene por objeto identificar los obstáculos que impiden llegar a una gestión integral de los residuos sólidos urbanos en los municipios de Juárez, Reynosa y Tijuana. Los resultados señalan que en el municipio de Juárez, la planeación ha sido la base del éxito en la eficiencia del manejo de los residuos, aunado a la existencia de sistemas de monitoreo, supervisión y evaluación por parte de los funcionarios y la concesionaria. Sin embargo, en Reynosa es remarcable la ausencia de tales sistemas así como de programas sociales; factores que en conjunto han ocasionado un desempeño muy deficiente en la totalidad de su manejo a pesar de tener un servicio de recolección y disposición final provisto por la misma empresa concesionaria. En Tijuana se ubican el alto costo y la poca efectividad en programas sociales como los factores con mayor rezago, los cuales han ocasionado un manejo municipal con recurrentes problemas, especialmente operativos. Para las tres ciudades el factor más rezagado es la educación ambiental y la promoción a la minimización de la generación de basura.

Palabras clave: Basura; gestión integral; gobiernos locales; residuos sólidos urbanos.

INTRODUCCIÓN

La zona fronteriza de México con EEUU es, según INEGI (2005), la zona que mayor generación de residuos sólidos urbanos (RSU) registró después de la zona centro del país, a pesar de residir tan sólo el 6% de la población nacional.¹ En este documento se compara la gestión integral de los RSU (GIRSU) en tres municipios de la franja fronteriza por medio del

¹ Estimación propia en base a datos de CONAPO (2006).

análisis de fortalezas y debilidades, así como de los principales indicadores cuantitativos del manejo de RSU.



METODOLOGÍA

Los municipios analizados en este estudio: Juárez, Chihuahua; Tijuana, Baja California; y Reynosa, Tamaulipas; cuyo rasgo común es estar localizadas en la frontera norte de México y ser mayores de 550 mil habitantes, han sido también seleccionados por albergar aproximadamente el 66% de la población fronteriza.² Se utilizó como principal instrumento de investigación la entrevista semi-estructurada dirigida a diversos actores según su nivel de participación dentro del servicio de limpia de la ciudad, incluyendo funcionarios municipales -de diversos niveles- y personal operativo. Por medio del análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) de cada municipio se permitió identificar los factores internos y externos que influyen en la GIRSU, dicha metodología es una herramienta esencial para proveer los insumos necesarios del inicio de proceso de planeación estratégica, proporcionando la información necesaria para la implantación de acciones y medidas correctivas así como la generación de nuevos o mejores proyectos de mejora (IPN, 2002; GTZ, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSION

1. El caso de Ciudad Juárez, Chihuahua

1.1 Fortalezas y oportunidades

Debido a que se realizó la concesión del servicio de barrido mecánico, barrido manual, recolección y disposición final de basura, las autoridades municipales de limpia tienen la facilidad de no preocuparse por la operación de la recolección y *dedicarse exclusivamente a la supervisión e inspección del aseo urbano de la ciudad*. La situación anterior también ha ayudado a que exista claridad en cuanto a las funciones que le corresponden al municipio después de otorgarle funciones a la concesionaria. Asimismo, dicha delegación de responsabilidades ha permitido que los funcionarios municipales adquieran una *visión de trabajo coordinado*, sobre todo para la atención en colonias, en conjunto con la concesionaria

² Estimación propia en base a datos del Censo de población y vivienda 2000.



de la recolección y con el resto de las direcciones integradas a la Dirección General de Servicios Públicos Municipales.

Aunado al esquema de trabajo conjunto con la empresa concesionaria, una fortaleza destacada es también la *coordinación y supervisión municipal hacia las diferentes empresas concesionarias*, ya que ellas intervienen en el resto de las actividades que inciden en la gestión de los RSU y que se llevan a cabo en las instalaciones del relleno sanitario de la ciudad, como lo es con: 1) la empresa encargada de la extracción-quema de biogás y generación de electricidad a partir de la basura enterrada en la primera celda del relleno sanitario, la cual también está a cargo de la plantas de separación de basura, 2) con las dos empresas encargadas de la trituración de las llantas del centro de acopio, 3) con la empresa encargada de la elaboración de composta.

Asimismo, todos *los funcionarios entrevistados consideran que la empresa concesionaria PASA-Juárez tiene un muy buen nivel de desempeño de sus funciones*. Además que si durante la recolección existe algún usuario al que no se le dio servicio, los supervisores municipales dan aviso a la concesionaria y si ésta puede hacerlo (en función del cumplimiento de ruta), atiende al usuario; de no ser así, el municipio lo atiende con equipo propio destinado para esa actividad, lo que demuestra la excelente coordinación con la concesionaria para las labores de recolección.

Otro de los puntos más importantes que señalan fortalezas del sistema de limpia en Juárez es la implementación de una evaluación semanal por parte del municipio en las acciones de supervisión a la concesionaria y en sus propias labores de limpieza. Esto a través del *monitoreo diario de la estadística del rendimiento y la calidad de los servicios a través del Programa Operativo Anual*, sistema que lleva implementado ya varios años en la Dirección General de Servicios Públicos Municipales.

Es importante mencionar que dentro de las fortalezas del sistema de limpia en Juárez se encuentra la existencia del *programa permanente de recolección de basura pesada* (muebles, colchones, poda, etc.) en las colonias y que lleva varios años implementado: “Destilichadero”. Asimismo, se destaca la importancia ambiental que tiene la existencia de un *centro de acopio de llantas*.

Las áreas de oportunidad con las que cuenta el municipio de Juárez recaen principalmente en la *disponibilidad y coordinación de la concesionaria PASA-Juárez para apoyar con algunas*



de las actividades propias del municipio sin hacer cargos adicionales (programa “destilichadero”, limpieza y recolección en eventos públicos). Asimismo, destaca el sistema para ingresar asentamientos nuevos al padrón de colonias, ya que *la empresa concesionaria otorga el servicio de recolección aunque la colonia aún no esté entregada de manera oficial al municipio*, esto porque las colonias no entregadas por completo al municipio son atendidas por la concesionaria por lo menos una vez a la semana.

Aunado a lo anterior, *la ciudadanía se muestra satisfecha con el desempeño de la concesionaria*, esto de acuerdo a las encuestas realizadas mensualmente por la propia empresa (encuestas que la concesionaria muestra con transparencia). Esto se comprueba con el hecho que la concesionaria tiene el índice más bajo de quejas recibidas por los usuarios dentro de su propio corporativo a nivel nacional (25 quejas/mes). Esto lo ha logrado la empresa por medio de la implementación de una evaluación semanal del desempeño interno de sus trabajadores y de sus operaciones.

Dentro de las oportunidades que se identifican para el municipio de Juárez se encuentra la presencia de procesos innovadores como lo es la existencia de una *planta de elaboración de composta* operada por la empresa “Aire y Tierra Limpia, S.A. de C.V.”, y la existencia de dos *plantas trituradoras de llantas* -operadas también por empresas privadas- que no cobran al municipio por la disposición de las llantas de desecho-. Asimismo, la empresa “Biogás de Juárez”, concesionaria de la extracción y quema de biogás del relleno sanitario en coordinación con la empresa canadiense “Smart Soil Energy”, instaló el *sistema horizontal de extracción de biogás más moderno que se tiene hasta ahora en Latinoamérica*, lo que posicionan al municipio de Juárez entre los municipios líderes en el país en esta materia.

1.2 Debilidades y amenazas

Las principales debilidades del sistema de limpia en Ciudad Juárez consisten en el *rezago de la normatividad* sobre la gestión de los RS urbanos debido a las nuevas características del sistema de limpia, por ejemplo, la incorporación de la planta de separación va ligado a la aplicación de un esquema de separación en la fuente generadora así como de programas de educación ambiental eficientes. Es importante señalar que se identifica como debilidad que *el servicio de barrido y recolección tiende a rezagarse en el área centro de la ciudad* por ser la zona que más actividad presenta. De la misma manera, la aparición de tiraderos clandestinos



se debe en gran parte a que *no se localiza a la mayoría de los propietarios de predios abandonados* y evita que se limpien dichos terrenos. Otra debilidad importante es la *presencia de grupos de pepenadores en el relleno sanitario de la ciudad*, ya que esto es un impedimento para cumplir con las disposiciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y con su correcta operación.

2. El caso de Reynosa, Tamaulipas

2.1 Fortalezas y oportunidades

La principal fortaleza que se identifica en el municipio de Reynosa es el fuerte *compromiso del alcalde en turno* con el servicio de limpieza de la ciudad y, por ende, con la salud de la población, pues dentro de las primeras acciones al inicio de su periodo de gobierno se incluyó la clausura de dos de los más importantes tiraderos a cielo abierto: “Anacuas” y “Calabazas”, situación insólita en la ciudad. También su compromiso se ve reflejado en las *audiencias que personalmente realiza* con una frecuencia de dos veces por semana, donde los habitantes pueden ser atendidos y presentar sus quejas.

Dicho compromiso impacta en las tareas que dieron comienzo en la Dirección de Ecología municipal, esto para permitir que tal dirección diseñara y diera seguimiento a los programas y planes que inició la administración 2008-2010: *el diagnóstico de los tiraderos a cielo abierto, el plan para la disposición final de llantas y el inicio de las negociaciones para eliminar el problema de los carretoneros*. Esta tarea de la Dirección de Ecología municipal vino a darle importancia al tema de la basura en la ciudad y reforzó la tarea de la Comisión de Servicios Públicos Primarios que está a cargo de la recolección de basura en las dependencias de gobierno.

Otro punto importante es la reciente creación del *programa “Limpiando la colonia”* que comenzó con la recolección de los residuos voluminosos de los domicilios (descacharrización), la cual fue una actividad con una frecuencia casi nula en la anterior administración y que resulta muy importante debido a que la no recolección de los residuos voluminosos es una de las principales causas que mantienen el problema de los carretoneros. Además, la puesta en marcha del *programa “Llantazo”* para la recolección de llantas en el municipio a cambio de artículos deportivos (en coordinación con gobierno del Estado de Tamaulipas) marca el inicio de la preocupación por el tema de las llantas de desecho.

Resulta interesante que existen dos factores importantes que representan una oportunidad para
◆ UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO ◆ UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA ◆ CIESAS
OCCIDENTE ◆ UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO ◆



la creación de mecanismos de financiamiento del sistema de limpia de la ciudad: 1) *percepción generalizada de las autoridades de que el ciudadano se vuelve limpio y educado después de pagar \$24.00 al cruzar a EEUU*, y 2) *la costumbre del cobro de los carretoneros a la ciudadanía*. Estos dos factores son indicadores de la disposición de los habitantes a pagar por un servicio de limpia que cubra sus necesidades y garantice su eficiencia.

Otra área de oportunidad destacable es *la relación y apoyo que se está presentando entre la empresa concesionaria PASA-Reynosa y la administración municipal 2008-2010*, ya que hubo una respuesta positiva por su parte ahora que comenzaron las nuevas exigencias de los funcionarios municipales (especialmente de la Dirección de Ecología). Lo anterior ha provocado que la empresa se preocupe por recolectar en colonias populares y de difícil acceso, que refuerce sus propios mecanismos de supervisión, que apoye con la logística de la clausura de los tiraderos a cielo abierto, e incluso que demuestre su interés por contratar a los carretoneros para acabar con ese problema. Lo citado sugiere que el bajo desempeño que ha tenido la concesionaria es también producto de la escasa supervisión que ha tenido de su operación.

Se identifica también como un área de oportunidad que la ciudad cuenta con dos rellenos sanitarios, uno de ellos, el relleno sanitario de PASA-Reynosa, tiene aproximadamente 27 años de vida útil restante, lo que *asegura la disposición final de los residuos de la ciudad por un periodo de tiempo positivo para la planificación*. Además, está certificado ante la PROFEPA por cumplimiento ambiental, situación que lo hace único en el Estado de Tamaulipas.

2.2 Debilidades y amenazas

Existen antecedentes de *demandas al municipio hechas por la concesionaria del servicio de recolección anterior (RECO) y del retraso en los pagos y adeudos a la concesionaria actual del servicio de recolección y disposición final de la basura (PASA-Reynosa)*. Además, el ayuntamiento *no ha contado con mecanismos eficientes de planeación* que han rezagado la mayoría de los servicios y obras, como es el caso de la *escasa pavimentación de la ciudad*, la cual resulta con los índices más bajos según la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF, 2007).

Una de las principales debilidades del municipio de Reynosa es la *nula aplicación del reglamento de limpia*, lo que ha propiciado graves consecuencias ambientales y de salud entre

la población. Esto también ha tenido repercusiones debido a la *casi inexistente supervisión a la concesionaria* del servicio de recolección y disposición final, que provocó la escasa coordinación con la empresa y consecuentemente la poca planeación para abordar conjuntamente el crecimiento de las ciudad, aunado a los también *casi inexistentes programas de “descacharrización”* durante el periodo 2005-2007 y la *inexistencia de algún programa o campaña social exitosa*.

Asimismo, la poca importancia que se le ha dado a la limpieza de la ciudad y al manejo de los RSU tiene consecuencias en la *poca transparencia y el limitado acceso a la información* que se tiene por parte de los funcionarios municipales. Ligado a lo anterior, se destaca la *escasa capacitación e interés de los funcionarios en materia de GIRSU* y que la mayoría del equipo de barrido está sin operar debido a la *inexistencia de sistemas de mantenimiento preventivo y correctivo* para el equipo propiedad del municipio.

La recolección de basura es quizá una de las debilidades que más repercusión tiene en el municipio de Reynosa pues el *sistema de recolección domiciliaria que brinda la concesionaria es insuficiente para la totalidad de la población* y la recolección comercial e industrial se otorga de manera escasa. Este problema de recolección existe en gran parte por la *tolerancia que se ha dado a los carretoneros*, los cuales depositan la basura recolectada (doméstica, comercial e industrial) en *tiraderos a cielo abierto* que abarcan grandes extensiones de terreno ocasionando graves daños al ambiente y la salud.

A pesar de la clausura de dos de los más grandes tiraderos, aún *no se tiene contemplado su saneamiento y aún no se clausura el tiradero llamado “Corrales”*. De la misma manera, otra amenaza importante es el *desconocimiento del título de propiedad de los terrenos donde se ubican dichos tiraderos*, por lo que no es posible proceder a nuevas acciones en contra de los que participan en dicho negocio ni es posible sanearlos.

Además de la presencia de dichos tiraderos dentro de la mancha urbana, es preocupante la *presencia de tiraderos clandestinos de llantas de desecho, de tiraderos de basura en la rivera de los canales que atraviesan el municipio y la presencia de tiraderos en fraccionamientos de reciente creación* (por el rezago de las empresas constructoras en la entrega de colonias nuevas al municipio y la poca exigencia hacia éstas por parte del municipio). Mención especial tienen el uso de antiguos bancos de caliche (material de construcción) como terreno



para vivienda, lo que provoca *las llamadas “calicheras” rellenas de basura* y que actualmente son también tiraderos clandestinos.

Dentro de las debilidades identificadas también se encuentra que *no existe algún tipo de tratamiento de los RSU previo a su disposición final* (separación, elaboración de composta) por lo que *tampoco existen acuerdos para la disposición final de los residuos en la industria* (reciclaje, tratamiento, re-uso).

El desempeño mostrado por la concesionaria PASA-Reynosa representa una amenaza por diversos factores: 1) por la existencia de un sindicato de trabajadores de la limpieza al que están afiliados los empleados de la empresa -esto porque existen antecedentes de haber entrado en huelga en marzo de 2006-, 2) por el incumplimiento del contrato al no cubrir la frecuencia de recolección asignada ni cubrir el 100% de la ciudad, 3) por la insatisfacción ciudadana representada en el alto número de quejas que reciben (40 quejas/día).

Quizás la amenaza más fuerte que tiene la ciudad para mejorar su sistema de limpia es la *presencia de los carretoneros* que llegan a cualquier lugar a pesar que su tránsito está prohibido en zonas centrales, están sindicalizados y también viven de la pepena. Su presencia ha adquirido gran relevancia por ser un grupo numeroso (más de mil), e incluso han hecho manifestaciones por estar en contra de la clausura de los tiraderos a cielo abierto donde depositan la basura que recolectan. Además, la gran mayoría de los comercios de la ciudad les dan su basura, lo que implica una amenaza adicional por la resistencia a pagar un servicio privado de recolección.

3. El caso de Tijuana, Baja California

3.1 Fortalezas y oportunidades

La principal fortaleza del servicio público de limpia en la ciudad de Tijuana recae en el *compromiso del alcalde* para abatir el rezago de recolección de basura que surgió al inicio de la administración 2007-2010 y de continuar con acciones que posicionen a Tijuana como una ciudad limpia, ya que el tema de la limpieza de la ciudad es el más importante seguido de la seguridad pública y que se puede comprobar mediante la realización de las jornadas de limpieza de la ciudad con la *campaña “Yo sí limpio Tijuana”* lideradas por el presidente municipal. Asimismo, por la *histórica inversión que se está haciendo en infraestructura* para el manejo de los RSU, la cual, también incluye *acuerdos de participación conjunta entre el*



municipio y la iniciativa privada (IP) como lo es en el caso de la pavimentación del acceso al relleno sanitario y la instalación de la primera planta de separación de basura.

Otra fortaleza identificada es *la descentralización de la responsabilidad de la recolección (equipo y personal) a las delegaciones* bajo el mando y supervisión de la Dirección de Limpia, medida que ha permitido mayor control de las unidades de recolección y una supervisión más efectiva. Además de la *capacitación del personal operativo del equipo de recolección*, acordando que quien no acredite los cursos impartidos será reubicado, lo que permitirá hacer un buen uso del equipo nuevo aunado a la *implementación de controles más estrictos para la entrega de materiales al personal operativo* (sobre todo en los talleres municipales) ya que esto no existía.

Es también destacable que *el relleno sanitario es propiedad del municipio* y que al ser de reciente creación tiene una vida útil aproximada de 50 años. Esto permite que la ciudad tenga autonomía con respecto a las decisiones que se tomen a futuro en el relleno y que puedan ser benéficas para la ciudad, como lo es la entrada al mercado de bonos de carbono por el aprovechamiento del biogás.

También se identifica como oportunidad que el relleno sanitario se evalúa cada seis meses por personal del propio corporativo de la concesionaria PASA-GEN, esto indica que *las condiciones de operación cumplan con la normatividad ambiental* y se asegure la salud de la población.

3.2 Debilidades y amenazas

Existe un *rezago importante de los reglamentos* acorde a la realidad actual, en especial de los reglamentos de Limpia y de Protección al Ambiente pues no hay suficientes mecanismos para evitar la creación de tiraderos clandestinos ya que *la población puede arrojar sus desperdicios en lugares no controlados sin sanciones contra ello*. Asimismo, los inspectores de limpia no están habilitados para ir a las casas de los que tiran basura clandestinamente y hacer una notificación, incluso las multas que se aplican a los infractores no tienen seguimiento, lo que provoca la reincidencia en faltas a los reglamentos.

Una de las debilidades más fuertes del servicio de limpia en Tijuana es en cuanto al *personal operativo y sindicalizado*. La Sub-dirección de Limpia señala que uno de sus principales problemas es que el personal va incrementando su edad en servicio y van obteniendo mayor

ingreso. Además que tienen personal que ya no puede operar (por la edad) y los deben de reubicar (por ser sindicalizados).

Aunado a lo anterior, a pesar de contar con una nómina de trabajadores muy alta, falta personal que labore sábados y domingos ya que el de base acude sólo de lunes a viernes, lo que provoca que *se eleve el costo del servicio al tener que pagar horas extra*. Además, según los supervisores de recolección, existen trabajadores con un *alto índice de abstencionismo* que no pueden despedir por ser sindicalizados.

Otra de las debilidades recae en los vicios de un *escaso mantenimiento preventivo del equipo de limpia*, incluso existen antecedentes de no contar con ninguna barredora mecánica disponible o ningún equipo de recolección en condiciones de operar debido a fallas mecánicas. Derivado de lo anterior, *el servicio de limpia no cubre la totalidad de la población* y, a pesar de que la Sub-dirección de Limpia se apoya de los recolectores del Fideicomiso “Mi Crédito” para que den servicio en zonas no atendidas por el municipio, aún existen servicios particulares de recolección informal que proliferan tiraderos clandestinos. Asimismo, el no contar con un *programa permanente de recolección de basura voluminosa* (tiliches, cacharos) propicia la creación de tiraderos clandestinos.

En cuanto a la recolección de basura, *los servicios particulares de recolección informal* también representan una amenaza para la mejora del servicio público de limpia, ya que por no pagar la disposición en el relleno sanitario, en ocasiones depositan la basura en los contenedores de las colonias o bien en tiraderos clandestinos. Asimismo, la gran mayoría de los *comercios no cuentan con un servicio de recolección privada* y entregan su basura al sector informal o depositan sus residuos en contenedores ubicados en las colonias.

En la ciudad de Tijuana *las relaciones con la concesionaria PASA-GEN, que opera el relleno sanitario, se identifican como una amenaza importante* ya que ésta ha afectado diversos factores, principalmente en la tolerancia a los grupos de pepenadores. Estos grupos de pepenadores realizan sus actividades en el relleno sanitario de la ciudad y no existen mecanismos reales de solución. Además, el cumplimiento del contrato con PASA-GEN presenta rezagos debido a que no existe algún convenio o acuerdo para aprovechar al 100% las trituradoras de llantas de la concesionaria ni se ha puesto en marcha la planta de separación de residuos. Lo anterior señala la *escasa comunicación entre la concesionaria de la operación del relleno con las autoridades municipales* para abordar asuntos estratégicos.

4. La calidad del servicio público de manejo integral de RSU

Para finalizar, el análisis de los principales indicadores nos permite medir y comparar el rendimiento de cada municipio (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Indicadores de calidad del servicio público de manejo integral de RSU.

Indicador	Municipio			Unidad
	Juárez	Reynosa	Tijuana	
Costo por habitante	134.80	180.51	195.93	\$ / habitante / año
Costo del servicio de limpia (recolección y disposición final)	345	449	570	\$ / tonelada
Cobertura	100	48	94	% de la población con servicio de limpia municipal
Satisfacción ciudadana	0.83	40	15	quejas / día
Compromiso ambiental	100	48.3	88.4	% de RSU depositados en relleno sanitario

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los hallazgos más importantes señalan, en cuanto a la dimensión contextual de las condiciones de los tres casos estudiados, que existen dos factores que se presentan como una constante en contra del logro de un servicio público de manejo integral de RSU: 1) las condiciones de pavimentación de la ciudad y 2) la llegada de nuevos migrantes. En cuanto a lo observado en el contexto político-administrativo de los municipios estudiados, resalta que el factor detonante del avance de Juárez fue la existencia de una planeación enfocada al manejo de los RSU desde 1998. Dicho plan permitió el avance de Ciudad Juárez y el cumplimiento de sus objetivos para mejorar el servicio de limpia a pesar de un cambio de partido en el gobierno municipal (2007).

El éxito de Juárez, además de la planeación que optó por una privatización del servicio público de limpia, consistió en las habilidades de negociación que se tuvieron con el sindicato y con la futura concesionaria. La concesionaria no sólo asesoró al municipio para la revisión de cada caso de los empleados sindicalizados, sino aportó recursos para pensiones y facilitó así las condiciones para evitar que se perdiera el proyecto de privatización por influencia del sindicato. En el caso de Reynosa, el sindicato no fue un obstáculo para la temprana privatización del servicio (durante los años noventa) como lo fue en Tijuana (2004), sin



embargo, sí lo ha sido su inestabilidad política y los malos manejos financieros que permitieron desatenciones con las concesionarias que han participado y viceversa.

Finalmente, se encuentra que los esquemas de privatización no son una garantía para mejorar el servicio de limpia y que cuando se decide concesionar algún componente del manejo de residuos, la supervisión de las acciones de la concesionaria junto con una coordinación estrecha municipio-IP son los ingredientes detonantes de una prestación eficaz. Para las tres ciudades, como producto del bajo impulso a la educación ambiental y a la separación de la basura, el factor de GIRSU ausente es la promoción a la minimización de los residuos que produce cada habitante.

REFERENCIAS

1. Consejo Nacional de Población (CONAPO), *La situación demográfica de México 2006*, México, 2006
2. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Censo General de Población y Vivienda 2000, disponible en <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=10202>, consultado el 17 de marzo de 2008.
3. Instituto Politécnico Nacional, *Metodología para el análisis foda*, Marzo de 2002, disponible en http://www.uventas.com/ebooks/Analisis_Foda.pdf, consultado el 18 de mayo de 2008.
4. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, conferencia, México, *Cómo elaborar programas municipales para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos*, 10 de septiembre de 2007.
5. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), *Proyecto de pavimentación de Reynosa 2008-2010*, disponible en <http://www.reynosa.gob.mx/transparencia/PAVAMENTACION2008-2010.pdf>, consultado el 7 de mayo de 2008.

Lista de entrevistados

6. Lic. Javier Castrejón, asesor de la empresa Promotora Ambiental S.A. de C.V. en la negociación con Cd. Juárez, Tijuana, Baja California, 21 de abril de 2008.
7. Lic. Ma. Olga Garza Rodríguez, 9º Regidor y coordinador de la Comisión de Recolección de Residuos Sólidos y Programas de Reciclado del ayuntamiento de Reynosa 2008-2010, 28 de febrero de 2008.
8. Ing. José Escobedo M., Director de limpia, Gobierno Municipal de Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, 20 de febrero de 2008.
9. Ing. Alfonso Virgilio López Posada, Sub-director de limpia, Gobierno Municipal de Tijuana, Tijuana, B.C., 9 de marzo de 2008.
10. C. Juan Manuel Flores Ulloa, Supervisor del área de contenedores, Dirección de Limpia, Gobierno Municipal de Tijuana, Tijuana, B.C., 14 de marzo de 2008.
11. Lic. Jorge Ruíz, Gerente general de PASA-Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, 20 de febrero de 2008.
12. Ing. Artemio Erbey González González., Gerente de servicios de PASA-Reynosa, 3 de marzo 2008.
13. Arq. José Luis Ortiz Leal, miembro de la Dirección de Medio Ambiente, Ayuntamiento de Reynosa 2008-2010, 28 de febrero de 2008.
14. Ing. Antonino González Flores, Gerente de Rellenos, GEN, Relleno Sanitario de Tijuana, B.C., 26 de marzo de 2008.
15. C. Mario Alberto Garza Garza, Director de Limpieza Pública e imagen, Gobierno municipal de Reynosa 2008-2010, 29 de febrero de 2008.



PROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS Y FUNCIONAMIENTO DEL CENTRO UNIVERSITARIO PARA EL ACOPIO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LEÓN

**José De la Fuente Pedroza, Karina G. López Romo, Mario B. Reyes
Marroquín, F. Iván Durán Malacara, Ana L. Rodríguez Sotelo, D. Elizabeth
Turcott Cervantes**

**Carrera de Tecnología Ambiental
Área de Desarrollo Integral.**

Universidad Tecnológica de León

Blvd. Universidad Tecnológica #225, Col. San Carlos. C.P. 37670. León, Gto. E-mail:
dturcott@utleon.edu.mx, (477) 7100020 ext. 610 y 612.

RESUMEN

En la Universidad Tecnológica de León, se genera en promedio más de una tonelada de residuos a la semana que se llevan a disposición final, creando un impacto negativo al ambiente. Por esta razón, se implementó un programa de manejo de residuos, cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de los mismos. Dentro de este programa se opera el Centro Universitario para el acopio (CUPA). Para evaluar el funcionamiento de este programa se deben hacer mediciones diarias para conocer el comportamiento de la recuperación de residuos. Parte de la infraestructura con la que se cuenta para el manejo de residuos son islas de separación en interiores y exteriores. CUPA recibe en promedio 1338.15 Kg/mes de residuos de manejo especial. De acuerdo a mediciones realizadas con la cantidad total de residuos (incluyendo los que se acopian y los que van a desecho) se calculó que la generación *per-capita* es de 0.08kg. Otra de las acciones de apoyo a este programa es la concientización y difusión del manejo de residuos con la comunidad Universitaria. Sin embargo, aún con todas estas acciones, falta implementar mejoras y adecuaciones constantes al programa para que el impacto positivo que se genera sea permanente.

Palabras clave: Centro de acopio; programa de manejo; residuos de manejo especial

INTRODUCCION

El Centro de acopio de residuos de la Universidad Tecnológica de León (UTL) nació en 1999 por la iniciativa de maestros y alumnos de la carrera de Tecnología Ambiental con el nombre de “Campaña Universitaria de Protección al Ambiente” (CUPA). En el año 2007 cambió de nombre a “Centro Universitario para el Acopio”; conservando las mismas siglas. A partir de ese año se hicieron inversiones importantes en equipo e infraestructura adicional para transformar las instalaciones del almacén en un Laboratorio de manejo de residuos para la misma carrera que le dio origen.

Sin embargo, las actividades que acompañan al proceso educativo dentro de la Universidad, causan en mayor o menor medida un impacto negativo al ambiente; así que se realizaron diferentes evaluaciones para crear un Sistema de Gestión Ambiental dentro de la Universidad (SGA-UTL). El objetivo del SGA-UTL es minimizar esos impactos negativos generados por el funcionamiento de la Universidad.

De los 18 aspectos ambientales que se tipificaron para el SGA-UTL (Estrada, *et.al.*, 2007 y Reyes, 2008), el 83% corresponde a impactos causados por la generación y manejo de residuos; por lo que es fundamental y prioritario atender las diversas problemáticas en la materia. Así fue que CUPA comienza a brindar un servicio a toda la comunidad Universitaria recolectando, acopiando y separando los residuos valorizables. Los residuos inorgánicos recuperados se venden para su posterior reciclaje y los orgánicos se utilizan para elaborar composta.

En el presente trabajo se muestran algunos de los resultados obtenidos gracias al funcionamiento de CUPA, incluyendo las mediciones realizadas durante un año sobre los residuos recuperados para su valorización y el resultado de diversas acciones que conforman el programa de manejo de residuos dentro de la Universidad.

METODOLOGÍA

Revisión de infraestructura para el manejo de residuos de la Universidad.

Se hizo un análisis de la infraestructura con la que cuenta la Universidad para el manejo de residuos, para calcular la capacidad de contención; y resolver las deficiencias encontradas; así como proponer mejoras en la misma.



Identificación de las fuentes generadoras de residuos.

Se determinaron todas las fuentes generadoras de residuos dentro de la institución para generar un análisis cualitativo de residuos.

Caracterización de residuos.

Se realizaron muestreos de Enero a Diciembre de 2008 durante los días hábiles de la Universidad, para cuantificar los residuos de manejo especial que ingresaron al Centro de Acopio. También se hizo la selección de los productos valorizables como: PET, PEAD, aluminio, metal, vidrio, papel, cartón, residuos de comida y de jardín, para calcular la composición de los residuos ingresados.

Calculo indicadores de generación.

Debido a que al Centro de Acopio sólo llegan los residuos valorizables, para conocer la generación total y *per-cápita* se hizo un muestreo del 2 al 6 de junio del 2008 incluyendo la selección de subproductos. En esta parte también se identificaron los diferentes factores que afectan la generación de los residuos dentro de la Universidad.

Concientización y difusión en manejo.

De las actividades complementarias para apoyar el programa de manejo de residuos se impartieron pláticas de difusión y concientización para alumnos, profesores y personal de apoyo. Se realizaron mediante una presentación de power point y un video diseñado especialmente para esta actividad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Revisión de infraestructura para el manejo de residuos de la Universidad.

En la figura 1 se pueden observar las islas externas que se utilizan para la separación de residuos; cada isla cuenta con tres contenedores: el azul para inorgánicos, el verde para

orgánicos y el negro para desechos. La Universidad cuenta con 25 islas para separación y contención de residuos al exterior de los edificios, la capacidad de cada contenedor es de 0.1625 m^3 . Por lo tanto una isla tiene capacidad de 0.4875 m^3 , teniendo un volumen total de 12.1875 m^3 . De igual manera se tienen dos contenedores generales donde se ponen los residuos que serán llevados al relleno sanitario.

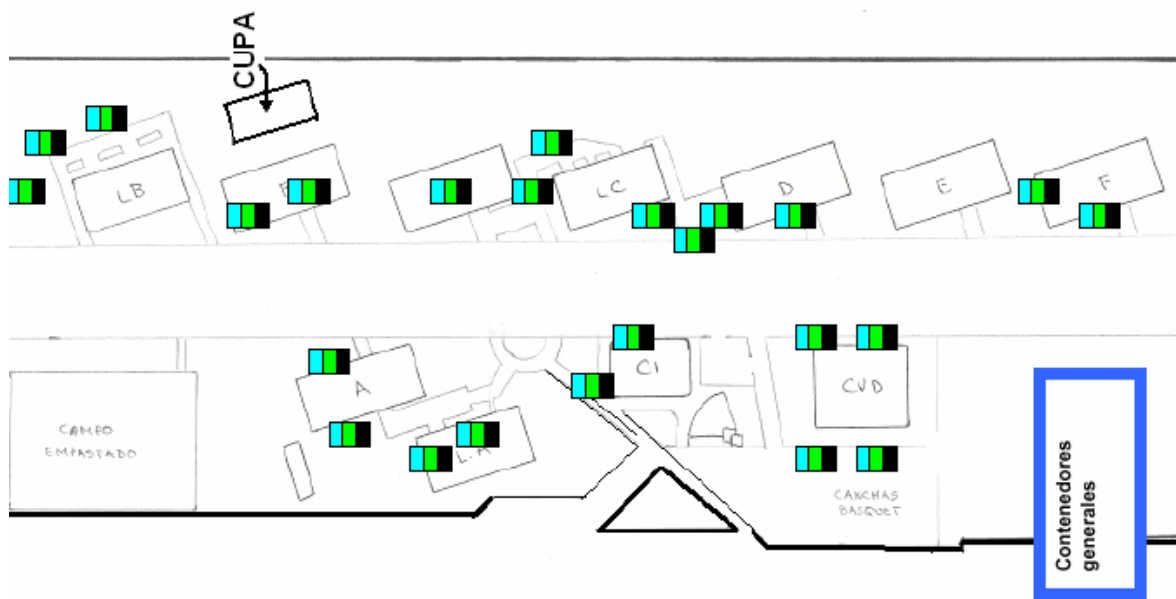


Figura 1: Distribución de islas al exterior de los edificios.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de distribución de islas y contenedores dentro de un edificio (Edificio A y Laboratorio A). En total se tienen 33 islas de contenedores al interior de los edificios, la capacidad de cada uno es de 0.0777 m^3 , dándonos un volumen por isla de 0.2331 m^3 y un volumen total de 7.6923 m^3 .

Para el funcionamiento del Centro de acopio y separación de los residuos; se tiene una instalación con muros y techo de 147 m^2 aproximadamente y un trascabo New Holland, el cual es usado para la recolección interna de residuos y el manejo de la composta. Se adquirió una compactadora vertical para aumentar la capacidad de almacenamiento de CUPA, pero aún no está en funcionamiento.





Isla para residuos con características de sólido urbanos	
Contenedor para RP	
Contenedor para papel (papelería)	
Contenedor para pilas	



Figura 2: Ejemplo de la distribución de islas al interior de los edificios.

De acuerdo a los análisis anteriores, se gestionó la compra de más islas para interiores y exteriores, para cubrir la necesidad de áreas nuevas, así como la compra de papeleras. En el caso de los contenedores generales de desechos, también se gestionó la compra de un contenedor adicional para que la capacidad de contención sea adecuada (la recolección municipal es tres veces a la semana), y así evitar problemas de limpieza, entre otros.

Identificación de las fuentes generadoras de residuos

De la revisión que se hizo, se identificaron 16 fuentes generadoras de residuos dentro de la Universidad desglosadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Fuentes generadoras y actividades.

Generador	Actividad
Edificios (A, B, C, D, E, F)	Educativa, administrativa (oficinas)
Cafetería	Venta de alimentos
Laboratorios pesados (A, B, C)	Educación especializada, de acuerdo a la carrera que pertenece
Centro de Vinculación para el Desarrollo	Auditorios, administrativos y publicidad
Centro de Información	Biblioteca
Jardines	Esparcimiento y recreación
Canchas	Esparcimiento y recreación
Mantenimiento	Actividades de mantenimiento a las instalaciones y equipos
Áreas en construcción o remodelación	Construcción

Nota: todos los edificios son de 2 plantas, exceptuando los laboratorios y CI

Fuente: Modificado y actualizado de: López, 2008

Una vez identificadas las fuentes de generación de residuos, se hizo una caracterización cualitativa por cada una de ellas, obteniendo diversos resultados. A continuación se muestra un ejemplo de los residuos detectados en un edificio, dentro de los diferentes contenedores:

Tabla 2. Caracterización cualitativa de residuos en los contenedores.

Papelera	Inorgánicos	Desechos	Orgánicos
<ul style="list-style-type: none"> • Papel archivo • Periódico • Folders • Revistas • Folletos de publicidad • Manuales • Calendarios • Cajas de cartón • Cajas de plumas • Cajas de marcadores • Libros • Libretas 	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas de refresco • Botellas de agua • Botellas de yogurt • Botellas de jugo, café (vidrio) • Latas de atún • Latas de bebidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Envolturas de frituras (galletas, papas) • Envoltura del papel • Acetatos • Porta hojas transparentes • Bolsas de plástico • Cucharas • Plumas • Servilletas • Papel sanitario 	<ul style="list-style-type: none"> • Galletas • Frutas • Comida (limón, tortillas, pan)

Papelera	Inorgánicos	Desechos	Orgánicos
<ul style="list-style-type: none"> • Invitaciones • Carpetas • Papel rotafolio • Papel cascarón 		<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de plástico • Porta fruta • Cd's • Unicel • Plástico • Gomas de mascar • Tetra pack (jugos, malteadas) 	

Caracterización de residuos.

Durante el muestreo realizado de Enero a Diciembre de 2008 se obtuvo un promedio de 1149.62 Kg de residuos que ingresaron a CUPA de los cuales se recupera cerca del 94%. En la Figura 3 se muestra a detalle la captación mensual.

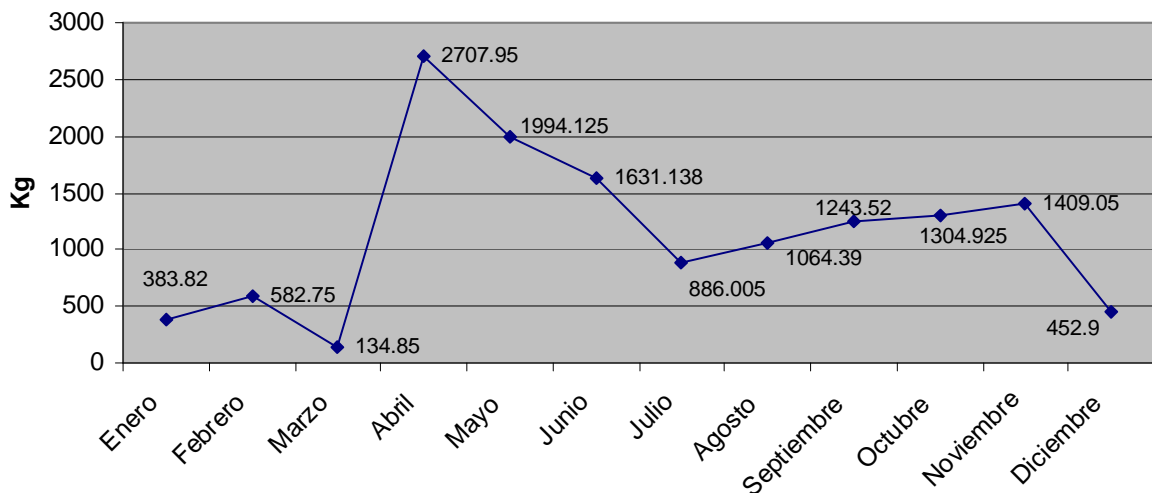


Figura 3: Captación mensual en el centro de acopio de residuos potencialmente valorizables

Se realizó una separación secundaria de residuos donde se clasificaron todos los residuos valorizables y se calculó su composición porcentual en la mezcla de los mismos, como se muestra en la Figura 4.

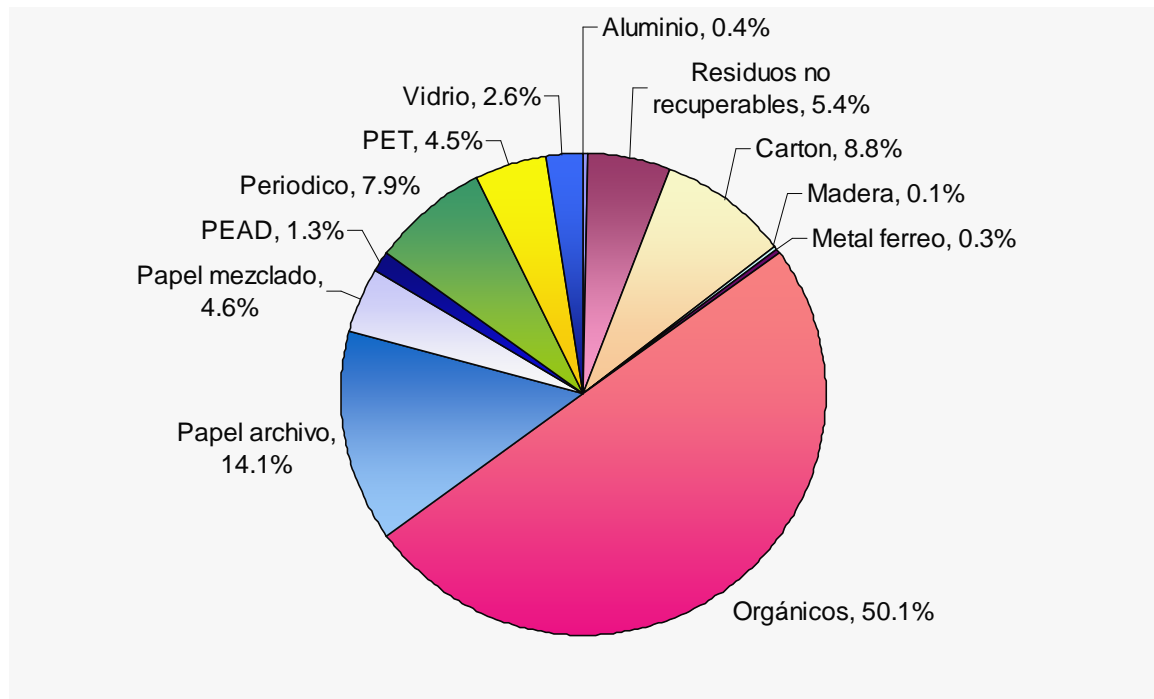


Figura 4: Composición porcentual anual de los residuos ingresados al centro de acopio

Calculo indicadores de generación.

Del muestreo realizado del 2 al 6 de Junio se obtuvo una generación total de residuos de 292.065 kg/día y una generación *per-capita* de 0.08 kg (de una población de aproximadamente 2500 en ese periodo).

La generación dentro de la universidad se ve afectada por diversos factores:

- Uno de ellos es la variación en la matrícula de alumnos a lo largo del año, ya que la universidad brinda un sistema de educación cuatrimestral, presentando aumento o disminución en la población estudiantil en cada cuatrimestre.
- Otro factor que afecta la generación es el periodo de estadias, donde todos los alumnos de 6° y 9° cuatrimestre se encuentran laborando fuera de la institución, observándose una disminución en la generación de residuos.



- Y en el calendario escolar, afectan las vacaciones, días de asueto, los festejos y eventos realizados dentro de la Universidad.
- En el caso concreto del aluminio, este es recolectado por la gente de intendencia antes de que llegue al centro de acopio.

Concientización y difusión en manejo de residuos.

La universidad dentro del programa de manejo ya establecido brinda a toda la comunidad universitaria pláticas y capacitaciones sobre el adecuado manejo y separación de los residuos en los contenedores existentes, esto con la finalidad de aumentar el porcentaje de separación en los residuos, para que estos sean mas fácilmente aprovechados.

Se ha capacitado aproximadamente más del 50% de los alumnos que conforman la comunidad universitaria. En la Tabla 3 se puede ver a detalle el número de personas capacitadas por área.

Tabla 3. Número de personas capacitadas por área.

Carrera o área	Número de personas capacitadas
Electromecánica industrial	167
Tecnologías de la Información	249
Económico Administrativo	232
Desarrollo Integral	124
Visitas Guiadas	99
Administrativos y personal de apoyo	13
TOTAL	884

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el programa de manejo de residuos, se observó que existe un gran potencial para la valorización de diversos residuos, contribuyendo con su reducción y así prolongando la vida útil del relleno sanitario. Además ayuda a fomentar la conciencia ambiental dentro de la formación de los estudiantes de cualquier carrera, dando entonces no solo una formación profesional si no también fomentando la responsabilidad



ambiental. Aunque los avances en el transcurso de un año han sido significativos, se requieren de mejoras constantes en el programa, por ejemplo, desde las instalaciones mismas del centro de acopio (donde ya se aprobó un proyecto para su remodelación) y mejoras en los procesos de recolección y medición de los indicadores. Otro punto que está pendiente de trabajar, es el manejo de los residuos peligrosos generados, donde a partir del 2009, los alumnos de Ingeniería Ambiental, trabajarán sus tesis para dar respuesta a esta problemática concreta.

Otra oportunidad de mejora para el programa es el trabajo multidisciplinario con otras carreras, donde se han empezado gestiones y proyectos también para el 2009, trabajando la automatización de las mediciones de la generación y análisis de datos, junto con profesores y alumnos de carreras de Tecnologías de la información. Otro proyecto ya en fase de planeación es el desarrollo de tecnología para el tratamiento y reciclaje interno de los residuos, junto con el área de electromecánica industrial.

Se ha trabajado también en la regularización del marco legal en materia de residuos, desde la Ley General para la Prevención y gestión integral de los residuos a nivel federal, hasta la normativa estatal y municipal aplicable, aunque ya se tiene un plan de manejo para la Universidad, falta el registro y actualización de algunos procedimientos (que además se comparten con el SGA-UTL). Rectoría ha expresado su interés por obtener una certificación en ISO 14001 a corto plazo, lo que impulsará y apoyará muchas de las actividades mencionadas y dará pie a la implementación del SGA-UTL al 100%.

Aunque todo esto ha requerido una inversión importante de tiempo, dinero y esfuerzo de profesores, alumnos y personal de la Universidad, es el deber de toda institución de enseñanza, generar conocimiento y tecnología de vanguardia para resolver este tipo de problemáticas en manejo de residuos; dar el ejemplo y ser congruente con lo que se enseña en las aulas, sobre todo a los estudiantes de carreras ambientales.

AGRADECIMIENTOS

A los alumnos de servicio becario que apoyaron en diversas actividades en el centro de acopio, incluyendo la capacitación en manejo de residuos.

REFERENCIAS



1. Estrada Ortega, B.I.; González Baeza, J.M.; Hernández Rodríguez, F.G.; Pérez Moreno, V.; Piña Gómez, G.A.; Regalado García, M.P. (2007) *Asesoría en el Sistema de Gestión Ambiental en la UTL*, Reporte final de estadía para obtener el título de Técnico Superior Universitario en Tecnología Ambiental. Universidad Tecnológica de León, León, Gto., México. En español.
2. López Romo Karina Guadalupe (2008). *Plan de manejo de residuos para la Universidad Tecnológica de León*. Reporte final de estadía para obtener el título de Técnico Superior Universitario en Tecnología Ambiental. Universidad Tecnológica de León, León, Gto., México. En español.
3. Reyes Marroquín, M.B.; (2008) *Implantación de controles operacionales para el SGA-UTL*. Reporte final de estadía para obtener el título de Técnico Superior Universitario en Tecnología Ambiental. Universidad Tecnológica de León, León, Gto., México. En español.



ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CONFINAMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS

F. Pinette-Gaona, O. Buenrostro-Delgado, L. Marques-Benavides,

**Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

Av San Juanito Itzicuaro S/N, Col. San Juanito Itzicuaro, Morelia, Mich. C.p.58302
email: fran_pinette@yahoo.com.mx, otonielb@zeus.umich.mx,
lili.marquez@gmail.com (443) 3.34.04.75 ext 115 y 116

RESUMEN

El conocimiento de la composición y de los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos, son variables clave para diseñar sistemas de gestión adecuados para los sitios de confinamiento final, que permitan minimizar y controlar los impactos negativos de estos sitios al medio ambiente.

Esta investigación se realizó para determinar la influencia del tiempo de confinamiento en la composición y parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos del tiradero de Morelia, Michoacán.

Se tomaron tres muestras de aproximadamente cinco kilos, a diferente profundidad de ocho puntos, con tiempos de cinco y diez años de confinamiento dentro del tiradero.

Se determinaron en laboratorio los siguientes parámetros de los residuos sólidos confinados: contenido de humedad, alcalinidad y pH, densidad, cenizas y sólidos totales (ST) y sólidos Volátiles (SV). La temperatura se determinó *in situ* a diferentes profundidades hasta una máxima de tres metros.

Los resultados indican que la temperatura se incrementa con la profundidad y el tiempo de confinamiento de los residuos. Con respecto al pH, se registro básico siendo mayor en las muestras con un tiempo de confinamiento de 10 años. La densidad se incrementó con la profundidad y el tiempo de confinamiento de los residuos; asimismo el tamaño de la partícula, carbono total y sólidos volátiles totales fue menor en las muestras de los residuos con mayor antigüedad.

Palabras clave: Características físico-químicas, residuos sólidos urbanos, tiempo de confinamiento.

INTRODUCCIÓN

El tiradero de Morelia ha estado en funcionamiento desde 1984, se encuentran depositados residuos de origen urbano e industrial y se reportó la presencia de lixiviados (con altas concentraciones de metales pesados y bifenilos

policlorados) que posiblemente migren hacia el acuífero (Israde, *et al.*, 2005); el tiradero esta asentado sobre fallas geológicas, además de que son suelos muy permeables por la presencia de lavas fracturadas y arenas volcánicas. Al realizar el análisis geohidrológico y monitoreo de pozos de agua de la región descubrieron que los lixiviados migran hacia la zona de fracturas localizadas aproximadamente a 100m de la cortina del tiradero, detectando la presencia de metales por arriba de la norma en pozos de agua de riego y potable de la región.

Henriques y Sopena (2005), realizaron un estudio sobre humedad y temperatura a diferentes profundidades del vertedero de Valdemingómez, Madrid, España. Los valores de humedad presentan dispersión que varían entre 13% y 70%. El valor más elevado está a 16,5 m de profundidad. No obstante, se puede observar que los valores de humedad encontrados no exhiben tendencia de aumento con la profundidad. Los resultados de temperatura obtenidos, son valores de temperatura medidos en invierno y verano indicando una variación de temperatura de 30° a 55° C en la capa más superficial (0 a 5 m), después un aumento progresivo con la profundidad, alcanzando una variación de 63° a 70° C en la capa mas profunda, a los 20 m de profundidad. De acuerdo a los autores, la mayor fluctuación de temperatura ocurre en la capa más superficial y que en todo el periodo de medidas, la temperatura aumentaba gradualmente con la profundidad. Para prever y organizar los sistemas de prerrecolección, recogida y tratamientos finales de recuperación o eliminación, es necesario conocer las propiedades o parámetros de los RS que deben tomarse en cuenta para diseñar y crear sistemas de gestión integral de los RS.

OBJETIVOS

Como objetivo general es determinar la influencia del tiempo de confinamiento en la composición y parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos del tiradero de Morelia, Michoacán y como objetivos específicos se plantearon: 1) Conocer la topografía del sitio en aspectos como área, relieve y tipo de suelo; 2) Estimar el volumen del área de confinamiento de los residuos sólidos y la cantidad de residuos sólidos depositados en el sitio, 3) Estimar la composición de los residuos sólidos encontrados y 4) Determinar los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Actividad 1. Se realizó un levantamiento topográfico para conocer el perfil del sitio, utilizando un GPS y los datos se procesaron con el programa Surfer 8.

Actividad 2. La estimación del volumen del área de confinamiento de los RS y la cantidad de RS depositados en el sitio, se hicieron con los cálculos el área del sitio y el volumen de los residuos confinados obtenidos con el programa Surfer 8.

Actividad 3. Se tomaron muestras de RS a partir de pozo de captación de biogás (perforaciones que se realizaron) en el tiradero; Las muestras se tomaron por sitio y por estrato. Cada sitio de muestreo contaba con tres estratos, cada estrato con una profundidad de 1 m



Actividad 4. Se caracterizaron los RS depositados y posteriormente, se realizó la selección y cuantificación de subproductos con base en el formato de clasificación de subproductos incluido en la Norma Oficial Mexicana NOM-22-1985 (SECOFI, 1985). Los resultados se agruparon por sitio de muestreo y estrato y se conformó una base de datos para realizar los análisis estadísticos y calcular los coeficientes de generación por subproducto.

Actividad 5. Se prepararon las muestras para los análisis de laboratorio de acuerdo con la norma (NOM-AA-52-1985). Previo a los análisis físicos y químicos, se trituró la muestra para lograr una mayor homogeneización de ésta.

Actividad 6. Se determinaron los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos, los análisis se realizaron por triplicado.

Actividad 6.1 Para la determinación de la temperatura, se monitoreo cada vez que se tomo muestra del tiradero. Se utilizó un termómetro de piso digital en °C que se enterró en las muestras de los residuos sólidos aproximadamente 20 segundos, para dejar que se estabilizará.

Actividad 6.2 Para medir el pH, se calibro el potenciómetro con las solución amortiguadora de pH=7; se peso 10 g de muestra y se transfirieron a un vaso de precipitado de 250 cm³, se añadió 90 cm³ de agua destilada; posteriormente, se mezcló por medio del agitador durante 10 minutos, se dejo reposar la solución durante 30 minutos; después se determinó la temperatura de la solución y por último se sumergieron los electrodos en la solución y se realizó la medición de pH.

Actividad 6.3 La determinación de humedad se realizó de la siguiente manera: se lavaron y enjuagaron capsulas con agua destilada, después se pusieron las capsulas en la mufla a 550°C durante una hora; transcurrido ese tiempo, se pasaron al desecador hasta obtener peso constante. Posteriormente, se pesaron las capsulas en la balanza analítica. Después se vertió la muestra (10 grs. Aproximadamente), Posterior a esto, se pesaron las capsulas con la muestra y se introdujeron a la estufa 105°C durante 24 horas; Transcurridas las 24 horas se pusieron las capsulas en desecador durante una hora; Finalmente, se dejaron enfriar las capsulas en el desecador y se pesaron.

Actividad 6.4 Para la determinación de cenizas se utilizaron las mismas muestras de humedad y se llevaron las capsulas a la mufla y se incineraron a 550 °C durante 5 horas; Después, se pasaron a la estufa durante 1 hora; Posteriormente, se pasaron al desecador por una hora, para finalmente, pesar las capsulas.

Actividad 6.5 Con las mismas muestras obtenidas de cenizas, se realizaron los cálculos para las determinaciones de Sólidos Volátiles (SV) y Sólidos Volátiles Totales (SVT).

Actividad 6.6 Para la determinación de las fracciones orgánicas e inorgánicas, se procedió a cuantificar como fracción orgánica los subproductos de: residuo fino, residuo de jardinería y residuos alimenticios y como fracción inorgánica todos los demás subproductos encontrados en las muestras analizadas.

RESULTADOS

Actividad 1. Se realizó el levantamiento topográfico, para conocer el volumen de residuos ahí depositados y los puntos donde se localizan los pozos, de los cuales se tomaron las muestras para los análisis de la investigación, Figura 1.

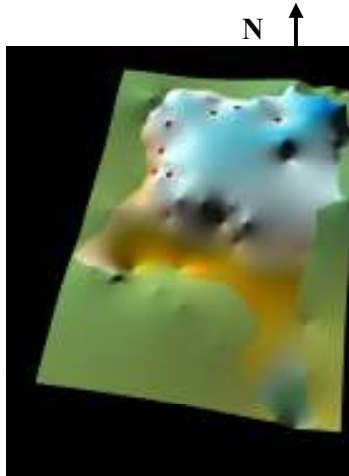


Figura 1. Mapa tridimensional de los residuos depositados en el tiradero de Morelia, donde se señalan los pozos analizados (marcados con puntos rojos).

Actividad 2. Para el volumen de los RS depositados se utilizaron los resultados del levantamiento topográfico realizado con el programa Surfer 8, dando un volumen de residuos confinados de $1,065,261.8\text{m}^3$. El peso volumétrico de los residuos se estimó en 600 kg/m^3 . De esto, se obtuvo una cantidad de $639,157.08$ toneladas de residuos sólidos confinados en el sitio.

Actividad 3. Las muestras se obtuvieron de un muestreo sistematizado estratificado; ya que se seleccionaron dos edades de los residuos sólidos del tiradero; La primera de 10 años de confinamiento y la segunda de 5 años de confinamiento, se seleccionaron 8 puntos de muestreo para la investigación, cada uno es un pozo de captación de biogás que se construyó en el tiradero de Morelia por parte de la empresa PROACTIVA; cada pozo se dividió en tres estratos, que representan los primeros tres metros de cada pozo, con una profundidad de un metro por cada estrato.

Actividad 4. De la caracterización de los residuos sólidos en el área de estudio, se obtuvo la cantidad total de RS analizados que fue de 63.712 Kilogramos de los cuales 23.404 Kilogramos corresponden a los sitios de confinamiento de 10 años y 40.308 Kilogramos de los sitios de confinamiento de 5 años. En total se encontraron 37 subproductos diferentes en los Residuos Sólidos analizados.

De los subproductos con 10 años de confinamiento, se encontró en mayor proporción el residuo fino para los tres estratos (estrato 1: 38.72% , estrato 2: 53.79% , estrato 3: 39.77%); Cartón (estrato 1: 3.17% , estrato 2: 5.39% , estrato 3: 7.70%); Tetrapak (estrato 2: 2.22%); Material Ferroso (estrato 2: 6.39% , estrato 3; 4.00%); Bolsa de película (estrato 1: 15.66% , estrato 2: 6.57% ,

estrato 3: 11.97%); Plástico rígido (estrato 1: 9.38% , estrato 2: 4.05% , estrato 3: 5.88%); Trapo (estrato 1: 8.16% , estrato 2: 1.07% , estrato 3: 3.60%) y el Vidrio (estrato 1: 2.13% , estrato 3: 5.88%).

Con respecto a los sitios de 5 años de confinamiento, se encontró en mayor proporción el residuo fino para los tres estratos (estrato 1: 69.92%, estrato 2: 65.18%, estrato 3: 70.66%); Cartón (estrato 1: 2.09%, estrato 3: 1.71%); Bolsa de película (estrato 1: 3.14%, estrato 2: 4.73%, estrato 3: 4.13%); Plástico rígido (estrato 1: 2.17%, estrato 2:

1.27%, estrato 3: 2.47%); Polipropileno (estrato 1: 1.83%, estrato 2: 3.33%), Residuos de jardinería (estrato 1: 2.60%, estrato 2: 1.33%, estrato 3: 2.99%), Trapo (estrato 3: 3.11%), Vidrio (estrato 2: 6.23%) y las Piedras (estrato 1: 9.81%, estrato 2: 10.30%, estrato 3: 6.61%).

Tabla 1. Características Físicas y Químicas de los Residuos Sólidos depositados en el Tiradero de Morelia con 5 años de confinamiento

PARÁMETRO	5 AÑOS DE CONFINAMIENTO											
	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
	ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatura	30.0	26.2	27.2	22.3	23.5	24.4	24.3	27.8	29.2	27.7	27.9	26.2
pH	8.1	8.3	8.3	8.5	8.2	8.3	8.0	8.4	8.4	8.5	8.5	8.7
% de Humedad	24.23	23.36	42.13	27.86	31.82	37.61	17.19	31.26	31.43	63.20	31.06	30.10
% de Cenizas	93.43	95.76	90.95	96.21	94.20	94.39	97.02	94.47	27.29	90.73	90.37	93.35
% de SV	75.76	76.63	57.87	72.14	68.18	62.32	82.80	68.74	68.56	46.80	68.93	69.89
% de SVT	77.31	84.29	69.89	88.71	81.07	58.54	87.98	78.92	78.57	28.99	65.67	77.68
*Peso de MO	4651	3566	4522	1746	2066	1737	1585	574	863	1740	1649	4583
*Peso de MI	812	1119	1321	466	754	673	891	1052	677	1420	752	1516

*Gramos base húmeda

Tabla 2. Características Físicas y Químicas de los Residuos Sólidos depositados en el Tiradero de Morelia con 10 años de confinamiento

PARÁMETRO	10 AÑOS DE CONFINAMIENTO											
	SITIO 1			SITIO 2			SITIO 3			SITIO 4		
	ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO			ESTRATO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatura	28.2	34.6	35.3	29.1	32.6	33.4	30.9	42.5	41.8	32.5	40.1	41.9
pH	7.4	5.9	7.8	8.2	8.0	8.2	8.4	8.7	8.7	8.9	9.0	8.5
% de Humedad	33.52	41.65	33.32	23.48	30.98	31.66	27.71	27.88	27.01	33.99	38.14	32.34
% de Cenizas	91.41	87.60	82.61	86.53	86.07	84.83	80.67	90.51	39.39	93.05	91.39	92.60
% de SV	66.47	58.35	66.67	76.52	69.01	68.34	72.29	72.11	72.98	66.00	61.86	67.66
% de SVT	59.84	32.99	38.25	35.03	47.10	32.17	24.77	72.07	60.75	74.95	67.59	79.82
*Peso de MO	800	531	601	529	1231	684	602	2894	497	656	978	1033
*Peso de MI	593	495	1053	1338	1279	828	868	1418	1023	756	1028	1233

*Gramos base húmeda

En el cuadro 2, se presentan los resultados obtenidos de la toma de temperatura al tiempo de tomar la muestra. Se registraron temperaturas altas para los sitios de confinamiento de 10 años, los cuales son: del sitio 3 en el estrato 2 (42.5°C) y estrato 3 (41.8°C) y del sitio 4 en el estrato 2 (40.1°C) y estrato 3 (41.9°C). En los sitios donde se encontró menor temperatura son de 5 años (cuadro 1) de confinamiento fueron: del sitio

2 en el estrato 1 (22.3°C), estrato 2 (23.5°C) y estrato 3 (24.4°C); y del sitio 3 en el estrato 1 (24.3°C).

Los resultados del pH, mostraron un comportamiento, predominantemente básico en los sitios de muestreo (cuadros 1 y 2). El análisis mostró que en los sitios de confinamiento de 10 años es donde se registraban las muestras más básicas y son: del sitio 3 en el estrato 2 (8.7), estrato 2 (8.7) y del estrato 3 del mismo sitio (8.7); del sitio 4 en el estrato 1 (8.9) y estrato 2 del mismo sitio (9.0); otro sitio que registro pH básico fue del sitio 4 en el estrato 3 (8.7) de 5 años de confinamiento. En los sitios donde se encontraron los valores menos básicos es el sitio 1 de 10 años de confinamiento en sus tres estratos (estrato 1: 7.4, estrato2: 5.9 y estrato 3: 7.8).

Los sitios que registraron mayor humedad (Cuadro 1) de los residuos sólidos son: con 5 años de confinamiento el estrato 1 del sitio 4 con 63.20% y el estrato 3 del sitio 1 con 42.13%; con 10 años de confinamiento el estrato 2 del sitio 1 con 41.65% y estrato 2 del sitio 4 con 38.14%. En los sitios donde se encontró menor humedad fueron: de 5 años de confinamiento, el estrato 1 del sitio 1 con 24.23%, estrato 2 del mismo sitio con 23.36% y el estrato 1 del sitio 3 con 17.19%; con 10 años de confinamiento (cuadro2) únicamente el estrato 1 del sitio 2 con 23.48%.

El análisis de cenizas (Cuadro 1) mostró que en los sitios de confinamiento de 5 años es donde se registraban las muestras con mayor porcentaje de cenizas y fueron: del sitio 1 en el estrato 2 (95.76%), del sitio 2 en el estrato 1 (96.21%) y del sitio 3 en el estrato 1 (97.02%); los sitios de 10 años de confinamiento (cuadro 2) que registraron mayor porcentaje de cenizas fueron: del sitio 1 en el estrato 1 (91.41%), del sitio 4 en sus tres estratos, estrato 1: 93.05%, estrato 2: 91.35%, estrato 3: 92.60%. En los sitios donde se registro el menor porcentaje de cenizas con 5 años de confinamiento fueron: del sitio 1 en el estrato 3 (90.95%), del sitio 3 en el estrato 3 (27.29%), del sitio 4 en el estrato 1 y 2, 90.73% y 90.37%, respectivamente. Para los sitios de 10 años de confinamiento que registraron menor porcentaje de cenizas fueron: del sitio 1 en el estrato 3 (82.61%), del sitio 3 en el estrato 1 y 3 con 80.67% y 39.39%, respectivamente.

Los análisis de Sólidos Volátiles (SV) referidos en los cuadros anteriores, con 5 años de confinamiento el estrato 1 del sitio 1 con 75.8%, el estrato 2 del sitio 1 con 76.5% y el estrato 1 del sitio 3 con 82.8%; con 10 años de confinamiento el estrato 1 del sitio 2 con 76.52%, estrato 1 del sitio 3 con 72.29%, el estrato 2 y 3 del sitio 2 con 72.11% y 72.98%, respectivamente. En los sitios donde se encontró menor porcentaje de SV son: de 5 años de confinamiento, el estrato 3 del sitio 1 con 57.9%, estrato 2 del sitio 2 con 62.3% y el estrato 1 del sitio 4 con 46.80%; con 10 años de confinamiento, el estrato 2 del sitio 1 con 58.35% y el estrato 2 del sitio 4 con 61.86%.

Los sitios que registraron mayor porcentaje de Sólidos Volátiles Totales (SVT) con 5 años de confinamiento el estrato 2 del sitio 1 con 84.29%, el estrato 1 del sitio 2 con 88.71%, el estrato 1 del sitio 3 con 87.98%; con 10 años de confinamiento el estrato 2



del sitio 3 con 72.07%, el estrato 1 del sitio 4 con 74.95%, el estrato 3 del sitio 2 con 79.82%. En los sitios donde se encontró menor porcentaje de SVT son: de 5 años de confinamiento, el estrato 3 del sitio 2 con 58.54%, el estrato 1 del sitio 4 con 28.99% y el estrato 2 del sitio 4 con 65.67%; con 10 años de confinamiento, el estrato 2 del sitio 1 con 32.99%, el estrato 3 del sitio 2 con 32.17% y el estrato 1 del sitio 3 con 24.77%. El análisis de generación arrojó una composición de los residuos predominantemente orgánica, en la mayor parte de los sitios (cuadros 1 y 2); El análisis mostró que en los

sitios de confinamiento de 5 años es donde se registraban las muestras con mayor cantidad de materia orgánica fueron: del sitio 1 en el estrato 1 (4651 grs.) y estrato 3 (5422 grs.) y del sitio 4 en el estrato 3 (4583 grs.); los sitios de 10 años de confinamiento que registraron mayor cantidad de materia orgánica fueron: el sitio 2 en el estrato 2 (1231 grs.), del sitio 3 en el estrato 2 (2894 grs.) y del sitio 4 en el estrato 3 (1033 grs.). En los sitios donde se registro menor cantidad de materia orgánica fueron: para los sitios con 5 años de confinamiento, del sitio 3 en el estrato 2 (574 grs.) y estrato 3 (863 grs.). Para los sitios de 10 años de confinamiento que registraron menor cantidad de materia orgánica fueron: del sitio 1 en el estrato 2 (531 grs.), del sitio 2 en el estrato 1 (529 grs.) y del sitio 3 en el estrato 3 (497 grs.).

Literatura Citada

- Israde, I.; Buenrostro, O; Carrillo, A. (2005) Geological Characterization and Environmental Implications of the Placement of the Morelia Dump, Michoacan, Central Mexico. Waste Management and Research. Volumen 55.
- NMX-AA-016-1984. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Determinación de Humedad. México.
- NMX-AA-18-1984. SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Determinación de Cenizas. México.
- NMX-AA-022-1985. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Residuos Sólidos Municipales. Selección y Cuantificación de Subproductos. México.
- NMX-AA-25-1984. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1984. Residuos Sólidos. Determinación del pH. Método Potenciométrico. México.
- NMX-AA-052-1985. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985 Residuos Sólidos Municipales preparación de muestras en el laboratorio para su análisis. México.
- Henriques, A. Sopeña, L. Propiedades Físicas De Los Residuos Sólidos Urbanos Del Vertedero De Valdemingómez. XXVII Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária e Ambiental. <http://www.acepesa.org/docu/Encuentro>

METODOLOGÍA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS

D. S. Rodríguez-Sordía¹, M. A. Amezcua-Allieri¹ y R. Zepahua¹

¹ **Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco.
Instituto Politécnico Nacional**

Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Col. Zacatenco, México, D.F. C.P. 07738
doraida2@yahoo.com.mx, myriamamezcua@hotmail.com, rzepahua48@hotmail.com
(55) 5.72.96.00 ext 53059

RESUMEN

Se presenta una metodología para el manejo de los residuos sólidos hospitalarios (RSH), ya que éstos aportan riesgos y dificultades especiales, debido fundamentalmente al carácter potencialmente infeccioso de algunas de sus fracciones componentes, a la heterogeneidad de su composición, a la presencia frecuente de objetos punzocortantes y fármacos desechables, y a la existencia eventual de cantidades menores de sustancias tóxicas, inflamables y radiactivas de baja intensidad. La metodología establece los requisitos para la clasificación, separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos infecciosos procedentes de hospitales, presentando una forma de manejo integral tanto en relación con los riesgos a la salud humana y el ambiente como con el abaratamiento de costos, aportando alternativas de separación en el origen, tratamiento in situ y disposición final. La utilización de la metodología propuesta en las diferentes etapas del manejo de los RSH en las unidades del sistema de salud, conjuntamente con la capacitación y entrenamiento del personal involucrado, y la utilización de los medios de protección adecuados, representan 3 factores de éxito relevantes que podrán repercutir en la disminución de las infecciones dentro y fuera de la unidad hospitalaria; así como en la preservación de la calidad ambiental.

Palabras clave: Clasificación; hospitales; residuos sólidos hospitalarios; salud.

INTRODUCCIÓN

Los riesgos que presentan los residuos hospitalarios, involucran en primer término, al personal que debe manejarlos, tanto dentro como fuera del establecimiento; personal que de no contar con suficiente capacitación y entrenamiento, o de carecer de facilidades e instalaciones adecuadas, de equipos y herramientas de trabajo, o de elementos de protección personal adecuados, puede verse expuesto al contacto directo con gérmenes patógenos, o a la acción de objetos cortopunzantes. Según Flores Serrano¹, el riesgo que representan los residuos biológico-infecciosos para la salud humana está condicionado por

cinco factores que tienen que estar presentes para que se produzca una infección, los cuales son: 1) que contengan microorganismos vivos, 2) que éstos sean virulentos, 3) que se encuentren en una dosis infectiva, 4) que encuentren una vía de ingreso al organismo, y 5) que los individuos expuestos sean susceptibles y carezcan de defensas. No se han encontrado estudios publicados que hayan tratado de correlacionar brotes de enfermedades infecciosas con estos residuos, a pesar de que frecuentemente éstos no son sometidos a ningún tipo de tratamiento y presentan inadecuada disposición final en lugares inapropiados. La experiencia acumulada por la Escuela de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo² apunta a que el principal riesgo de infección por residuos biopeligrosos (biológico-infecciosos según la Norma Oficial Mexicana³) se produce por la exposición o manipulación de residuos punzantes o cortantes contaminados, especialmente en el interior de los centros sanitarios.

A mediados de los 80's en Estados Unidos⁴ se realizaron los primeros esfuerzos por parte de las agencias gubernamentales para regular los residuos médicos. En México la influencia ejercida por Estados Unidos, llevó a las autoridades a adoptar una legislación y estructurar una norma a semejanza de la estadounidense, sin haberse realizado estudios científicos ni existir evidencias comprobadas sobre la peligrosidad por infectividad de los residuos tanto para la salud humana o animal como para el medio ambiente. Este fue el origen de la norma oficial mexicana NOM-087-ECOL-1995⁵, que fue abrogada en 2003 y sustituida por la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002³, que tanto dinero ha costado a los centros de salud que la incorporaron a su manejo de residuos. No se consideró como plantea Yepes⁶, que residuo infeccioso es sólo aquel que es capaz de producir una enfermedad infecciosa, y que no existe actualmente un test lo suficientemente confiable para evaluar la infectividad de los residuos, lo cual hace que esta definición tenga una gran subjetividad, y conduce a que los volúmenes de residuos infecciosos dentro de los residuos hospitalarios tengan una gran variabilidad.

La factibilidad técnica y económica de efectuar un adecuado manejo de estos residuos, está directamente relacionada con la posibilidad de implementar una efectiva separación en el origen de las distintas fracciones peligrosas. El mezclar los desechos infecciosos con el resto de los residuos, obliga a tratar el conjunto resultante con los mismos procedimientos y precauciones aplicables a las fracciones infecciosas, encareciendo y dificultando la operación del sistema. De la revisión bibliográfica que se realizó para este trabajo, así como de las entrevistas establecidas con funcionarios de la SEMARNAT y de la Secretaría de Salud se puede decir que en el país no se conoce que exista una Metodología para el

Manejo de los Residuos Sólidos Hospitalarios. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es analizar la generación y clasificación de los residuos de dos de los hospitales más importantes del sector salud y analizar la repercusión económica que se tendría al segregarlos de manera diferente.

METODOLOGÍA

Análisis de normatividad

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo del Marco Legal Mexicano en materia de Residuos Peligrosos (RP), el cual incluyó: la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, las Normas Oficiales Mexicanas, y los Ordenamientos de otras dependencias. Además se analizó el marco normativo internacional en la materia, en específico para la Región de las Américas, compilado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) radicado en Lima, Perú, que depende de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), donde se localizan variados y diferentes estudios durante los años 1990-1999 en distintos países de la región^{7,8}.

Entrevistas (cuestionarios) y encuestas

A través de cuestionarios se levantó la información de generación de dos de los hospitales más importantes de la Secretaría de Salud en el Distrito Federal, así como del manejo técnico operativo de los residuos sólidos.

La información general del hospital está referida al aspecto administrativo, médico asistencial y epidemiológico, con la finalidad de obtener datos que permitan establecer correlaciones con los resultados de la caracterización física y determinar de esta manera valores unitarios de generación y otros indicadores; así como caracterizar la complejidad del establecimiento. La información del Centro Hospitalario se levanta a través de una entrevista directa con un cuestionario dirigido al Director del Hospital o al funcionario designado por el mismo.

Las encuestas serán dirigidas a los pacientes o personal acompañante con el fin de conocer su apreciación en el manejo de los residuos sólidos dentro del hospital, y comparar criterios con los vertidos por el personal responsabilizado con esta tarea.

Los resultados de las entrevistas y encuestas aportarán datos valiosos para evaluar el sistema desde la generación, embalaje, acondicionamiento, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final, hasta el aspecto administrativo, recursos humanos y normas técnicas aplicadas.

Inspección Sanitaria

La inspección se basa en el levantamiento de información y observación de los siguientes factores: limpieza de la sala y/o área de trabajo, acondicionamiento de los residuos, estado sanitario del punto de almacenamiento, tipos de residuos que se generan y características funcionales del servicio evaluado. Además cada uno de estos factores está en función de una serie de variables, que son pautas para realizar la evaluación de cada uno de los factores y de esta manera, minimizar la subjetividad del personal que está evaluando.

La información se levanta con base en una ficha de inspección sanitaria, donde se detallan cada uno de los factores, para luego realizar el procesamiento y análisis de la información.

Caracterización de los Residuos Sólidos

Se determinó la generación de residuos: total, por servicio (fuente de generación) y categoría o tipo de residuos (grupo 1: biológico-infecciosos, 2: químicos o físicos ó 3: urbanos), peso volumétrico y composición física. Las pruebas se realizarán durante ocho días, de los que se tomarán los resultados de siete. Los valores obtenidos el primer día posteriormente se desecharán para asegurar que los siete días restantes muestreados correspondan a un período de generación de 24 horas.

Trabajo de gabinete

Esta etapa consistió en el procesamiento y análisis de los resultados del estudio de campo, información cuantitativa y cualitativa que permitió determinar parámetros para diseñar o rediseñar el sistema de manejo de los residuos, así como indicadores para determinar el estado sanitario del hospital por el sistema implementado. Los parámetros de diseño se obtuvieron como resultado de correlacionar los datos de la caracterización con indicadores de las características funcionales y operativas del hospital, así se tuvieron: a) valores unitarios de generación de residuos expresados en peso y volumen y b) densidad de los residuos considerando la clasificación y generación diaria de éstos.

El estado sanitario se determinó a través de análisis cualitativos y cuantitativos de la posibilidad de contaminación de los ambientes del hospital por el manejo de los residuos sólidos, esto significa determinar el riesgo sanitario que se presenta en el hospital por esta actividad. Los insumos para desarrollar este análisis se basaron en la información levantada en la inspección sanitaria que se realiza en los servicios y unidades del establecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se expondrán los datos de generación de los hospitales seleccionados, que son el “Hospital General de México” (Tabla 1) y el Hospital General “Dr. Manuel Gea González”. En la tabla 1 destaca de forma significativa la gran generación de residuos clasificados como no anatómicos con relación al total de residuos generados, lo cual hace que éste sea el tipo de residuo biocontaminado sobre el cual hay que priorizar la minimización del volumen de generación.

Tabla 1. Generación por tipo de residuos “Hospital General de México”

Tipo de residuo	RPBI (kg/día)	Porcentaje
Sangre	16.6	0.93
Cepas y cultivos	15.1	0.85
No anatómicos	1, 626.0	91.42
Punzocortantes	46.3	2.60
Patológicos	74.5	4.20
Total	1, 750	100.00

Debido a que los residuos que generan mayor riesgo son los punzocortantes (2.60%) y las cepas y cultivos (0.85%), los pequeños valores obtenidos (3.45%) deben dar una alerta sobre la posibilidad de lograr con una correcta separación en el origen y un programa de minimización de residuos hospitalarios un manejo sustentable de estos residuos sólidos que contemple los aspectos económicos, de salud y ambientales.

Los residuos no anatómicos son los que podrían brindar mayores áreas de oportunidad para estudios de reuso y reciclaje dentro de los centros hospitalarios. En este aspecto se destacan algunos hospitales como el Instituto de Cancerología que ha trabajado con muy buenos resultados en la sustitución de materiales desechables por materiales reutilizables, como es el caso de la introducción del uso de las jeringas de vidrio sustituyendo las plásticas, que se utilizan solamente para diluir medicamentos y posteriormente aplicarlos

en las líneas plásticas de terapia intravenosa. En una encuesta llevada a cabo en este hospital se encontró que las tres cuartas partes (75%) de las jeringas utilizadas nunca tocaban ni sangre ni tejidos de los enfermos y sin embargo todas eran desechadas como residuos peligrosos biológico-infecciosos. Las agujas que no estén en contacto con pacientes también podrían ser reutilizadas, previa esterilización. También sustancias como el formol se desechan al drenaje una vez utilizadas, pudiendo recuperarse hasta un 80% del volumen de estos residuos dentro del mismo hospital mediante un procedimiento de filtrado⁹.

Del análisis de la tabla 2 se puede observar que dentro de los residuos biocontaminados el porcentaje mayor y con gran diferencia de los otros tipos de residuos lo ocupan los no anatómicos, al igual que en el anterior hospital analizado; coincidiendo en ambos hospitales como residuo con porcentaje menor del 1% la sangre. Resalta la atención el que las cepas y cultivos ocupen un 0.85% en el “Hospital General de México” mientras resultaron ser el 2.6% en el Hospital General “Dr. Manuel Gea González”, o sea la proporción que se establece es de 1:2.7. También en el caso de los punzocortantes la proporción entre los porcentajes es de 1:3 del primer hospital con el segundo.

Los residuos patológicos establecieron una proporción de 1.76:1. Las fracciones con más riesgos que son las correspondientes a cepas y cultivos y punzocortantes en este segundo hospital ascendieron a 10.18% del total de los residuos biocontaminados.

Tabla 2. Generación por tipo de residuos Hospital General “Dr. Manuel Gea González”.

Tipo de residuo	RPBI (kg/día)	Porcentaje
Sangre	7.0	0.79
Cepas y cultivos	20.0	2.26
No anatómicos	765.0	86.64
Punzocortantes	70.0	7.92
Patológicos	21.0	2.39
Total	883.0	100.00

Según la Norma Oficial³ la caracterización de las condiciones de riesgo o peligrosidad de estos residuos queda a criterio del personal del hospital (centro generador), pues todo residuo impregnado con sangre u otro fluido corporal inicialmente estará húmedo por lo que será considerado biológico-infeccioso, por lo que deberá envasarse como tal, no obstante si conoce que la sangre o el fluido estará seco en el momento de la recolección, podrá re-ensavarlo como basura común y así disminuir sensiblemente el costo del manejo.

El grado de desconocimiento sobre los verdaderos riesgos de algunas fracciones componentes de los RPBI por las autoridades de la SEMARNAT, lleva a aprobar definiciones como las anteriormente expuestas, que ocasionarán un gran descontrol en el manejo de los residuos y aumentarán sensiblemente los riesgos al personal que los manipula.

Podemos añadir que existen algunas clínicas de consulta externa donde no se generan sangre o fluidos que empapen el material desechable, por lo que no generarán este tipo de RPBI, el cual será en casos como éstos de 0%.

Entonces, según los criterios de los generadores, este tipo de residuo biológico-infeccioso podrá oscilar entre el 0 y el 100% de la generación total de residuos en el momento del envasado.

De acuerdo a la Norma Oficial estarían muy afectadas por el volumen de residuos no anatómicos las instituciones que traten enfermedades respiratorias, básicamente tuberculosis, estando eximidas las demás instituciones que no presentan esta patología. Por otra parte en México no se tienen registrados casos de pacientes infectados por los virus Ébola o Marburgo, por lo cual no habrá generación de estos residuos no anatómicos.

Lo anteriormente expuesto sobre las ambigüedades de la Norma Oficial modificada y aprobada, traerá las siguientes consecuencias a corto plazo:

- Prácticamente quedaría a criterio del personal médico la decisión de considerar residuo biológico-infeccioso o no a los residuos generados.
- Tendrán que implementarse nuevos programas de capacitación para el personal desde intendencia hasta médicos, con el fin de realizar una adecuada separación, enfatizando en que lo que se decía que era infeccioso ya no lo es, debido a que los conceptos normativos manejados eran incorrectos.
- En la medida en que se reduzcan los volúmenes de generación de residuos biológico-infecciosos, los precios de los prestadores de servicios por peso de residuos se incrementarían en recolección, transporte y tratamiento, debido a la subutilización de la infraestructura existente.
- No existe definición precisa en la normatividad existente sobre cómo será la recolección y el tratamiento o disposición final de los residuos considerados como residuos sólidos urbanos generados en establecimientos de salud, por lo que cada generador hará lo que estime conveniente con los mismos.

- Las unidades médicas deberán replantearse todo el esquema de manejo de sus residuos, así como modificar los temarios y el contenido de los cursos de capacitación, rediseñando los materiales didácticos.
- Muchos generadores perderán credibilidad en las autoridades ambientales.
- Gran desconcierto en el personal que opera en los sitios de disposición final, pues tendría que manejar residuos que antes le decían que eran infecciosos, como domiciliarios, y no podrían dilucidar claramente donde está la verdad.
- La inmadurez de las autoridades ambientales de México en este tema sería puesta en evidencia ante las empresas consultoras, las instituciones de educación y la sociedad en general.
- Puede aprovecharse por los partidos políticos el temor que experimentará la población al encontrarse con residuos hospitalarios en sitios al aire libre o mezclados con residuos municipales.

En la figura 1 se presentan de forma gráfica los costos promedio del manejo de los RPBI obtenidos de: I) Programa de Manejo de Residuos Hospitalarios de la Secretaría de Salud en el Distrito Federal en el año 1999¹⁰, II) 18 hospitales y una clínica de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) de México en el año 2003¹¹, III) IMSS año 2004¹² IV) IMSS año 2005¹³ y V) los costos promedios para la recolección de los residuos sólidos urbanos en hospitales en el período 1999-2005.

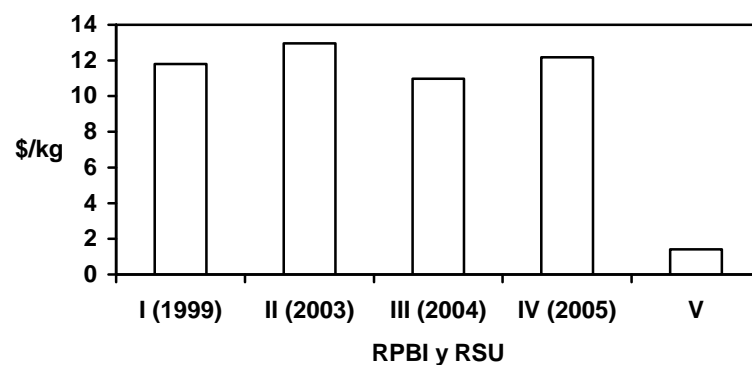


Figura 1. Costo promedio por kg de manejo de los RPBI (Años 1999, 2003, 2004 y 2005) y de los RSU (1999-2005) en Hospitales

En la figura 1 se observa que los hospitales y la clínica de la Secretaría de la Defensa Nacional son las que están pagando mayor precio en promedio por kilogramo de RPBI

(\$12.96), aunque similares a los del IMSS en 2005 (\$12.18). En relación al precio que se paga por kilogramo de los residuos sólidos urbanos generados en los hospitales las diferencias son altamente significativas, encontrándose pagos por los RPBI superiores a los RSU desde el 778% (IMSS, 2004) hasta el 936% ¹¹.

En la distribución de costos totales del manejo, el rubro más costoso es el de insumos (\$5.38/kg) que representa el 45% del total, en la Secretaría de Salud en el Distrito Federal, siendo la recolección la etapa del proceso que ocasiona menores gastos a las instituciones de salud. (\$2.22/kg) y la cual representa el 19% del costo total de \$11.80/kg. Por otra parte los costos de tratamiento que representan el 36% de los costos totales se encuentran en el orden de \$4.20/kg.

El análisis de costos nos permite inferir la necesidad de separar desde el origen, recuperar, reusar o reciclar lo que sea posible dentro del hospital para minimizar las pérdidas económicas asociadas al inadecuado manejo de los residuos sólidos hospitalarios.

De las cifras aportadas por Benitez Gil¹⁴ podemos observar que en el año 2000 la generación de RPBI solamente del sector salud en el D.F. era de 26,000 toneladas, lo cual representa un 45.6% de la generación de residuos sólidos totales, porcentaje muy semejante al obtenido desde el año de 1997 que era del 45%¹⁰. La tendencia observada en estos porcentajes se mantiene estacionaria durante los últimos años pero en valores muy altos, lo que pone de manifiesto el inadecuado control existente sobre la minimización de residuos dentro de los hospitales. En la tabla 3 se plasma el ahorro potencial que hipotéticamente pudo tener el sector salud en el año 2000 en el D.F.

Tabla 3. Ahorro que se hubiera podido obtener previa adecuada segregación en el origen de los RPBI del sector salud en el D.F.

Gen. de Residuos Sólidos Totales (Ton)	Gen. de RPBI (Ton) (asumiendo 10% RST)	Costo estimado (\$11.80/kg)	Otros Residuos Sólidos (Ton)	Costo (\$0.50/kg)	Costo estimado total	Ahorro
57,000	5,700	\$67'260,000	51,300	\$25'650,000	\$92'910,000	\$229'390,000

Como se puede notar, este ahorro (\$229'390,000) se hubiera presentado en caso de existir una correcta separación en el origen de sus RPBI, los cuales deben encontrarse en valores

de alrededor del 10% del total de residuos sólidos generados en instalaciones hospitalarias según la Organización Panamericana de la Salud.

CONCLUSIONES

La actual Legislación Mexicana sobre Materiales y Residuos Peligrosos presenta vacíos significativos. Las normas emitidas ordenan hacer irreconocibles los residuos biológico-infecciosos, lo cual no se sustenta en disminuir los riesgos de transmisión, sino solamente en imagen pública. Este planteamiento aumentaría los costos de los hospitales al tener que instalar equipos para triturar los mismos en caso de no utilizarse como tratamiento la incineración, además de exponer al personal que tenga que realizar esta actividad; todo con el único sentido de seguir manteniendo criterios establecidos copiando otras legislaciones o para no afectar intereses creados con los propietarios de los incineradores. Una mejor segregación en los centros hospitalarios, repercutiría en un ahorro significativo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de las personas entrevistadas del sector salud. Asimismo, se reconoce la generosa contribución de CONACyT para miembros del SNI.

REFERENCIAS

1. Flores Serrano, R. M. (2001). Diplomado en Sistemas de Manejo de Residuos Sólidos. Módulo IV: Residuos Sólidos Industriales y Peligrosos. Palacio de Minería. México D.F.
2. Escuela de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. (2001). Proyecto: Tratamiento de Residuos Hospitalarios.
3. DOF (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección ambiental –Salud ambiental – Residuos peligrosos biológico-infecciosos – Clasificación y especificaciones de manejo. Publicada el 17 de febrero de 2003.
4. Benitez Rivera, J. L. (2001). Manejo de Residuos Peligrosos Biológico-infecciosos. Servicios de Tecnología Ambiental S. A. de C. V. Congreso y Expo AMCRESPAC 2001. Querétaro, México.
5. DOF (1995). Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-1995. Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que prestan atención médica. Publicada el 7 de noviembre de 1995. Derogada 17 de abril de 2003.
6. Yepes, C. (2003). Hospital de San Ignacio, Bogotá, Colombia. Disponible en: www.abcmedicus.com/articulo/pacientes/id/47pagina/1/residuos_hospitalarios.html. Consulta: Enero 2007.
7. Monreal, J. (1992). Consideraciones sobre el manejo de residuos de hospitales en América Latina. Programa de Salud Ambiental. Washington DC. OPS/OMS.
8. CEPIS/OPS/OMS (1998). Guía para el manejo interno de residuos sólidos en centros de atención de salud. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/cswww/fulltext/repiud62/guiamane/guiamane.html>. Consulta: Julio 2006.
9. Volkow, P. (2001). Programa para aprovechamiento y reducción de la basura y desechos hospitalarios. Departamento de Infectología. Comité de Control de Infecciones. INCAN. México.

10. Rojas Rivera, F. (2000). Implicaciones socioeconómicas del Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-1995 para el manejo de residuos peligrosos biológico-infecciosos. DIPREC S. A.
11. Secretaría de la Defensa Nacional (2003). México. Disponible en: <http://www.sedena.gob.mx/leytrans/petic/2003>. Consulta: Marzo 2006.
12. IMSS (2005). Datos aportados por la Dirección de Administración de Calidad.
13. IMSS (2006). Dirección Administración y Calidad/Coordinación de Conservación y Servicios Generales/División de Servicios Complementarios. Manejo Integral de "Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos (R.P.B.I.)" -P.P.2410-. Disponible en: <http://www.imss.gob.mx/obligaciones/pdfs/RPBI-04-05.pdf>. Consulta: Abril 2006.
14. Benitez Gil, J. L. (2000). El Universal, Ciudad. Generan Clínicas 57 mil toneladas de desechos. México D.F.

NOTACION

CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria
DOF	Diario Oficial de la Federación
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
NOM	Norma Oficial Mexicana
OPS	Organización Panamericana de la Salud
RP	Residuo Peligroso
RPBI	Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos
RSH	Residuos Sólidos Hospitalarios
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

RESIDUOS PELIGROSOS Y COMUNICACIÓN DE RIESGOS. EL CASO GUADALCAZAR

Francisco Javier Rangel Martínez

“Programa Agua y Sociedad”

El Colegio de San Luis, A. C.

Parque de Macul #155 Colinas del Parque C. P. 78299 frangel@colsan.edu.mx Tel. y fax (444) 811-0101 San Luis Potosí, S. L. P. México

RESUMEN

El papel que el receptor juega, tanto en el análisis como en la práctica de la comunicación de riesgos, ha sido descuidado. Este reporte se consagra a resumir lo que un estudio de percepción de riesgo ha revelado sobre la parte activa que estos actores desempeñan. Se describen los factores que limitaron y/o facilitaron la información de riesgo que se proporcionó a los vecinos de un tiradero de residuos peligrosos en Guadalcazar, San Luis Potosí, y se concluye que la información de las amenazas en torno al tiradero fue tan diversa, que generó en los lugareños percepciones diferenciadas de riesgo, debido a la variedad de mensajeros, oficiales y extraoficiales, que proporcionan dicha información. El estudio ha producido observaciones esencialmente exploratorias y cualitativas, pero los hallazgos aspiran a convertirse en hipótesis que puedan probarse de manera cuantitativa en esfuerzos de investigación futuros, que involucren muestras más grandes.

Palabras clave: Comunicación; Guadalcazar; Percepción; Residuos peligrosos; Riesgo

INTRODUCCIÓN

Entre mayo de 2007 y mayo de 2008, mientras realizaba un estudio de percepción de riesgo en El Huizache, una comunidad rural del altiplano potosino, cercana a un tiradero de residuos peligrosos, noté, a diferencia de lo que sugerían algunos reportes de investigación en la materia (Edelstein, 2004; Brown y Mikkelsen, 1997; Erikson, 1994; Setterberg y Shavelson, 1993), que los lugareños no compartían preocupaciones comunes que contribuyeran a la cohesión interior ni a la formación de organizaciones comunitarias emergentes que se opusieran al tiradero o demandaran ayuda, reubicación o compensación por algún daño a su salud o su entorno natural.

Por lo contrario, mis observaciones revelaban que los habitantes de El Huizache diferían significativamente en sus percepciones de riesgo asociadas al tiradero, lo que parecía impedirles la coherencia interna necesaria para la acción comunitaria, a pesar de ser un grupo social y culturalmente similar. Los esfuerzos por explicar estas diferencias de percepción me llevaron a probar varias líneas teóricas de entre las cuales decidí probar una construcción hipotética relacionada con un área novedosa de la investigación sobre residuos peligrosos: la comunicación de riesgos.

Desde la perspectiva de comunicación de riesgos, los individuos forman sus percepciones de riesgo a partir de la información que reciben, por lo que para entender dichas percepciones simplemente “hay que observar la manera en que los individuos adquieren y usan la información que reciben sobre un riesgo” (Smith y Johnson, 1988:1). Sin embargo, el asunto no es tan elemental. El término comunicación de riesgos puede abordarse de una manera estrecha o en un sentido más amplio.

“En una manera estrecha, la comunicación de riesgos se materializa en expertos que brindan información –en ocasiones obtenida por otros expertos-, de manera intencional, sobre los riesgos a la salud o al medio ambiente, a públicos no expertos, a través de canales preestablecidos. En un sentido amplio, la comunicación de riesgos equivale a cualquier información de riesgos a la salud o al medio ambiente, pública o privada, individual o social, ofrecida con o sin intención, desde cualquier fuente a cualquier destinatario, a través de cualquier canal” (Plough y Krimsky, 1987:5). Sobre este sentido amplio de la comunicación de riesgos versa el siguiente reporte de investigación

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En sus fases de propagación del desastre tóxico, Michael Edelstein atiende el asunto de la comunicación de riesgos al señalar que “durante la etapa de descubrimiento de un tiradero de residuos peligrosos, una serie de expertos, especialmente entrenados para medir y detectar sustancias tóxicas, se ven normalmente envueltos en el proceso de descubrimiento y anuncio de la contaminación. En este proceso, las víctimas rápidamente se vuelven dependientes de tales expertos, quienes definen la situación y forjan las soluciones” (Edelstein, 2004:19).

No obstante, otros estudiosos del problema han enfatizado que el proceso de comunicación de riesgos es tan complejo que “resulta común que en un solo escenario de

contaminación la información de riesgos sea proporcionada por mensajeros múltiples, un hecho que no se ha reconocido lo suficiente en la discusión analítica de comunicación de riesgos o en situaciones reales. Como recurso para el análisis, los varios mensajeros involucrados en la comunicación de riesgos pueden agruparse en dos tipos: oficiales y extraoficiales” (Fessenden, Fitchen y Heath, 1987:98).

En este argumento, los mensajeros oficiales pueden venir de una variedad de agencias gubernamentales y de oficinas regionales diferentes, y de niveles, ramas, y divisiones distintos dentro de cada agencia. Cuando una comunidad recibe información de riesgo de distintos mensajeros oficiales, pueden surgir problemas de confusión y duda: El receptor queda preguntándose a cuál de ellos escuchar.

Por su parte, los mensajeros extraoficiales juegan también un papel importante al diseminar información de riesgo en la comunidad, aunque su papel raramente se reconoce explícitamente. Entre los mensajeros extraoficiales se incluirían individuos y grupos tan diversos como el lector del medidor del agua, el vendedor de agua purificada, los ingenieros externos traídos para dirigir los estudios técnicos, los líderes de opinión locales, los medios de comunicación (local y nacional) y las redes de parientes y vecinos.

Este tipo de mensajeros pueden proporcionar información que es similar o bastante diferente de la información proporcionada por los mensajeros oficiales; pueden comunicar "hechos" esencialmente exactos o bastante inexactos; pueden transmitir fielmente la información proporcionada por fuentes oficiales, o pueden inconscientemente o intencionalmente torcer dicha información. Pero sin tener en cuenta la exactitud de su información, estos mensajeros extraoficiales pueden tener tanta credibilidad con el público como los mensajeros oficiales. De hecho, a menudo ellos disfrutan de una credibilidad mucho mayor.

Estos elementos de información suman otro factor a uno de los hallazgos más comunes en materia de exposición comunitaria a residuos peligrosos: el largo conflicto en que resultan involucradas las comunidades afectadas –conflicto que va desde la identificación del sitio hasta la valoración, estudio, opción de remedio, plan de remediación y clausura- y en el cual se genera un debate en el que expertos, técnicos y abogados, entre otros especialistas de la industria y el gobierno definen problemas centrales como la seguridad y el riesgo que corren las poblaciones aledañas a estos sitios (Edelstein, 2004;

Brown y Mikkelsen, 1997; Erikson, 1994). En este contexto, el caso del tiradero de residuos peligrosos en Guadalcázar, San Luis Potosí, no ha resultado una excepción.

ESTUDIO DE CASO

El caso de Guadalcázar es el de un par de empresarios potosinos, los hermanos Guillermo y Salvador Aldrett, que en 1990 construyeron de manera, por decir lo menos, engañosa e inapropiada un tiradero de desechos industriales, en un predio llamado La Pedrera, a un kilómetro y medio de El Huizache, una población rural de ese municipio. Con la versión de que utilizarían el sitio para sembrar tomates, los Aldrett compraron un predio de aproximadamente 800 hectáreas de superficie, e iniciaron la excavación de fosas en las que depositaron “55 mil tambores y residuos a granel, aproximadamente 20 mil toneladas de desechos en total, generados por industrias metal-mecánica, química, farmacéutica, agroquímica y automotriz” (Torres, 1997:6).

Al año siguiente, los aguaceros de mayo de 1991 acarrearón desde los contaminados suelos de La Pedrera hasta el estanque de El Huizache, el principal depósito de agua superficial aprovechable de la localidad, oleadas de tambores de 200 litros y bolsas de plástico cargadas de residuos peligrosos. Al notar aquella basura tóxica que había llegado a su pequeña represa local, algunos habitantes de El Huizache, temerosos y molestos por las posibles consecuencias de lo ocurrido, denunciaron el hecho a sus representantes locales, quienes notificaron del acarreo de residuos a la agencia federal encargada de tratar el asunto, la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (Sedue).

A partir de entonces, la búsqueda de una solución derivó en un prolongado conflicto en el que “además de la Sedue, se movilizaron varias instituciones, en particular las de la ciencia y el derecho” (Azuela, 2004:4), y al que se incorporó, en 1993, la Metalclad Corporation, empresa estadounidense que tenía la intención de remediar el tiradero de La Pedrera y convertirlo en un confinamiento controlado para la disposición final de residuos peligrosos.

A pesar del entusiasmo del gobierno federal por la entrada de Metalclad al conflicto, debido a que “este nuevo inversionista no sólo se haría cargo de la restauración del sitio, sino que además ofrecería, a través del nuevo confinamiento, un servicio que ayudaría a reducir la inadecuada disposición de residuos peligrosos en México” (Azuela, 2004:5), en 1993, el ayuntamiento de Guadalcázar negó a Metalclad la licencia municipal de

construcción, argumentando preocupaciones locales por el riesgo y algunos aspectos técnicos del proyecto. En respuesta, en 1997 Metlaclad interpuso una demanda internacional contra México en el marco del capítulo 11, en materia de inversión extranjera, del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC).

Desde entonces, una vez convertido en un conflicto internacionalmente proclamado y en un símbolo de la limitada capacidad del gobierno federal para gestionar el manejo y la disposición final de los residuos peligrosos, el caso Guadalcazar estimuló el interés de especialistas de las ramas del derecho, las relaciones internacionales, la gestión pública y las relaciones intergubernamentales, entre otros.

REVISIÓN DE LITERATURA LOCAL

Desde la perspectiva del derecho, la oposición local en Guadalcazar ha evidenciado, entre otras cosas, “la carencia de leyes que reglamenten el ordenamiento ecológico en manos de los ayuntamientos; la falta de equipos locales de planeación que desplieguen una visión del territorio lo suficientemente clara como para indicar restricciones para instalaciones como los confinamientos, y la ausencia de procedimientos de consulta pública en los que la voluntad popular pueda asumir una forma jurídica” (Azuela, 2004: 19).

En el campo de las relaciones internacionales, el caso Guadalcazar ha reflejado que “las instituciones del libro comercio, en particular las del TLC, terminarán pasando por encima de la protección ambiental” (Costero, 2002: 24), pues una vez que la empresa estadounidense Metalclad encausó y ganó el litigio internacional contra México, la importancia comercial pareció ser el único capital a proteger, y ha expuesto, además, “la supremacía de los Estados fuertes sobre los Estados débiles en la conformación privada, cerrada y confidencial de paneles arbitrales para la resolución de controversias internacionales” (Torres, 1997: 12)

Para el análisis de la gestión pública, el caso de Guadalcazar ha resultado “una razón empírica para la reforma política de las relaciones federación, estado y municipio, a través de un examen de lo que ha demostrado ser una área de la política pública particularmente contenciosa: el manejo y la disposición de residuos peligrosos” (López, 1999: 340).

Y desde el enfoque de las relaciones intergubernamentales, el brusco desenlace del caso Guadalcazar obedeció a que “la legislación vigente [en materia de residuos peligrosos]

suponía acciones coordinadas entre las unidades gubernamentales, sin prever soluciones para aquellas ocasiones en que se presentaran actitudes no cooperativas” (Ugalde, 2002: 78).

Todos estos estudios han aportado exhaustivos y puntuales recuentos de los acontecimientos centrales del caso, además de destacables análisis de los marcos normativos, políticos e institucionales, y de las categorías sociológicas que ilustran la lógica del conflicto. No obstante, en ninguno de esos análisis se ha profundizado en el hecho de que durante el conflicto del tiradero los habitantes de El Huizache quedaron envueltos en un contexto de desinformación que les obligaba a depender de otros para entender lo que le había ocurrido a su reserva de agua.

EL DESCUIDADO ROL DEL RECEPTOR: LA CUESTIÓN POR ATENDER

Esta investigación enfatiza el proceso de comunicación de riesgos como complejo e interactivo, involucrando a mensajeros, mensajes y receptores. Dado que el estudio de caso permite reconocer que el papel del receptor ha sido descuidado, tanto en el análisis como en la práctica de la comunicación de riesgos, la parte principal de este reporte se consagra a resumir lo que el estudio revela sobre la parte activa que los receptores juegan. El objetivo es identificar los factores que influyen en la aceptación de los receptores de la información que se les proporciona sobre el riesgo a la salud propuesto por la contaminación de su principal suministro de agua.

DESARROLLO DE LA COMUNICACIÓN DE RIESGOS. MARCO CONCEPTUAL

Varios factores han influido en el desarrollo de la comunicación de riesgos. “Históricamente, los riesgos asociados con tecnologías en vías de desarrollo fueron atendidos a través de regulaciones decididas por acuerdos directos y limitados entre el gobierno y los expertos de la industria” (Baker, 1990: 343). Cuando la oposición pública apareció y empezó a resultar un disgusto para este modelo de decisión de dos partes, hace casi tres décadas, surgió el análisis de riesgos, como un esfuerzo tecnocrático para proporcionar respuestas objetivas sobre los riesgos. "Riesgo aceptable" se volvió el término bajo el cual se realizaron varios estudios que intentaron definir un criterio cuantitativo que sirviera como base para juzgar “la aceptabilidad social del riesgo” (Douglas, 1996:44). Una

elaboración más extensa desarrolló el llamado "análisis del riesgo-beneficio" que agregó al análisis la cuantificación de los riesgos y los beneficios (Starr, 1969:1233).

El próximo desarrollo fue la percepción de riesgo que se interesaba en la manera que las personas realmente hacían sus juicios sobre los riesgos. Otway (1987:126) ha notado que "la investigación de percepción de riesgo se ha enfocado en el uso de encuestas para obtener información sobre los prejuicios de la gente tiene sobre un riesgo, con el fin de que los expertos tomen decisiones con base en los resultados de dichas encuestas". En este sentido, él caracteriza la comunicación de riesgo como un paso adelante para la inclusión de las personas en la toma de decisiones. No obstante, la mayoría de los reportes en este campo se enfoca en la dotación al público laico de información para convencerles de estar de acuerdo con los expertos.

METODOLOGÍA

Para el estudio de caso, se revisó la cronología de eventos que siguieron al descubrimiento de desechos tóxicos en el estanque de agua de El Huizache; las decisiones, acciones, y reacciones de las autoridades locales y de los residentes de la comunidad; y la participación institucional de las autoridades federales y estatales y de expertos técnicos especializados. Mientras algunos procesos sólo involucraron datos e investigación retrospectiva, la mayor parte del estudio consistió en visitas a la localidad, a menudo pasando en el lugar 75 días consecutivos.

Algunas entrevistas en profundidad con tomadores de decisiones locales, estatales y federales se complementaron con discusiones formales con residentes locales, con investigación de documentos públicos y recolección de información de fondo en la comunidad. Esta diversidad de fuentes de información, permitió una amplia perspectiva del sitio revisado. No obstante, el estudio de caso ha producido observaciones esencialmente exploratorias y cualitativas y los hallazgos realizados aspiran a volverse hipótesis para probarse de manera cuantitativa en esfuerzos de investigación futuros, que involucren muestras más grandes.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El Receptor

La recepción que obtienen las personas de la información de riesgo está configurada parcialmente por sus percepciones de las respuestas de las personas alrededor de ellos. Aunque finalmente los receptores de la información de riesgo son individuos, cada persona está incluida en un contexto social que rodea y da forma a su recepción individual de la información. El análisis de percepción de riesgo, por consiguiente, se enfoca en la comunidad de receptores de información de riesgo, y no en individuos como lo hacen muchos estudios de percepción de riesgo basados en aspectos psicológicos.

En general, el estudio de caso ha revelado que en El Huizache la recepción de información de riesgo en torno al tiradero ha variado dentro de la comunidad. Aun cuando los riesgos son similares y la información de riesgo es muy parecida, la información puede percibirse y puede ser aceptada de manera bastante diferente, por receptores diferentes y en momentos diferentes.

Recepción diferente por públicos diferentes en una comunidad

No se encontraron afiliaciones y antagonismos previos dentro de la comunidad que explicaran algunas de las diferencias por lo menos en la interpretación de las personas y su respuesta a la información sobre el riesgo a la salud o al entorno por la contaminación de agua del estanque.

La presencia desigual de problemas de salud indefinidos, inexplicables o poco familiares, tampoco resultó un factor para explicar la percepción diferenciada de riesgo. Cuando estos aparecen, las víctimas suelen ver esta nueva información de riesgo como la explicación largamente buscada de su enfermedad percibida; pueden torcer la información que reciben, sobrestimando el peligro de los contaminantes, mientras que para aquellos que no experimentan ningún problema de salud raro los mensajes de riesgo pueden considerarse demasiado cautos, generándose la percepción diferenciada de riesgo.

Las experiencias colectivas versus las individuales tampoco fueron un factor. A menudo, las interpretaciones colectivas de riesgo pueden derribar las experiencias individuales. Si muchas personas en la comunidad perciben que un problema de salud existe y que puede provenir de la contaminación por los residuos, esta interpretación de la realidad puede aceptarse a través de otros aun cuando ellos no hayan experimentado ningún

problema personalmente. Pero donde la interpretación dominante es que el riesgo no es serio, es probable que los pocos individuos que han experimentado realmente problemas de salud no expresen su ansiedad en público; si ellos expresan sus miedos públicamente, su ansiedad puede ser desestimada, incluso ridiculizada.

Lo que sí se encontró en el periodo de tiempo del estudio fue que las percepciones de riesgo de las personas eran afectadas por sus percepciones de la manera en la que el riesgo había sido manejado. Algunas personas pensaban que el problema se había manejado responsable y eficazmente, y su preocupación sobre la información de riesgo que habían recibido era pequeña, es decir, no buscaron más información, ni fueron a otras fuentes por confirmación o refutación. Pero las personas que sentían que las agencias involucradas no habían hecho lo necesario para proteger su salud y asegurar su protección futura adecuadamente, estaban convencidos de que no habían recibido la información adecuada sobre el riesgo. Este hallazgo fue el que motivó el interés en los mensajeros y mensajes de riesgo.

El Mensajero

Al pasar de los receptores a los proveedores de información de riesgo, es importante señalar que el estudio retuvo la perspectiva "del fondo hacia arriba". Se trataba de enfocar, simplemente las facetas del mensajero que afectan la recepción de la información de riesgo, con base en el argumento de mensajeros múltiples, oficiales y extraoficiales, que proporcionan información de riesgo.

Perspectivas diferentes de riesgo sostenidas por varios mensajeros

Aunque los proveedores de información de riesgo pueden presentar información verdadera, los hechos y la manera de presentarlos puede ser determinada por muchas influencias sutiles. Cada mensajero que opera en la comunidad es un individuo con sus propias actitudes personales y perspectivas institucionales sobre el riesgo y como tales ellos tienen supuestos y prejuicios internalizados, que caracterizan la empresa o agencia para las que trabajan. Por ejemplo, mientras que para los especialistas de ingeniería de la UNAM, las condiciones geohidrológicas del tiradero en La Pedrera hacían del sitio un lugar ideal para el almacenamiento de residuos, para Greenpeace el subsuelo del tiradero era un auténtico sumidero de agua.

Ambos, la influencia personal y la institucional, configuran perspectivas de riesgo que afectan la manera en que el proveedor de información percibe y habla sobre el riesgo particular. Así, varios proveedores de información podrían citar la misma valoración de riesgo, y sin embargo ofrecer impresiones bastante diferentes del riesgo. Estas influencias sutiles y poco examinadas en el mensajero pueden causar un hueco entre el proveedor y receptor, y entre el mensaje dado y el mensaje recibido.

Características de los mensajes oficiales de riesgo

Se encontró que ciertas características inherentes al mensaje oficial de riesgo pueden interferir con su recepción. La simplificación de la información técnica, sobre todo toxicológica, lleva a menudo a la concentración indebida en un solo efecto a la salud, presentando el riesgo en términos de sólo uno de los varios posibles efectos. Con frecuencia, el riesgo mencionado es cáncer, pero ocasionalmente es uno de los efectos de salud inmediatos más dramáticos. Debido que las personas habían sido principalmente informadas de un sólo efecto a la salud y dado que no había ocurrido todavía, ellos no hacían la conexión entre los nitratos y otros efectos que realmente podrían haber estado ocurriendo. El enfocar la información de riesgo en un efecto a la salud bastante raro, parecía llevar un mensaje imprevisto de que no había nada más de qué preocuparse.

La incertidumbre en la valoración de riesgos nubla los mensajes presentados al público. Una falta percibida de claridad en muchos mensajes de riesgo se debe en parte a la naturaleza inherente de la evaluación de riesgos y la toxicología, donde la extrapolación de los animales a los humanos, las grandes dosis y "los factores de seguridad" introduce un gran índice de incertidumbre. La incertidumbre es, por consiguiente, inevitable al informar al público. En este rubro, se encontró que en un afán de honestidad, a menudo las autoridades respondían al público con negativas tan francas como "nosotros no sabemos lo que este químico hace a los humanos". Esta admisión de incertidumbre era vista por los lugareños como una muestra de ignorancia, como una evasiva, o como un esfuerzo por esconder algo de ellos.

Una tercera característica inherente a los mensajes oficiales de riesgo es que la información, por necesidad, se presenta en términos agregados para una población "típica". Sin embargo, las observaciones de la comunidad mostraron que tal información puede ignorarse a menos que los individuos puedan relacionarla a su situación específica.

Invariablemente, las personas planteaban la pregunta "¿Qué significa esto para mí, para mi familia? En una sociedad dónde el individualismo es un rasgo cultural básico, dónde el individuo es responsable de su propio destino, el individuo quiere saber "¿cómo me afectará esto a mí?". La pregunta es una interrogante individualista; la persona está buscando una guía para la acción individual. Cuando se dan respuestas en términos de agregados hipotéticos, tales respuestas no resultan aceptables debido a que no corresponden a las expectativas y necesidades culturalmente generadas.

Mensajes de riesgo extraoficiales

Los mensajes de otras fuentes a menudo chocan con los mensajes de riesgo oficiales. Si un mensaje de riesgo oficial deja a las personas insatisfechas, éstas buscarán y prestarán atención a otros mensajes. A menudo estos otros mensajes vienen de fuentes no calificadas, tales como un medio de comunicación desinformado, el lector del medidor del agua, un vecino o un pariente. Estos mensajes extraoficiales, a pesar de su conocimiento cuestionable en toxicología y de su evidente choque con los mensajes oficiales, puede a veces encontrar gran aceptación debido a que ellos responden a las preguntas reales que las personas tienen, porque atienden sus preocupaciones más directamente, y también porque los mensajeros extraoficiales pueden resultar más confiables que los mensajeros oficiales.

Se verificó, por ejemplo, el mensaje de un vendedor de agua purificada. Él le dijo a los residente locales que deberían preocuparse por "los venenos en el agua del estanque", que podían causar cáncer a ellos y sus niños, y que no había manera de que sus autoridades gubernamentales los protegieran de estos "químicos mortales". Luego añadía: "Usted puede protegerse tomando agua del garrafón". Contra este mensaje simplista y aterrador, con la sugerencia simultánea de una solución factible que un individuo responsable puede obtener, el mensaje oficial de riesgo, rodeado de términos de probabilidad, incertidumbre y de figuras agregadas, tiene muy poco impacto en las mentes de residentes locales.

Mensajes de riesgo imprevistos

Algunos mensajes imprevistos sobre un riesgo acompañan a menudo y pueden contradecir a los mensajes oficiales. Éstos ocurren porque los proveedores de información no son conscientes de que la comunicación de riesgo no sólo involucra mensajes verbales (orales y escritos) sino también mensajes no verbales o de comportamiento. Se encontró, por

ejemplo, que en una ocasión las autoridades pidieron a los lugareños no preocuparse por el asunto, pero luego enviaron a técnicos vestidos en "trajes de astronautas" para recoger muestras de tierra y agua del estanque. El atuendo de "astronauta" no se explicó a los residentes, haciéndoles dudar la declaración oficial de que no había nada de qué preocuparse. Estos signos y comportamientos aterradores contradijeron la calma del mensaje verbal.

CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES

Este análisis de los hallazgos de la investigación no sólo muestra las complejidades de la comunicación de riesgos sino el papel sumamente importante jugado por el receptor de la información, un papel ignorado demasiado a menudo por los expertos. Estas observaciones tienen implicaciones significantes para maneras en las que la comunicación de riesgos podría llevarse a cabo más eficazmente. Sobre todo, ellos indican que el mejoramiento de la comunicación de riesgos no es simplemente cuestión de ocuparse vanamente de la redacción del mensaje de riesgo. No importa qué tan exacta sea, la información de riesgo puede ser mal percibida o rechazada si aquéllos que dan información no están concientes de la naturaleza compleja e interactiva de la comunicación de riesgo y los varios factores que afectan la recepción del mensaje.

REFERENCIAS

- Azuela, Antonio (2004) "Olor a nafta. El caso Metalclad y la nueva geografía del derecho mexicano". *Congreso Internacional: Culturas y Sistemas Jurídicos Comparados*. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM
- Baker, Frank (1990) "Risk Communications about Environmental Hazards". *J. Pub. Health Pol.* **3**: 341-359
- Brown, Phil y Edwin J. Mikkelsen (1997) *No Safe Place. Toxic Waste, Leukemia and Community Action*. Berkeley, Los Angeles: University of California Press
- Costero, Cecilia (2002) "Metalclad y el municipio de Guadalcazar", *Vetas Colsan*, **11**:11-27
- Douglas, Mary (1996) *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales*. Barcelona: Paidós Studio.
- Edelstein, Michael R. (2004) *Contaminated Communities. Coping with Residential Toxic Exposure*. Boulder, Colorado: Westview Press

- Erikson, Kai (1994) *A New Species of Trouble. Explorations on Disaster, Trauma and Community*. New York: Norton & Company
- Fessenden-Raden, June; Janeth M Fitchen, and Jennifer S. Heath (1987) "Providing Risk Information in Communities: Factors Influencing what is Heard and Accepted". *Sci. Tech. Hum. Values* **3**:94-101
- López Farfán, Eduardo (1999) "El municipio frente a la problemática ambiental. El caso de La Pedrera, en Guadalucazar, San Luis Potosí", en Enrique Cabrero y Gabriela Nava (coords.), *Gerencia pública municipal. Conceptos básicos y estudios de caso* (pp. 389-404), México: CIDE
- Otway, H. (1987) "Experts, Risk Communication and Democracy". *Risk Anal.* **7**:125-129
- Plough, A., and Krimsky, S. (1987) "Emergency of Risk Communication Studies: Social and Political Context". *Sci. Tech. Hum. Values* **2**:4-10
- Setterberg, Fred y Lonny Shavelson (1993) *Toxic Nation. The fight to Save Our Communities from Chemical Contamination*. New York: John Wiley & Sons
- Smith, V. Kerry, and F. Reed Johnson (1988) "How do Risk Perceptions Respond to Information? The Case of Radon". *Rev. Eco. Stats.* **1**:1-18
- Torres, Blanca (1997) *Metalclad y Guadalucazar*. San Luis Potosí, México: El Colegio de San Luis
- Ugalde, Vicente (2002) "Las relaciones intergubernamentales en el problema de los residuos peligrosos: El caso de Guadalucazar". *Estudios. Demográficos y Urbanos, Colmex* **49**:77-105

REMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS POR DIESEL CON ÁRBOLES DE TINTO

Mario José Romellón Cerino¹, Julio Cesar Romellón Cerino², Elizabeth Ramón García³, Antonina del Carmen Tun Pérez⁴

**1,4. Departamento de Química-Bioquímica-Ambiental
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
mjracerino@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

**2. Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
jcromellon@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

**2. Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico Superior de Macuspana**

Carretera Macuspana-Belén km. 3.5 R/a. Lerdo de Tejada, Macuspana, Tabasco C.P. 86700.
jcromellon@hotmail.com, Tel. 936 36 2 33 23, Fax. 936 36 2 33 30

**3. Departamento de Química-Bioquímica-Ambiental
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
bioleliza_ramgar@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

RESUMEN

Debido a la actividad petrolera en nuestro país y en particular en el Estado de Tabasco es común observar suelos contaminados por derrames de hidrocarburos debido al desgaste de las líneas de ductos que pasan por los campos agrícolas y ganaderos, así como también por pantanos y bajo las carreteras. La remediación de estos suelos contaminados muchas veces solo contempla la disminución de la concentración del contaminante y no la recuperación total del suelo en su calidad productiva. Por lo cual se emplean métodos o tecnologías que son agresivas y destruyen la fertilidad del suelo, así como propician la disminución o empobrecimiento de las zonas agrícolas [3]. La remediación biológica en Tabasco comúnmente usa plantas pequeñas para tratar el suelo, en este proyecto tratamos de comprobar la resistencia del árbol de tinto a los hidrocarburos probando con diesel a distintas concentraciones.

Palabras clave: arboles; diesel; contaminación; residuos sólidos urbanos.

INTRODUCCION

Tabasco es un Estado con una importante actividad petrolera y por él pasan ductos de todo tipo de la empresa PEMEX. La ciudad de Villahermosa capital del Estado posee un número importante de Estaciones de Servicios para satisfacer la demanda de combustible. Los ganaderos necesitan gasolina y diesel para sus unidades pero en muchos casos para no estar viajando a la ciudad a comprar combustible diariamente lo almacenan en garrafones de plástico o en tanques metálicos de 200 litros momento en el cual según el reglamento de limpia del municipio de Centro, Tabasco este se convierte en un residuo cuando su propietario lo desecha puesto que está contenido en un recipiente o depósito [1]. Cuando estos recipientes se rompen son desechados en cualquier parte sin impórtale al dueño lo que contenía y los daños que al medio ambiente puede causar. Siendo el árbol de tinto una especie común y abundante en ciertas zonas del Estado se opto por usarla para este proyecto [2].

METODOLOGÍA

Se prepararon 6 cubetas de 19 litros de capacidad cada una con 19 kilos de suelo limpio se uso tierra negra. En cada cubeta se sembró un árbol de tinto con una altura de 40 cm. Tomando 1 cubeta como testigo, 1 cubeta con 50 ml de diesel, 1 cubeta con 100 ml de diesel, 1 cubeta con 150 ml de diesel sucio de los talleres, 1 cubeta con 200 ml de diesel y 1 cubeta con 250 ml de diesel.

	50 ml de Diesel	100 ml de Diesel	150 ml de Diesel	200 ml de Diesel	250 ml de Diesel
Cubeta blanco 1 40 cm de largo	A 40 cm de largo	B 40 cm de largo	C 40 cm de largo	D 40 cm de largo	E 40 cm de largo

El diesel usado se compro en la estación de servicio más cercana a la institución. Se escogieron árboles de tinto del mismo tamaño y de la misma edad para observar el crecimiento lo más uniforme posible.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla de crecimiento de árboles de tinto en suelo contaminado con diesel a 60 días de iniciado el proyecto.

	50 ml de Diesel	100 ml de Diesel	150 ml de Diesel	200 ml de Diesel	250 ml de Diesel
Cubeta blanco 1 44 cm de largo	A Se murió	B 43.2 cm de largo	C 43 cm de largo	D Se murió	E 43.4 cm de largo

CONCLUSIONES

El crecimiento de los árboles de tinto no se ha visto disminuido en gran medida tal como lo demuestran los datos preliminares, la diferencia es solo 1 cm de largo del árbol testigo con respecto al árbol más pequeño que es el denominado C. En cuestiones de porcentaje se habla de una diferencia de altura de un 3% del árbol de la cubeta C con la cubeta blanco y de una diferencia en altura del 1.4% de la cubeta E con respecto a la cubeta blanco. Estos datos nos indican de forma preliminar que suelos contaminados con diesel pueden ser aprovechados con esta especie de árbol que es maderable y puede ser aprovechada con el paso de los años. Aunque aún faltan muchos estudios y pruebas por hacer.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los alumnos de Ingeniería Ambiental de la materia de remediación de suelos periodo Agosto-Diciembre 2008 por su apoyo para la elaboración de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Anónimo. (2006). Reglamento del Servicio Público de Limpia, Recolección, Traslado, Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Centro, Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 33 pp.
- [2] INEGI. (2001). Síntesis de Información Geográfica del Estado de Tabasco. México, D.F. 89 pp. ISBN: 970-13-3273-3.
- [3] SEMARNAT. (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. México, D.F. 235 pp. ISBN: 968-817-497-1.

RECICLAJE DE DIESEL COMO FUENTE DE CARBONO PARA ÁRBOLES DE TINTO

Mario José Romellón Cerino¹, Julio Cesar Romellón Cerino², Elizabeth Ramón García³, Antonina del Carmen Tun Pérez⁴

**1,4. Departamento de Química-Bioquímica-Ambiental
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
mjrcerino@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

**2. Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
jcromellon@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

**2. Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico Superior de Macuspana**

Carretera Macuspana-Belén km. 3.5 R/a. Lerdo de Tejada, Macuspana, Tabasco C.P. 86700.
jcromellon@hotmail.com, Tel. 936 36 2 33 23, Fax. 936 36 2 33 30

**3. Departamento de Química-Bioquímica-Ambiental
Instituto Tecnológico de Villahermosa**

Carretera Villahermosa_Frontera km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco C.P. 86010.
biolaliza_ramgar@hotmail.com, Tel. 993 353 02 59, Fax. 993 353 02 50

RESUMEN

Tabasco posee municipios con arboles resistentes al exceso de agua como son el tinto y el sauce por mencionar alguno de ellos [2], y un amplio número de talleres mecánicos en los municipios los cuales vierten sus desperdicios en las alcantarillas [3]. Se trato de demostrar que el suelo contaminado con diesel de talleres mecánicos no afecta el crecimiento de los arboles.

Palabras clave: arboles; diesel; reciclaje; residuos sólidos urbanos.

INTRODUCCION

La irregularidad ambiental en la cual trabajan los pequeños talleres mecánicos independientes en los municipios del Estado de Tabasco contaminan lentamente los suelos. Ya que estos no

están normados ambientalmente o hacen caso omiso a las disposiciones ya que son pequeños negocios familiares. En muchos de los casos estos talleres desechan el diesel sucio que usan para limpiar partes automotrices en las alcantarillas si es que cuentan con una o simplemente al patio trasero, pero también hay casos que estos recuperan el diesel sucio, lo almacenan en garrafones de plástico y esperan que pase el camión del servicio de limpia del ayuntamiento para que se lleve estos garrafones como si fuesen residuos sólidos urbanos comunes [1]. Los arboles de tinto o palo de tinto como también se le conoce es una especie que se puede encontrar en algunos municipios del Estado de Tabasco y por el tipo de suelo este crece y se desarrolla sin problemas aparente [2], generalmente el diesel sucio de los talleres contiene grasas lubricantes y aceites, así como también exceso de óxidos metálicos (herrumbre) que se desprendieron de algunas piezas viejas. Cuando los dueños de dichos talleres vierten este contaminante en áreas con árboles de tinto estos son por lo general arboles maduros y presentan resistencia a la contaminación pero no se sabe qué sucede cuando estos árboles están pequeños.[3]

METODOLOGÍA

Se prepararon 12 cubetas de 19 litros de capacidad cada una con 19 kilos de suelo limpio se uso tierra negra. En cada cubeta se sembró un árbol de tinto con una altura de 61.5 cm. El estudio se realizo por duplicado. Tomando 2 cubetas como testigo, 2 cubetas con 50 ml de diesel sucio de los talleres, 2 cubetas con 100 ml de diesel sucio de los talleres, 2 cubetas con 150 ml de diesel sucio de los talleres, 2 cubetas con 200 ml de diesel sucio de los talleres y 2 cubetas con 250 ml de diesel sucio de los talleres.

	50 ml de Diesel sucio	100 ml de Diesel sucio	150 ml de Diesel sucio	200 ml de Diesel sucio	250 ml de Diesel sucio
Cubeta blanco 1 61.5 cm de largo	A1 61.5 cm de largo	B1 61.5 cm de largo	C1 61.5 cm de largo	D1 61.5 cm de largo	E1 61.5 cm de largo

Cubeta blanco 2 61.5 cm de largo	A2 61.5 cm de largo	B2 61.5 cm de largo	C2 61.5 cm de largo	D2 61.5 cm de largo	E1 61.5 cm de largo
-------------------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla de crecimiento de árboles de tinto en suelo contaminado con diesel de taller automotriz usado para limpiezas de piezas de autos a 60 días de iniciado el proyecto.

	50 ml de Diesel sucio	100 ml de Diesel sucio	150 ml de Diesel sucio	200 ml de Diesel sucio	250 ml de Diesel sucio
Cubeta blanco 1 62.5 cm de largo	A1 65 cm de largo	B1 62.5 cm de largo	C1 62.5 cm de largo	D1 62.5 cm de largo	E1 62.5 cm de largo
Cubeta blanco 2 64.5	A2 61.5 cm de largo	B2 63 cm de largo	C2 63.5 cm de largo	D2 62.8 cm de largo	E2 Se murió

La cubeta marcada como E2 quedo mal ubicada y se lleno de agua debido a que en los días del mes de diciembre estuvo lloviendo, saturando la tierra de humedad motivo por el cual el árbol de tinto se murió.

CONCLUSIONES

El crecimiento de los árboles de tinto no se ha visto disminuido en gran medida tal como lo demuestran las cubeta de la línea 1 en el caso de las cubetas A1 y A2 la A1 creció 3.5 cm más que la A2 siendo que la A2 no ha crecido nada desde que inicio el proyecto, por lo cual estimamos que se debe repetir el proyecto pero por triplicado. Los arboles en las cubetas B1, C1, D1 y E1 tienen el mismo largo que la cubeta blanco 1, lo que nos muestra que no ha habido efecto significativo. Caso contrario a los arboles de la línea 2, ya que estos presentan una diferencia de crecimiento con respecto a su cubeta blanco que va desde 1.7 cm hasta 1.5

cm, dichos resultados aunque alentadores ya que demuestran que el árbol de tinto se puede desarrollar en un suelo contaminado con diesel sucio de talleres automotrices aun faltan muchos datos y estudios que hacer para determinar si en realidad el árbol de tinto esta aprovechado los residuos del diesel contaminado con las grasas y aceites lubricantes, y hasta que concentración de este puede soportar.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los alumnos de Ingeniería Ambiental de la materia de remediación de suelos periodo Agosto-Diciembre 2008 por su apoyo para la elaboración de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Anónimo. (2006). Reglamento del Servicio Público de Limpia, Recolección, Traslado, Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Centro, Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 33 pp.
- [2] INEGI. (2001). Síntesis de Información Geográfica del Estado de Tabasco. México, D.F. 89 pp. ISBN: 970-13-3273-3.
- [3] SEMARNAT. (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. México, D.F. 235 pp. ISBN: 968-817-497-1.



GESTIÓN LOCAL E INTERGUBERNAMENTAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. UNA EVALUACIÓN DE LAS “BUENAS PRÁCTICAS” EN LOS MUNICIPIOS MEXICANOS.

A.L. Rodríguez-Lepure¹

1. Secretaría General Académica
El Colegio de la Frontera Norte, A.C.

Km. 18.5 Carretera Escénica Tijuana-Ensenada, San Antonio del Mar, Tijuana, B.C.
c.p.22560

analucia@colef.mx, (664) 6.31.63.00 ext. 1222

RESUMEN

El manejo integral de los residuos sólidos urbanos (MIRSU) es uno de los servicios públicos más complicados y sensibles para los gobiernos locales (ENGM, 2004). En consecuencia, se han realizado diagnósticos que suelen derivar en la implementación de mejoras tecnológicas que han mejorado el servicio en algunos casos. La literatura especializada, empero, ha prestado escasa atención a los factores institucionales que influyen sobre la prestación de este servicio. Esta investigación analiza la influencia de factores institucionales (instrumentos legales, organización administrativa, recursos financieros y participación ciudadana) sobre el desempeño de los gobiernos locales mexicanos en el manejo integral de los RSU. Se presenta un análisis comparativo entre tres municipios reconocidos por sus ‘buenas prácticas’ (Toluca, Irapuato y Coatzacoalcos) y tres municipios de ‘control’ (Naucalpan, Celaya y Xalapa) en tres estados mexicanos. Con una combinación de métodos cuantitativos (v.g. índices contruidos *ex profeso*) y cualitativos, el análisis reveló que los ayuntamientos con mejores desempeños en el manejo integral de residuos, si se controlan factores demográficos y socio-económicos, cuentan con instrumentos legales actualizados y coherentes, personal capacitado (experiencia en la administración pública y en el MIRSU), recursos financieros de programas federales, ingresos propios elevados y mayor número de programas relacionados con el manejo.

Palabras clave: Gestión local; Manejo integral; Residuos sólidos urbanos; Capacidad institucional; Factores institucionales; Buenas prácticas.

INTRODUCCIÓN

En el 2006, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Gutiérrez, 2006) publicó un diagnóstico de la situación prevaleciente en el país respecto a los residuos sólidos, entre otros datos, se establece que sólo cinco por ciento de los municipios



cuenta con una cobertura completa del servicio de recolección y disponen todos sus residuos en rellenos sanitarios o sitios controlados.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos (RSU) es un problema persistente en las administraciones municipales. El crecimiento de la población y de las manchas urbanas, así como reconocer que el problema involucra factores complejos (no solamente técnicos) ha complicado su solución. El problema es aún mayor porque existe baja profesionalización de los funcionarios involucrados en la administración pública local (Cabrero, 2005), inevitablemente la cuestión persiste cuando las autoridades consideran que la mayor parte de los problemas asociados con los residuos pueden resolverse, sobre todo, con la introducción de mejoras tecnológicas.

Los estudios revelan que las soluciones técnicas no han aliviado los problemas que sufren los municipios mexicanos asociados al manejo de residuos y que factores institucionales parecen ejercer un impacto mayor. Así mismo, hay estudios que exponen que las causas del manejo inadecuado de los RSU residen principalmente en el déficit de factores institucionales, como la débil estructura administrativa, escasez de recursos financieros, e inapropiada legislación y medidas de cumplimiento (Campbell, 1999; Wilson, *et al.*, 2001; Nuortio *et al.*, 2006). Es decir, existen otros factores que mejoran el manejo integral de los residuos sólidos urbanos además de los proyectos técnicos.

La gestión de los residuos sólidos urbanos requiere de procesos continuos de planeación, operación, monitoreo y ajuste porque el problema es dinámico, tanto como las administraciones municipales, y por tanto se espera que los factores institucionales (entendidos como instrumentos legales, organización administrativa, recursos financieros y participación ciudadana) mejoren el manejo integral de los RSU. Esta investigación, se propone identificar si factores institucionales como los instrumentos legales, la organización administrativa, los recursos financieros disponibles y la participación ciudadana mejoran el desempeño del gobierno local en el manejo integral de los residuos sólidos urbanos (RSU).

METODOLOGÍA

Para examinar la hipótesis de esta investigación se estudiaron seis casos, la investigación es de tipo no experimental, es decir, se realizó observación directa del fenómeno estudiado en los municipios seleccionados en su contexto natural, con la

finalidad de analizarlos posteriormente. La variable dependiente es el manejo integral de los RSU y las cuatro variables explicativas o independientes son: instrumentos legales, organización administrativa, recursos financieros y participación ciudadana.

La unidad básica de estudio es el “municipio” y se seleccionaron seis en total, tres de ellos se identificaron por tener *buenas prácticas* municipales¹ en diferentes estados, es decir, con presumible buen desempeño en el manejo integral de los RSU. Los tres municipios con *buenas prácticas* (Toluca, Irapuato y Coatzacoalcos)² se seleccionaron porque recibieron la distinción del *Premio Gobierno y Gestión Local* por programas sobre gestión integral de residuos sólidos urbanos.³ Después, se seleccionó un municipio par para cada uno de los municipios con *buenas prácticas* en el mismo estado, procurando que los integrantes de las duplas (uno con *buenas prácticas*, otro no) fueran muy parecidos en cuanto a sus características sociales y económicas⁴ con el propósito de controlar la influencia de estas variables y determinar si los factores institucionales explican los diversos niveles de desempeño que se observan en el manejo integral de residuos.

Las variables de interés (dependiente e independientes) se operacionalizaron⁵ para obtener la información necesaria en la comparación por pares (*pairwise comparison*). Además, el procedimiento para seleccionar los casos permite realizar comparaciones entre cada una de las parejas (intraestatal) y entre los seis casos (interestatal), y así establecer relaciones causales entre la variable dependiente, las contextuales y las de interés (estudio correlación-causal) (Alho *et al.*, 2001; Hernández *et al.*, 2003). El cuadro 1 muestra las variables operacionales utilizadas en el estudio.

¹ El concepto de *buenas prácticas* se utiliza en la actualidad por gobiernos municipales para reconocer acciones que presentan buenos resultados y que a partir de condiciones contextuales similares pueden ser reproducidas para mejorar el desempeño del gobierno municipal en el área que se haya identificado (Folz, 2004).

² Listados por orden alfabético de la entidad federativa a la que pertenecen (Estado de México, Guanajuato, Veracruz) y no por orden de importancia.

³ El *Premio Gobierno y Gestión Local* es otorgado anualmente por el Centro de Investigación y de Docencia Económicas (CIDE) y reconoce a programas y políticas gubernamentales locales que en el transcurso de por lo menos un año, mostraron un impacto positivo y sobresaliente en su diseño e implementación (Guillén *et al.*, 2007).

⁴ Las variables contextuales que se emplearon para definir las parejas fueron: a) Índice de Marginación Municipal (IM), b) producto interno bruto (PIB) per cápita, c) indicador de nivel de empleo, d) porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa, y e) porcentaje de la población en localidades con menos de 5,000 habitantes, como indicador de dispersión poblacional.

⁵ Para mayor detalle de la construcción del Índices *Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos*, Índice *Base Legal* e Índice *Perfil de Funcionario* consultar el documento completo de la investigación (Rodríguez, 2008).

Cuadro 1. Variables operativas de la investigación.

<i>Variables Operativas</i>	<i>Tipo de variable</i>	<i>Unidad de medición</i>
Manejo integral de RSU		
Cobertura de recolección	Cuantitativa	%
Actualización de rutas	Cuantitativa	veces al año
Unidades de recolección	Cuantitativa	Número de unidades
Recuperación de RSU en ruta	Cuantitativa	%
Estaciones de transferencia	Cuantitativa	Número de estaciones
Centros de acopio	Cuantitativa	Núm. de c. de acopio
Recuperación de RSU en sitio de disposición	Cuantitativa	%
Total de RSU recuperado	Cuantitativa	%
Sitio de disposición	Cualitativa	RS, TC, TCA
Índice de <i>Manejo Integral de RSU (IMIRSU)</i>	Cuantitativa	Adimensional
Instrumentos Legales		
Existencia de Reglamento municipal en materia de RSU	Cualitativa	Sí/No
Realizan cobro por manejo de RSU	Cualitativa	Sí/No
Está facultado para verificar la normatividad en RSU	Cualitativa	Sí/No
Está facultado para sancionar la normatividad en RSU	Cualitativa	Sí/No
Existencia de Ley Estatal RSU	Cualitativa	Sí/No
Índice de <i>Base Legal (IBL)</i>	Cuantitativa	Adimensional
Organización Administrativa		
Carrera afín	Cualitativa	Sí/No
Tiempo de experiencia en el ayuntamiento	Cuantitativa	Meses
Tiempo de experiencia en el ayuntamiento en el área de RSU	Cuantitativa	Meses
Tiene experiencia profesional en RSU (Sí/No)	Cualitativa	Sí/No
Nivel jerárquico del área encargada de RSU respecto al presidente municipal	Cualitativa	Niveles 1-4
Índice de <i>Perfil Funcionario (IPF)</i>	Cuantitativa	Adimensional
Participación Social		
Número de programas RSU	Cuantitativa	Número de programas
Número de programas RSU financiados con transferencias	Cuantitativa	Número de programas
Utilización de transferencias para RSU	Cualitativa	Sí/No
Recursos Financieros		
Ingresos por transferencias federales per cápita	Cuantitativa	Miles de pesos/hab
Ingresos por transferencias estatales per cápita	Cuantitativa	Miles de pesos/hab
Ingresos propios per cápita	Cuantitativa	Miles de pesos/hab
Dependencia de transferencias	Cuantitativa	%

RS: Relleno sanitario; TC: Tiradero controlado; TCA: Tiradero a cielo abierto

RESULTADOS Y DISCUSION

Para la investigación se construyó un índice global para medir el desempeño efectivo en el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, con la finalidad de obtener una unidad adimensional y comparable entre los seis casos de estudio. Los resultados del índice se integraron con los factores institucionales (los de interés en la investigación) para observar y analizar las relaciones existentes entre ellos.

Los municipios reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local* cuentan con un manejo de los RSU más efectivo (mejores prácticas) que sus pares no reconocidos (figura 1). Toluca, Irapuato y Coatzacoalcos presentaron índices de manejo integral de RSU mayores que Naucalpan, Celaya y Xalapa respectivamente. El municipio de Irapuato es el que presenta mejor desempeño en el manejo integral de los RSU y Celaya, su municipio par, es el que muestra el valor más bajo (sus condiciones de cobertura y actualización de rutas, entre otras, explican este resultado). Con valores intermedios se encuentran (de mayor a menor valor): Toluca, Coatzacoalcos, Naucalpan y Xalapa.

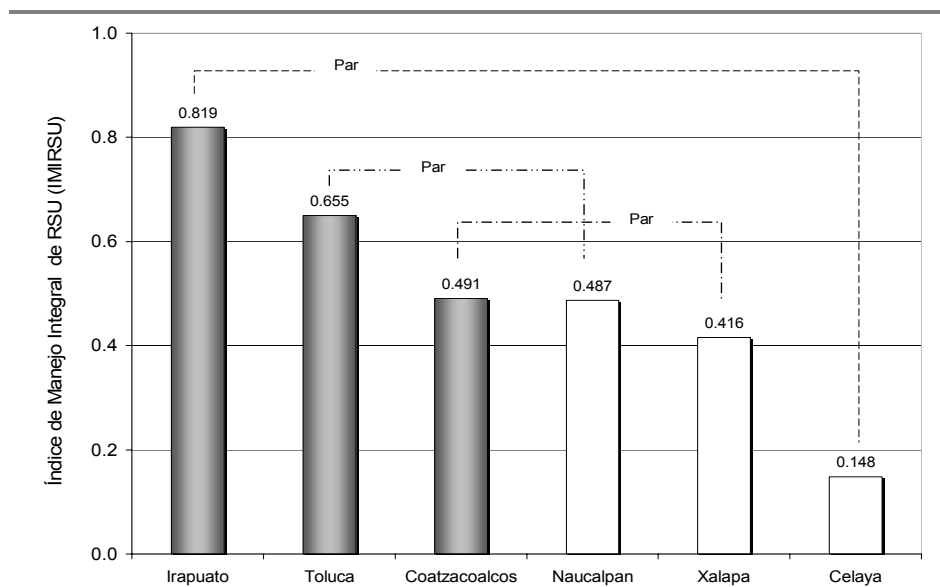


Figura 1: Índice de *Manejo Integral de RSU (IMIRSU)* de los casos de estudio

Nota: Los municipios con barras sombreadas son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

Fuente: Elaboración propia con información recabada durante los trabajos de campo realizados en los casos de estudio (Febrero-Marzo, 2008) y datos del II Censo de Población y Vivienda 2005 (INEGI).

El cuadro 2 muestra los resultados del Índice de *Base Legal (IBL)*, el cual permite realizar comparaciones directas entre los casos. Por ejemplo, Coatzacoalcos y Xalapa es la única pareja disímil entre las tres, es decir, parece que la base legal municipal del manejo integral de los residuos se define, en la mayoría de los casos, a partir del gobierno estatal. Note, también, el par Irapuato y Celaya obtuvo un índice mayor que Toluca y Naucalpan, esto se debe a que estos últimos municipios no cobran por el servicio de limpia y a que el Estado de México no cuenta con ley estatal de residuos.

En la figura 2, en general, se observa que los municipios con valores altos del Índice de *Base Legal* tienen un mejor manejo integral, a excepción de Xalapa que no cuenta con reglamento sobre la gestión de los RSU (aunque algunas disposiciones al respecto se contemplan en el reglamento de protección al ambiente). Toluca y Naucalpan parecen estar equilibrados, ambos cuentan con *IBL* similar y en el *IMIRSU* son el par con menos variación. Los casos interesantes son Coatzacoalcos y Xalapa, los únicos con diferencias intraestatales en el *IBL*, e Irapuato y Celaya con la mayor disparidad en el *IMIRSU*.

Cuadro 2. Valor del Índice de *Base Legal* (*IBL*).

	<i>Toluca</i>	<i>Naucalpan</i>	<i>Irapuato</i>	<i>Celaya</i>	<i>Coatzacoalcos</i>	<i>Xalapa</i>
Índice de <i>Base Legal</i> (<i>IBL</i>)	0.7	0.7	0.75	0.75	1	0.3

Nota: Los municipios con barras sombreadas son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

Fuente: Elaboración propia con información recabada durante los trabajos de campo realizados en los casos de estudio (Febrero-Marzo, 2008) y datos del II Censo de Población y Vivienda 2005 (INEGI).

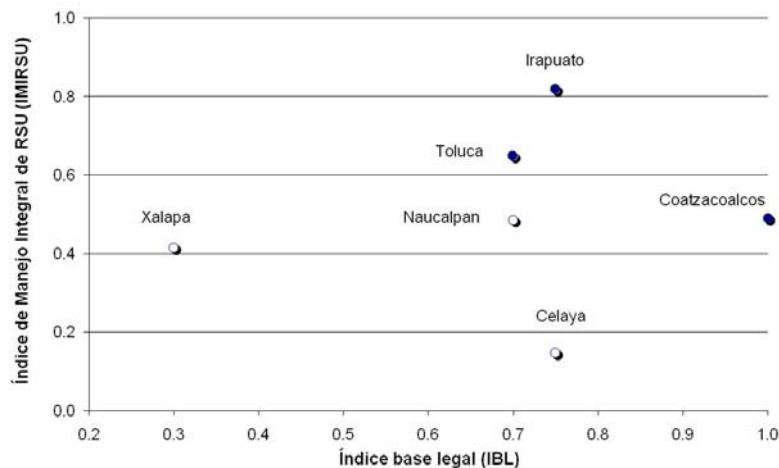


Figura 2: Índice de *Manejo Integral de RSU* (*IMIRSU*) e Índice de *Base Legal* (*IBL*)

Nota: Los municipios con viñetas de color son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

El cálculo del *IBL* permite constatar que los instrumentos legales son la base de operación jurídica para mejorar el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, pues sientan los fundamentos para planear, regular, definir atribuciones y competencias, y establecer los vínculos de coordinación. Sin embargo, no basta con legislar para mejorar

el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, es necesario que a partir de esta base normativa se lleven a cabo acciones para ejecutarla.

En la organización administrativa, el cuadro 3 nos muestra que Irapuato tiene índices altos de perfil de funcionario (*IPF*) tanto para el director general como para el encargado de los RSU (mayores a 0.8), en cambio, Celaya presenta índices bajos, para ambos funcionarios (quienes carecían de experiencia previa en el ayuntamiento y en el área de RSU). Las mayores diferencias se presentan en los municipios de Veracruz: tanto el encargado de limpia como el director general en Coatzacoalcos tienen *IPFs* altos, mientras Xalapa carece de personal calificado en ambos puestos (no cuentan con experiencia previa ni en el ayuntamiento ni en el área de RSU, y el jefe del departamento de limpia pública no tiene carrera afín).

En los municipios con buenas prácticas la unidad administrativa encargada de los RSU se encuentra más alejada de la presidencia municipal y con personal con más tiempo en la administración pública respecto a sus municipios pares. Es posible que el resguardo del área encargada de los residuos en niveles alejados de la presidencia propicie menos rotación del personal, pues los puestos claves no quedan expuestos a los cambios asociados, por ejemplo, con el inicio de una nueva administración.

Cuadro 3. Valor del Índice de *Perfil de Funcionario (IPF)*.

	<i>Toluca</i>	<i>Naucalpan</i>	<i>Irapuato</i>	<i>Celaya</i>	<i>Coatzacoalcos</i>	<i>Xalapa</i>
IPF Director general	0.94	0.50	0.87	0.28	0.83	0.01
IPF Encargado de RSU	0.96	0.92	0.82	0.28	0.94	0.00
Distancia a la presidencia ¹	3	4	4	3	4	3

Nota: Los municipios sombreados son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

¹Nivel jerárquico del área de RSU respecto a la presidencia municipal.

Fuente: Elaboración propia con información recabada en la visita de campo en cada uno de los casos de estudio.

Una vez graficado el *IPF* con el *IMIRSU* se observa claramente que los municipios reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local* presentan los *IMIRSU* más altos y también tienen valores elevados del *IPF*, es decir, la formación y experiencia de los funcionarios tiende a generar un mejor desempeño en el manejo de los RSU (figura 3).

Respecto a los recursos financieros, se puede observar que los tres municipios que tienen más alto Índice de *Manejo Integral de RSU*: Irapuato, Toluca, Coatzacoalcos,

aplican este tipo de recursos a alguna actividad involucrada en el manejo integral, en contraste con aquellos no premiados (cuadro 4).

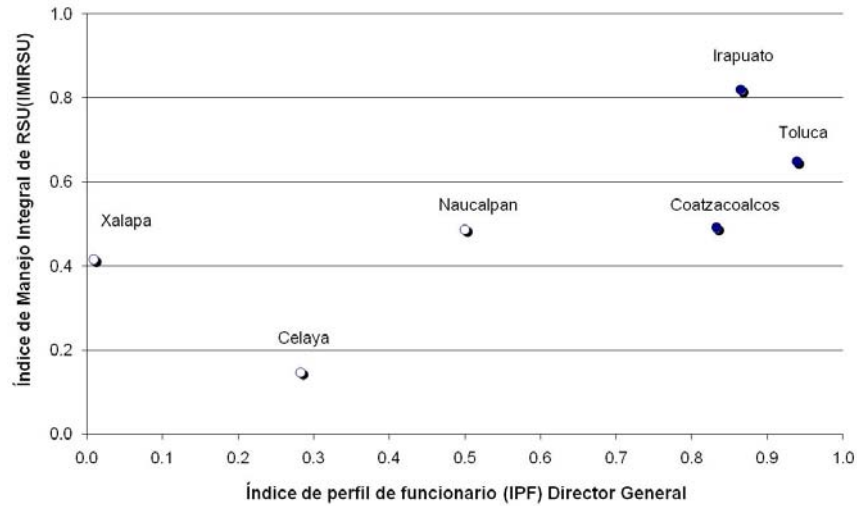


Figura 3: Índice de *Manejo Integral de RSU (IMIRSU)* e Índice de Perfil de Funcionario (*IPF*) del Director General

Nota: Los municipios con viñetas de color son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

Lo que se observa en la figura 4 es muy claro: los municipios con mejor desempeño tienen los montos per cápita más bajos por transferencias estatales. Después le siguen los casos de Xalapa, penúltimo en *IMIRSU*, y Celaya, último en el *IMIRSU*. El caso sobresaliente es Naucalpan que tiene menos transferencias estatales que todos los casos de estudio, y esto se puede deber a que Naucalpan cada vez recurre más a transferencias federales para aumentar su ingreso.

La figura 5 revela, en cambio, que cuando los ingresos de fuentes propias son mayores, los valores del *IMIRSU* también son mayores, a excepción de Irapuato que cuenta con el mejor desempeño en el manejo integral y sólo recibe el 62 por ciento de lo que ingresa Celaya (municipio con el menor *IMIRSU*). Esto puede ser resultado del fortalecimiento de la autonomía municipal: mayores ingresos propios y mejor distribución de los recursos en conjunto (provenientes de ingresos propios y de transferencias), que se ve reflejado en los tres municipios de mayor índice *IMIRSU*: mayores ingresos de fuentes propias y asignación de recursos federales en materia de RSU.

El número de programas en materia de RSU que se han implementado en el municipio es la única variable que fue posible obtener para todos los casos como medida de

participación ciudadana. La figura 6 muestra que los municipios con más programas tienen valores más elevados del índice de manejo integral. El municipio de Celaya tiene menos programas implementados que Irapuato, y refleja menor IMIRSU, esta misma tendencia la muestran los otros dos pares de municipios: Coatzacoalcos cuenta con más programas y mayor IMIRSU que Xalapa, y Toluca es el que supera al resto de los municipios en número de programas implementados.

Cuadro 4. Municipios que aplican transferencias de programas estatales y/o federales al manejo de los RSU.

<i>Fondos</i>	<i>Toluca</i>	<i>Naucalpan</i>	<i>Irapuato</i>	<i>Celaya</i>	<i>Coatzacoalcos</i>	<i>Xalapa</i>
Hábitat, Ramo 28			X			
FISM, Ramo 33 ¹	X		X		X	
BANOBRAS ²					X	
FOAM			X			

Nota: Los municipios sombreados son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

¹FISM: Fondo de aportación para la infraestructura social municipal.

²BANOBRAS: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos.

Fuente: Elaboración propia con información recabada durante los trabajos de campo en los municipios de estudio (Febrero-Marzo, 2008).

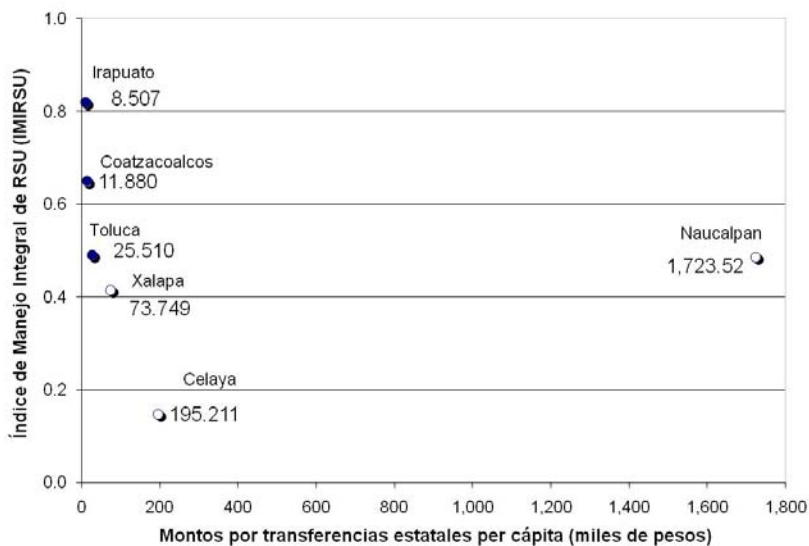


Figura 4: Índice de *Manejo Integral de RSU (IMIRSU)* y montos por transferencias estatales per cápita

Nota: Los municipios con viñetas de color son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

Fuente: Elaboración propia con información recabada durante los trabajos de campo realizados en los casos de estudio (Febrero-Marzo, 2008) y datos de las Estadísticas de Finanzas Públicas Municipales para el año 2006 (INEGI).

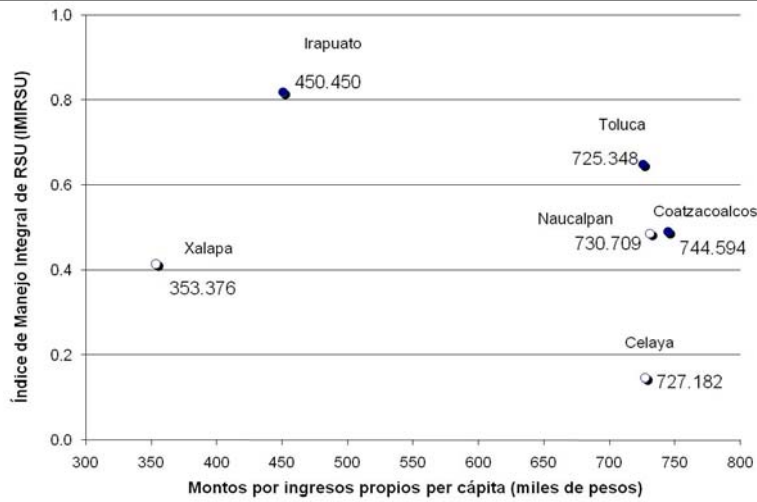


Figura 5: Índice de *Manejo Integral de RSU (IMIRSU)* y montos por ingresos propios per cápita

Nota: Los municipios con viñetas de color son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

Fuente: Elaboración propia con información recabada durante los trabajos de campo realizados en los casos de estudio (Febrero-Marzo, 2008) y datos de las Estadísticas de Finanzas Públicas Municipales para el año 2006 (INEGI).

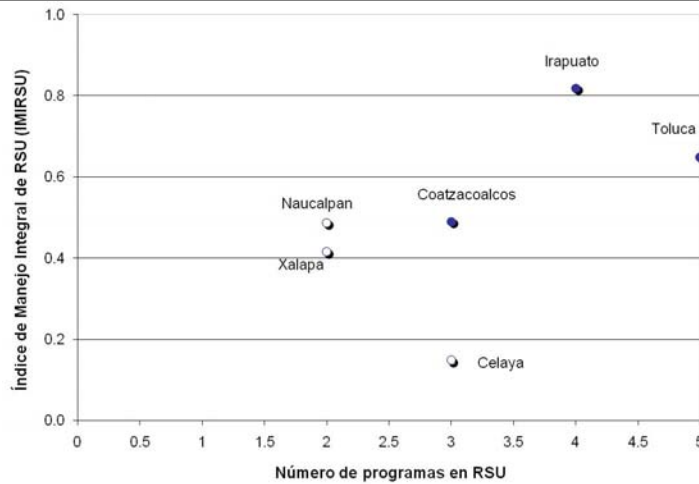


Figura 6: Índice de *Manejo Integral de RSU (IMIRSU)* y número de programas en materia de RSU

Nota: Los municipios con viñetas de color son los reconocidos con el *Premio Gobierno y Gestión Local*.

CONCLUSIONES

En esta investigación se ha revelado que el desempeño de los gobiernos municipales en el manejo integral de los residuos sólidos urbanos (RSU) depende, en buena medida, de



factores que se encuentran bajo su control: instrumentos legales, organización administrativa (incluido el perfil de funcionarios), origen de los recursos financieros y participación de la sociedad. El fortalecimiento de estas áreas es capaz de mejorar el desempeño local en el manejo integral de los RSU.

El trabajo revela que en efecto los municipios reconocidos con *buenas prácticas* presentan los mejores desempeños en el manejo integral de los RSU, de acuerdo a los valores del *IMIRSU*, que se diseñó y construyó *ex profeso* para esta investigación. Para los ayuntamientos una estrategia para lograr desempeños superiores en la prestación de servicios públicos es identificar casos con *buenas prácticas* en el área que quieren corregir, pero cuidando sus características socio-demográficas y económicas.

En materia de “instrumentos legales” se puede concluir, en los casos de estudio, que los reglamentos municipales en materia de manejo de residuos son obsoletos ante la realidad del problema de los RSU. Las bases legales de los municipios para llevar a cabo el manejo integral de los RSU no regulan, en ninguno de los seis casos, cuatro acciones de las que definen el manejo integral *per se* (evitar y minimizar la generación de residuos, creación de sistemas de información e inventarios). Sin embargo, los municipios en los que sus reglamentos en materia de RSU consideran más principios de la LGPGIR muestran mejores niveles de desempeño en el manejo integral de los RSU, y son, además, los reconocidos por sus *buenas prácticas*.

En la “organización administrativa”, el mejor desempeño en el manejo de los residuos sólidos urbanos se logró con un área de RSU muy alejada de la influencia del presidente municipal, aunque como revela el caso de Irapuato, también de *buenas prácticas*, proteger estas áreas significa mantener al personal en sus puestos y no interferir con sus curvas de aprendizaje. Los municipios con desempeños deficientes adolecen de rotación de personal en mandos medios y superiores en cada cambio de administración municipal. Los municipios con *buenas prácticas* cuentan con personal más capacitado y *ad hoc* a sus puestos, así como con mejores resultados en el manejo integral de los RSU. En relación a los “recursos financieros”, el análisis reveló que el manejo de los residuos sólidos urbanos mejora cuando los gobiernos locales cuentan con mayor independencia financiera, pues los casos con *buenas prácticas* poseen mayores ingresos propios que sus pares. El caso de Celaya nos muestra que la sola asignación de recursos no garantiza que se mejore el manejo de los RSU, ya que cuenta con más ingresos que su par Irapuato pero mantiene un bajo desempeño local en el manejo de los RSU. Lo mismo



que Naucalpan, ayuntamiento con mayor presupuesto per cápita de 2008 y que en nivel de desempeño se encuentra por debajo de los tres municipios con *buenas prácticas*. La utilización de recursos federales que se ofrecen de manera específica para el manejo de los residuos sólidos (Programa Hábitat, Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social Municipal, créditos de BANOBRAS, entre otros) se asocia con mejores niveles de desempeño en el manejo integral de los RSU. Irapuato, Coatzacoalcos y Toluca evidenciaron más transferencias de recursos financieros específicos para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos.

Finalmente, se concluye que la “participación ciudadana” es otro factor institucional que fomenta mejores niveles de desempeño en el manejo integral de los RSU. Los municipios con *buenas prácticas* cuentan con más programas sociales en materia de residuos sólidos urbanos que son implementados con recursos financieros de fondos federales.

REFERENCIAS

1. Alho, J.M., O. Kolehmainen y P. Leskinen (2001) “Regression methods for pairwise comparisons data” en Schmoldt, D.L., J. Kangas, G.A. Mendoza y M. Pesonen, *The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making*, Holanda, Kluwer Academic Publishers.
2. Cabrero, E. (2005) *Acción pública y desarrollo local*, México, Fondo de Cultura Económica (FCE).
3. Campbell, D. (1999) “Guest editorial: institutional development for waste management in developing countries” en *Waste Management & Research*, Vol. 17, pp. 1-3.
4. ENGM (2004) *Encuesta Nacional de Gobiernos Municipales*, México, Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
5. Folz, D. (2004) “Service quality and benchmarking the performance of municipal services” en *Public Administration Review*, Marzo/Abril, Vol. 64, Núm. 2, pp. 209-220.
6. Guillén, T., L. González y P. Rojo (2007) *Premio Gobierno y Gestión Local 2006. Gobierno de proximidad. La capacidad y el ingenio de la gestión local mexicana*, México, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), Secretaría de Gobernación (SEGOB) y El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).
7. Gutiérrez, V. (2006) *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
8. Hernández Samperi, R., C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio (2003) *Metodología de la investigación*, México, Tercera edición, McGraw-Hill.
9. Nuortio, T., J. Kytöjoki, H. Niska y O. Bräysy (2006) “Improved route planning and scheduling of waste collection and transport” en *Expert Systems with Applications*, Vol. 30, pp. 223-232.
10. Rodríguez-Lepure, A.L. (2008) *Gestión local e intergubernamental de los residuos sólidos urbanos. Una evaluación de las “buenas prácticas” en los municipios mexicanos*, Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Norte, A.C. En español.
11. Wilson, E.J., F.R. McDougall, y J. Willmore (2001) “Euro-trash: searching Europe for a more sustainable approach to waste management” en *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 31, pp. 327-346.

Desarrollo de un modelo para estimar biogás a partir de características de lixiviados obtenidos a escala laboratorio.

M. C. Mañón-Salas¹, L. Márquez-Benavides², M. C. Hernández-Berriel³

1. Universidad de Baja California, Mexicali, B. C. N.
Calle de la Normal S/N, Insurgentes Este, Cp. 2100
consuelomanon@yahoo.es

2. Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Av San Juanito Itzicuaró S/N, Col. San Juanito Itzicuaró, Morelia, Mich. C.p.58302
lvazquez@zeus.umich.mx, (443) 3.34.04.75 ext 116

3. Instituto Tecnológico de Toluca
Av. Instituto Tecnológico s/n, Ex-Rancho La Virgen
Metepéc, Estado de México, México, C.P. 52140
hberriel_1999@yahoo.com

RESUMEN

Los rellenos sanitarios (RESA) son una alternativa para el tratamiento de los residuos sólidos (RSU), que al ser depositados en el RESA sufren una serie de cambios biológicos, químicos y físicos de manera simultánea. Esta información puede recopilarse “in situ”, pero existen una serie de factores (costo, tiempo) que no la hacen una opción muy viable. Por lo que existe un gran interés en el uso de herramientas que proporcionen información mediante la experimentación con modelos.

Este trabajo describe el desarrollo de modelos mediante análisis multivariado, técnica que facilitó el entendimiento de las relaciones existentes entre las variables y su influencia en el proceso de biodegradación. Los datos se obtuvieron como resultado de un diseño experimental con duración de 38 semanas, en el que se cargaron ocho biodigestores a escala laboratorio (BLAB) con RSU del Municipio de Pátzcuaro, Michoacán. Se analizaron características de los lixiviados (pH, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos volátiles totales (SVT), conductividad eléctrica (CE) y volumen recirculado dos veces por semana), bajo dos diferentes tasas de recirculación (60 y 70 %Hbh). Los modelos fueron elegidos mediante el cálculo del error cuadrático (RMSE) a un intervalo de confianza del 95%.

Palabras clave: Residuos sólidos urbanos, análisis multivariado, modelos.

INTRODUCCIÓN

Una vez depositados los residuos sólidos urbanos (RSU), preferentemente en un relleno sanitario (RESA), su impacto en el ambiente se debe a la degradación que sufre la materia orgánica contenida en los residuos, generando como productos biogás y lixiviados [14]. El biogás contribuye al efecto invernadero del planeta pues contiene principalmente CH_4 y CO_2 [7,13].

Una manera de estudiar lo que ocurre dentro de un sitio de disposición, es mediante la simulación del proceso de degradación de la materia orgánica en los RSU. Por lo que es necesario contar con modelos empíricos o fenomenológicos que describan el comportamiento y la evolución de los RSU en diferentes condiciones experimentales que semejen las reales; ya que el estudio “in situ” se complica debido a factores de costo, tiempo y de seguridad [8, 9 y 16].

Se han realizado una serie de estudios sobre el modelado de la degradación anaerobia de los RSU y la estimación de sus productos (biogás) en diversas partes del mundo, sin embargo, en México son escasos los trabajos sobre parámetros de operación y control que permitan mejorar la disposición y estabilización de los RESA [6]. Aunado a esto, cuando se usan modelos propuestos por países altamente industrializados se dificulta la generación de resultados aplicables a países en vías de desarrollo, debido a que existen diferencias significativas en la composición y el manejo de los residuos en países de América Latina [3].

La degradación anaerobia es un proceso complejo, que puede definirse como la acción de los microorganismos en ausencia de oxígeno, para la estabilización de materiales orgánicos mediante su conversión a CH_4 y otros productos orgánicos incluyendo el CO_2 . Que este proceso se produzca dependerá de condiciones ambientales, de una población adecuada de microorganismos, de la distribución y disponibilidad de nutrientes, y del contenido de humedad en los residuos del propio RESA [4, 17, 18 y 19].

Se dio seguimiento al proceso de biodegradación de los RSU, a través del análisis de las características de los lixiviados, los parámetros que se consideraron en el experimento fueron, el potencial de hidrógeno (pH) cuyo objetivo fue medir la acidez de los lixiviados, la conductividad electrolítica (CE), expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Los Sólidos Totales (ST) definidos como la suma de los sólidos suspendidos totales, sales disueltas y materia. Los Sólidos volátiles totales (SVT) representan la porción de materia orgánica e inorgánica que puede volatilizarse por el efecto de la calcinación a 550°C . Demanda química de oxígeno (DQO) cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte [15]. El presente trabajo describe el desarrollo de modelos, mediante análisis de regresión múltiple, método que facilitó la selección de las variables independientes, además del estudio simultáneo de la relación que guardan entre si. En este análisis se tiene como variable dependiente al metano (CH_4), y como variables independientes, las variables pH, CE, ST, SVT y DQO.

METODOLOGÍA

En este trabajo, se consideraron los pasos sugeridos por Naylor et al., [12] para el desarrollo de un modelo (Figura 1), empleando para su formulación, técnicas de análisis multivariado y para su evaluación, la metodología propuesta por Acevedo [1]. A continuación se detalla cada uno de los pasos.



Figura 1. Metodología para el desarrollo de los modelos según Naylor

a) Formulación del problema

Los datos empleados para el desarrollo de los modelos, se obtuvieron de un diseño experimental completamente aleatorio. Dicho experimento consistió en dar seguimiento a la degradación que sufre la fracción orgánica de los RSU del Municipio de Pátzcuaro, Michoacán, bajo 2 diferentes regímenes de humidificación (60, 70 %Hbh) con dos repeticiones para cada tratamiento. La operación de los biodigestores a escala laboratorio (BLAB) se realizó a lo largo de nueve meses, con recirculación de sus lixiviados dos veces por semana, excepto los 2 controles.

El sistema modelado (Figura 2), quedó constituido por un conjunto de características relacionadas entre si por medio del proceso de biodegradación de los RSU. Definiendo como entradas las características de los RSU (compactación, composición y material de cobertura) y el volumen de lixiviados recirculados correspondiente a los regimenes de humidificación establecidos, y como salidas, los RSU descargados (composición), volumen de lixiviado y producción de metano. Los lixiviados después de ser caracterizados, se mezclaban con los lixiviados existentes en los vitroleros para ser nuevamente recirculados, convirtiéndose así, en una nueva entrada para el sistema.

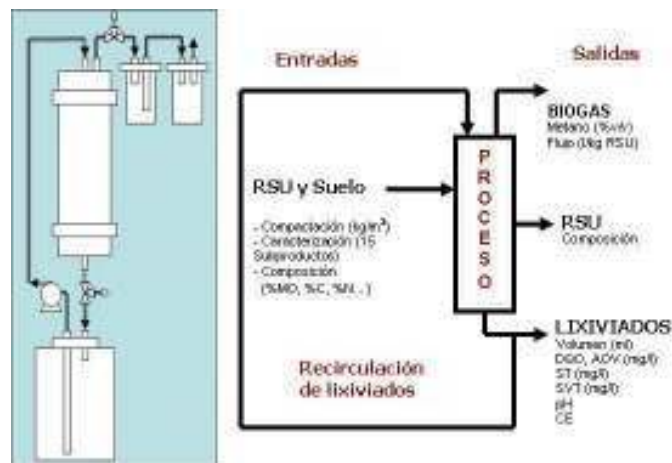


Figura 2. Esquema del sistema de biodegradación a modelar

b) Recolección y procesamiento de los datos

Los datos se obtuvieron conforme a los periodos de muestreo y análisis establecidos para los RSU cargados y descargados en los BLAB, así como para los lixiviados a lo largo del experimento. Una vez terminada la recolección de la información esta fue depurada, con el fin de buscar y corregir inconsistencias que pudieran ocasionar datos duplicados o incorrectos en la base de datos. Para ello se aplicaron dos controles de calidad durante el proceso. Ambos controles permitieron garantizar la correspondencia

entre la información contenida en las fuentes originales y los datos capturados [2]. El diseño de la estructura de la base de datos se llevó a cabo mediante un sistema manejador de bases de datos (SGBD) de tipo relacional (Microsoft Access 2003), una vez terminado el diseño de la estructura de la base de datos, se procedió a la importación de los datos.

Para realizar el procesamiento de la información, se preparó una matriz de datos por medio de consultas que fueron diseñadas desde el SGBD, éstas se emplearon con Statgraphics Plus, en el que llevo a cabo el análisis exploratorio de los datos. Seguidamente se efectuó el análisis univariado, para ello se emplearon técnicas estadísticas tales como: medidas de tendencia central, de variabilidad y diagramas de caja [10, 11]. Se uso el estadístico (z) para evaluar normalidad, si el valor calculado de z excedía el valor crítico de ± 1.96 , que corresponde a un nivel de error del 0.05, se verificaba que la distribución no era normal. El estadístico z fue calculado con el valor de curtosis (K) y el tamaño de la muestra N utilizando la formula (1).

$$z = \frac{K}{\sqrt{24 / N}} \quad (1)$$

Posteriormente se llevó a cabo el análisis multivariado por medio del análisis de ANOVA. Para ello se formularon las hipótesis estadísticas (H_0 y H_a), éstas se verificaron por medio de la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 95%. Finalmente se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para determinar el grado de asociación entre las variables analizadas, se generó la matriz de correlación y los gráficos de dispersión.

c) Formulación del modelo con técnicas estadísticas

El objetivo de emplear el modelo de regresión múltiple, fue el de obtener una ecuación que permitiera estimar el valor de la variable dependiente o criterio Y una vez conocidos los valores de las variables independientes o predictoras X_1 , X_2 .. y X_n . La dificultad fundamental que se planteó a la hora de construir el modelo multivariante fue la selección de las variables independientes a incluir, de tal manera que permitieran estimar el mejor modelo posible a partir de los datos bajo estudio, proporcionando predicciones más fiables y más acertadas, como es el caso para los modelos predictivos. Un modelo de regresión múltiple se representa por medio de la ecuación (2).

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2)$$

Siendo a, b_1 , b_2 ... y b_n constantes que representan el termino independiente de la ecuación y los pesos proporcionales atribuidos a cada una de las variables X_1 , X_2 y X_n en la anticipación funcional de obtención de la variable Y. Este modelo se basa en una serie de supuestos (linealidad, independencia, normalidad, homocedasticidad y no-colinealidad) que deben ser verificados al desarrollar el modelo.

El criterio que se uso en la selección de las variables, fue el criterio de significación, que consistió en incorporar al modelo aquellas variables que contribuyeran de forma significativa al ajuste del modelo. La contribución individual de las variables se estableció contrastando el coeficiente de correlación parcial y la hipótesis de independencia entre cada variable y la variable dependiente. Se incorporaron al modelo, las variables con un nivel de significancia de p-valor<0.05 (probabilidad de entrada), y quedaron fuera del modelo las variables con un p>0.10 (probabilidad de salida). La

variable se incorporó al modelo si el valor del estadístico F utilizado para contrastar la hipótesis de independencia era $F > 3.84$ (valor de entrada) y quedo fuera si el valor del estadístico era $F < 2.71$ (valor de salida). Cabe mencionar que se usaron otros estadísticos en la selección de variables, tal fue el caso del contraste t, permitió decidir si una variable era o no significativa, en función del valor de t. Si $t > 2$ se decidió que la variable era significativa. Si $t < 2$ la variable no era significativa. Finalmente todos los estadísticos coincidieron en intentar maximizar el ajuste del modelo de regresión, utilizando el mínimo número posible de variables. Para la selección de los modelos se considero el principio de parsimonia, este recomienda elegir el modelo más sencillo y que necesite el menor número de suposiciones para su construcción.

El método empleado, fue la regresión "stepwise", conocida como regresión por pasos, es una versión modificada del proceso de regresión hacia adelante en la que en cada nuevo paso, cuando se incluye una nueva variable, se verifican los valores de sus estadísticos, además se reconsidera el mantener las que ya se habían añadido previamente, es decir que no sólo puede entrar una nueva variable en cada paso sino que puede salir alguna de las que ya estaban en la ecuación. El proceso finaliza cuando ninguna variable de las que no están en la ecuación cumple la condición para entrar y de las incorporadas a la ecuación ninguna cumple la condición para salir [5]

d) Evaluación del modelo

A los modelos seleccionados se les evaluó conforme a lo sugerido por Acevedo [1], mediante el cálculo del error cuadrático, también conocido como la raíz cuadrada de la media del error al cuadrado (RMSE), está proporciona la medida de las diferencias en promedio entre los valores estimados y los observados (Ecuación 3).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\varphi_i - \varphi_{iobs})^2}{N}} \quad (3)$$

Donde:

φ_i Valor pronosticado

φ_{iobs} Valor observado

N Número de datos analizados

El cálculo de la RMSE debe realizarse con datos diferentes a los utilizados para su calibración. Por lo que la muestra fue dividida a la mitad, la primera sirvió para generar los modelos y la otra mitad para su evaluación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados que se presentan en esta sección corresponden al análisis univariante de cada uno de los factores estudiados (pH, SVT, ST, CE, DQO y CH₄), además del análisis multivariado realizado con el fin de descubrir la posible relación entre la variable dependiente y las variables independientes.

a) Análisis univariado

En la tabla 1 en la segunda columna se muestra la media (μ), la tercera muestra la desviación estándar (σ), la cuarta tiene el coeficiente de variación (cv) y finalmente en la quinta el valor de curtosis (K), este ultimo permitió verificar el supuesto de

normalidad (ecuación 2) para cada una de las variables en los dos tratamientos bajo estudio (60 y 70 %Hbh). Cabe aclarar que los periodos seleccionados coinciden con los periodos de producción de metano, comprendido entre la humificación 16 a la 66. Los resultados mostraron que existe una mayor dispersión de los datos en el tratamiento al 60 %Hbh con respecto al 70 %Hbh, este último presentó una distribución con menos variabilidad. Las variables que presentaron un reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales fueron Ch₄, pH, SVT y DQO en el tratamiento al 60% Hbh, en cambio las variables CH₄, pH y CE en el tratamiento al 70%. En cambio presentaron un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales ST y CE en el tratamiento al 60% y ST, DQO y SVT al 70%. En ambos tratamientos, se observó que las variables con menor variabilidad fueron: pH, ST y CE. El test z permitió verificar que los datos cumplieran el supuesto de normalidad.

Tabla 1. Resultado de los estadísticos para los tratamientos

Variables	60 % Hbh				70 % Hbh			
	μ	σ	cv	K	M	σ	cv	K
Metano	0.39	0.25	63.78	-1.79	0.66	0.37	56.3	-1.60
pH	6.56	0.71	11.37	-1.31	6.72	0.49	7.55	-0.76
ST	1.62	0.69	47.6	0.68	1.68	0.38	22.6	1.05
CE	0.62	0.40	64.7	1.60	0.75	0.37	49.3	-0.91
DQO	1475	1566	106.2	-0.32	835.4	755	90.36	1.67
SVT	0.61	0.49	81.6	-0.41	0.49	0.31	63.02	0.25

K=Curtosis cv=coeficiente de variación μ =Media σ =Desviación estándar

Debido a que cada uno de los tratamientos se realizó por duplicado, se evaluó primeramente la hipótesis nula ($H_0 = u_1 = u_2$) para verificar que no existieran diferencias significativas entre las repeticiones en cada uno de los parámetros por tratamiento y la hipótesis alternativa ($H_a = u_1 \neq u_2$) que al menos en una variable existían diferencias significativas en la repetición a un nivel de confianza del 95%. Después de realizar el análisis de ANOVA y considerando que el nivel de significancia de las variables analizadas fue mayor a 0.05, se aceptó la H_0 y se rechazó la H_a , concluyendo que no existían diferencias significativas entre las repeticiones de cada una de las variables por tratamiento a un nivel de confianza del 95%. En la tabla 2 se muestran los resultados del estadístico F y el nivel de significancia (p-value), obtenidos en el análisis de ANOVA.

Tabla 2. Análisis de ANOVA para cada una de las repeticiones

Var. Indep.	60 %Hbh		70 %Hbh	
	F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
pH	0.51	0.88	0.4504	0.6747
CE	0.12	0.12	0.9462	0.9452
ST	0.15	0.15	0.9270	0.9285
SVT	0.15	0.15	0.9287	0.9278
DQO	0.06	0.04	0.9881	0.9828

Posteriormente se verificó la hipótesis nula, de que no existían diferencias significativas entre los tratamientos en cada una de las variables ($H_0 = u_{60} = u_{70}$), a un nivel de confianza del 95%. En la tabla 3 en la segunda columna se detallan los resultados del estadístico F, en la tercera el nivel de significancia y en la cuarta columna se registró si existieron diferencias significativas en las variables involucradas. Se observó que la

variable CH₄ fue la única que presentó diferencias significativas con respecto al tratamiento, por lo que se consideró la adición de la variable independiente humedad (HUM), en el diseño del modelo.

Tabla 3 Resultado del análisis de ANOVA

VARIABLES	F	p-value	Diferencias entre tratamientos
Metano	5.99	0.0186	60-70
pH	1.54	0.2209	Ninguna
ST	0.27	0.6044	Ninguna
CE	0.37	0.5436	Ninguna
DQO	2.29	0.1380	Ninguna
SVT	1.44	0.2369	Ninguna

Se generó la matriz de correlación para cada par de variables, con el fin de establecer el grado de asociación existente entre las variables independientes con respecto a la variable dependiente CH₄. En la tabla 4 se observa una correlación lineal positiva en el caso de pH con un $r > 0.8$ y negativa con el resto de las variables, por otro lado correlaciones menos acentuadas se dan con SVT, DQO y CE (figura 3) con un $r > 0.7$ y una muy baja correlación con ST ($r < 0.1$). Se observa una fuerte correlación entre las variables independientes DQO, pH, CE y SVT esto puede ocasionar problemas de colinealidad y reducir el valor predictivo de las variables independientes.

Tabla 4. Matriz de correlación de las variables bajo estudio

N=44	Metano	pH	ST	CE	DQO
pH	0.8567				
ST	-0.5775	-0.8346			
CE	-0.7940	-0.9034	0.9067		
DQO	-0.7583	-0.9253	0.8871	0.8761	
SVT	-0.7997	-0.9636	0.9028	-0.9636	0.9641

Por lo que fue necesario evaluar el supuesto de colinealidad, por medio del coeficiente de correlación parcial de las variables independientes DQO y SVT, considerando a DQO como variable dependiente y SVT como variable independiente, se obtuvo un coeficiente de correlación parcial de $r = 0.96$ y un coeficiente de determinación ajustado de $R^2 = 92.59$, lo cual confirma la existencia de una relación lineal entre ambas variables independientes, significa que la variable SVT explica el 92% de la variabilidad de DQO, razón por la cual se decidió eliminar la variable SVT por problemas de colinealidad.

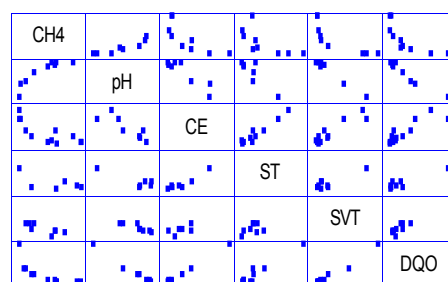


Figura 3. Diagrama de dispersión de la matriz de correlación

b) Análisis multivariado

Siguiendo con la metodología en la selección de variables, se obtuvieron las ecuaciones de regresión simple, para cada una de las variables independientes con respecto a CH₄, se selecciono la variable independiente con mayor coeficiente de correlación parcial, pH tuvo un $r=0.856$ y un $R^2=72.05$, por lo que fue la primera variable seleccionada. Consecuentemente se fueron agregando al modelo, el resto de las variables independientes, con el fin de encontrar la siguiente variable que permitiera explicar la mayor parte del error que quedaba de la anterior ecuación de regresión, para ello se examino el valor del coeficiente de determinación R^2 . En la tabla 5 se muestran los valores de r y R^2 calculados, al incluir las variables independientes, se observa que al agregar ST en la ecuación, está explica el 77% de la variación total de CH₄, con un error de precisión de 0.18 en las predicciones. Cuando se agrega CE se incrementa el R^2 , esto significa que la inclusión de esta variable permite explicar un 7% más de la variabilidad del CH₄, además de que hay un ligero descenso del error de estimación, se observa que al agregar la variable DQO, el R^2 tiene un ligero incremento apenas del 1% sin descenso en el error estándar, considerando el principio de parcimonia y la simplicidad del modelo, se sugiere eliminar la variable DQO en el diseño del modelo. Al considerar la humedad (HUM), como variable independiente se tuvo un incremento del 9% del R^2 , y una ligera reducción del error estándar, sin embargo la variable pH mostró un descenso en su nivel predictivo, obteniendo los mismos valores para R^2 que al incluirla, por lo que se considero generar un modelo para el caso de incluirla y otro no incluyéndola.

Tabla 5. Análisis de la selección de variables independientes

	pH-ST	pH-ST-CE	pH-ST-CE-DQO	pH-ST-CE-HUM	ST-CE-HUM
R^2	79.61	87.05	88.13	94.37	94.04
R^2 Ajustada	77.47	84.89	85.33	93.05	93.05
Error estándar de estimación	0.18	0.14	0.14	0.10	0.10

Las pruebas t y sus niveles críticos permitieron contrastar la hipótesis nula de que un coeficiente de regresión vale 0, esto indica la ausencia de relación lineal, de modo que los coeficientes significativamente distintos de cero informan sobre que variables son relevantes en la ecuación de regresión, con respecto al error estándar de los coeficientes, entre más pequeño significa predicciones más seguras (Tabla 6). Observando el nivel crítico asociado a cada prueba t, se observa que todas poseen coeficientes significativamente distintos a cero y sus $p\text{-value} < 0.05$. Todas ellas por tanto contribuyen de forma significativa a explicar lo que ocurre con la variable dependiente.

Tabla 6. Niveles críticos de las variables seleccionadas

Parámetros	Coeficientes	Error Estadístico		
		Estándar	T	P-Value
CONSTANT	-3.03214	0.87087	-3.48174	0.0027
pH	0.48752	0.116298	4.19202	0.0005
ST	0.56267	0.130103	4.3248	0.0004
CE	-0.72379	0.225045	-3.21622	0.0048

El estadístico F contrastó la hipótesis nula de que todos los coeficientes de regresión son ceros y por tanto permite decidir si existe relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables independientes tomadas juntas. En la tabla 7 se

observa un valor de $F=40.36$ es mayor que el valor crítico de tabla con 3 y 18 grados de libertad al nivel de 1% (8.49), de modo que se puede concluir de que hay evidencia suficiente en los datos, para rechazar la hipótesis nula de que no existe relación lineal. Lo anterior puede verificarse mediante el valor del nivel crítico con $p\text{-value}=0.000$, demostrando que si existe una relación estadísticamente significativa entre la variable CH_4 y las variables pH, ST y CE a un nivel de confianza del 99%. Este mismo análisis se realizó considerando la variable humedad (HUM), encontrando un incremento en F (71.37) y una disminución en su valor predictivo en la variable pH de $p\text{-value}=0.0005$ a de $p\text{-value}=0.3277$.

Tabla 7. Análisis de varianza para el modelo de regresión múltiple

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Modelo	2.67663	3	0.892211	40.36	0.0000
Residual	0.397948	18	0.0221082		
Total (Corr.)	3.07458	21			

El primer supuesto que se verificó fue la linealidad, a través de los gráficos de dispersión y de residuos. En la figura 4 puede confirmarse, que no hay pauta no lineal entre los residuos, lo que asegura que la ecuación considerada es lineal, asimismo se verificó esta relación con el resto de las variables independientes y la variable CH_4 .

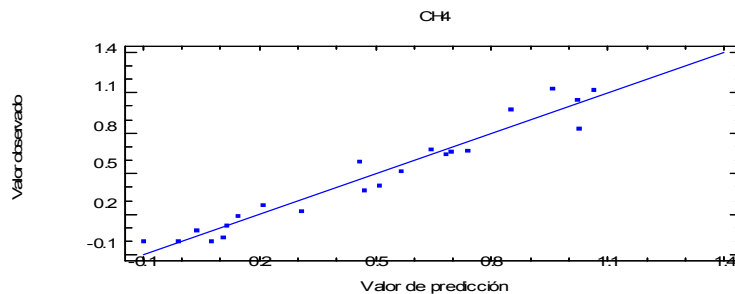


Figura 4. Gráfico de dispersión y residuos de la variable CH_4

El siguiente supuesto verificado fue la homocedasticidad, este supuesto hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Este supuesto se analizó mediante un examen de los residuos (figura 5), el cual no mostró una pauta de aumento o disminución en los residuos.

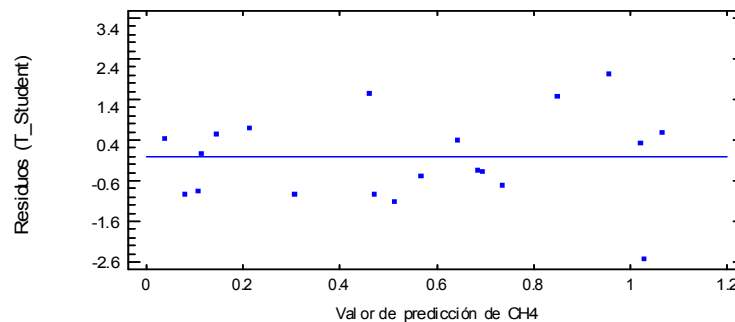


Figura 5. Gráfico de dispersión de residuos (t-student) Vs valor de predicción

El último supuesto que se verificó fue la normalidad del término del error del valor teórico con un examen visual de los gráficos de probabilidad normal de los residuos. Como se muestra en la figura 4 los valores se sitúan a lo largo de la diagonal sin alejamientos sustanciales o sistemáticos, por tanto se considera que los residuos representan una distribución normal.

c) Validación del modelo

Al modelo fue evaluado conforme a lo sugerido por Acevedo [1], el cálculo de la RMSE se realizó con la mitad de los datos experimentales, separados con el fin de evaluar el modelo. Cabe señalar que de la totalidad de los datos, la mitad se usó para diseñar el modelo y la otra mitad para validarlo. En la tabla 8 se presentan los modelos seleccionados como resultado del análisis, en el primero no se considera la variable HUM, en el segundo se considera pH y HUM, y en el tercero se elimina la variable pH y se deja HUM, a los tres se les calculó el RMSE. Se los resultados obtenidos el modelo dos, obtuvo el menor RMSE, sin embargo su diferencia es mínima (± 0.004) con respecto a los otros modelos, que no consideran a pH o HUM.

Tabla 8. Modelos seleccionados y su RMSE calculado

No	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	RMSE
1	$CH_4 = -3.03214 + 0.487523 \cdot pH + 0.56267 \cdot ST - 0.723794 \cdot CE$	0.125
2	$CH_4 = -2.11334 + 0.112908 \cdot pH + 0.537473 \cdot ST - 1.23602 \cdot CE + 0.028973 \cdot HUM$	0.119
3	$CH_4 = -1.55847 + 0.528255 \cdot ST - 1.38224 \cdot CE + 0.03338 \cdot HUM$	0.129

En la figura 6 se graficaron los resultados obtenidos por el modelo número 1 contra los datos reales, en este modelo no se incluyó la variable HUM, se muestra un $R^2=0.88$, esto significa que el modelo tiene una medida de bondad de ajuste del 88%. La figura 7 presenta la comparación de los datos generados mediante el segundo modelo, el cual incluye tanto pH como HUM, tiene un ajuste del 89%, finalmente la figura 8 presenta los datos generados por el modelo tres, este no incluye la variable pH, tuvo un ajuste del 87%.

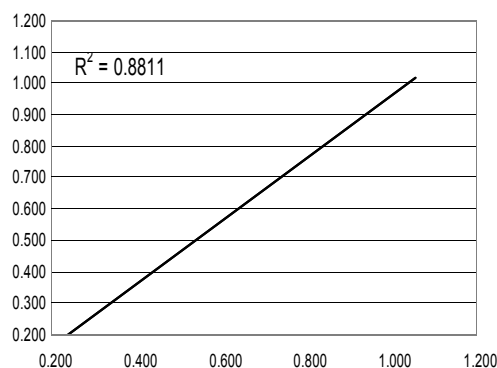


Figura 6. Gráfica comparativo entre valores reales y estimados de CH_4 por el modelo 1

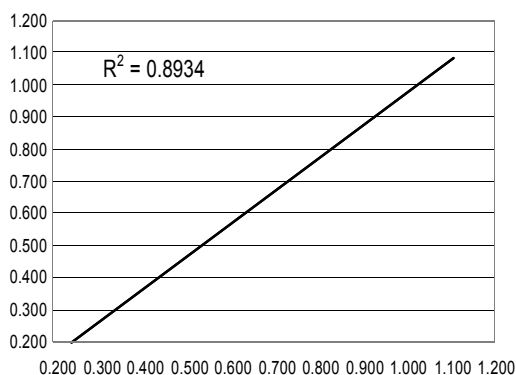


Figura 7. Gráfica comparativo entre valores reales y estimados de CH_4 por el modelo 2

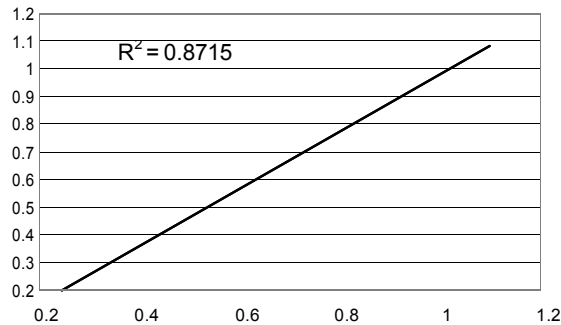


Figura 8. Gráfica comparativo entre valores reales y estimados de CH₄ por el modelo 3

CONCLUSIONES

- De entre los modelos desarrollados, se seleccionaron los mejores con respecto a sus valores de R^2 , coeficientes de correlación y errores cuadráticos; corroborando que valores de R^2 cercanos a la unidad corresponden a errores pequeños.
- Las técnicas de análisis de regresión múltiple en presencia de variables cuantitativas continuas, permitieron establecer modelos capaces de estimar la generación de metano, con una bondad de ajuste del 88%.
- El modelo que mostró mejor ajuste fue el que consideraba tanto el pH como la humedad con apenas el 1% de diferencia, en este caso se debe considerar la importancia del principio de parcimonia.
- Deben considerarse una serie de factores al momento de seleccionar las variables independientes, ya que son de suma importancia para obtener un buen modelo predictivo, es de gran utilidad la participación de un experto en el área bajo interés.
- El análisis estadístico exploratorio univariado y multivariado permitió comprender las características básicas de los datos disponibles y de sus posibles relaciones.
- Modelar el sistema de biodegradación no es una tarea fácil, debido a la influencia y a la variabilidad que presentan los parámetros relacionados durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a CONACYT, por el generoso financiamiento otorgado mediante la beca número 252887, a la M.C. María del Consuelo Hernández Berriel por su invaluable apoyo para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- ¹ Acevedo, F. M. (2005) Environmental Modeling. Notas del primer curso vía video conferencia. University of North Texas y Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Edo de México.
- ² Bonillo M. A. (2003) Sistematización del proceso de depuración de los datos en estudios con seguimiento. Departamento de psicobiología y metodología de las ciencias de la salud. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Barcelona, España: 44-98
- ³ EPA, Environmental Protection Agency (1991). Regulatory Package for New Source Performance Standards and III Guidelines for Municipal Solid Waste Air Emissions. Public Docket No. A: 88-09
- ⁴ El-Fadel M., Findikakis A. and Leckie J. (1996) Temperature effects in modelling solid waste biodegradation. Environmental Technology : 17 915-935.
- ⁵ Hair J.J., Anderson R.E., Tatham R.L., and Black W.C. (1999) Análisis Multivariante 5ª ED. Prentice Hall España. ISBN: 978-84-8322-035-1

- ⁶ Hernández-Berriel Ma. del C., L. Márquez-Benavides, Ma.del C. Mañón-Salas, O. Buenrostro-Delgado and R. Alfaro-Cuevas-Villanueva. (2008). Municipal Solid Waste Anaerobic Degradation Under Two Different Leachate Recycling Regimes. Proceedings the Twenty-Third International Conference on Solid Waste Technology and Management. March 30- April 2, 2008. Philadelphia, PA U.S.A. pp 1097-1108.
- ⁷ Hilal Y. and Sami A. (2003) Modelamiento of anaerobic decomposition of solid wastes. Energy Sources, Volume 25, Number 11: 1063-1072
- ⁸ Kylefords, K. (2002) Predictions of leaching from municipal solid waste (MSW) and measures to improve leachate management at landfills. Doctoral Thesis. Department of Environmental Engineering Division of Waste Science & Technology. Luleå University of Technology SE-971 87 Luleå, Sweden, Ingles p 134-167.
- ⁹ Lobo García de Cortazar A. (2003) Desarrollo de MODUELO 2: herramienta para la evaluación de la contaminación producida en vertederos de residuos sólidos urbanos. Tesis doctoral. Depto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, España, p 226-251.
- ¹⁰ Montgomery (2003) D. Diseño y análisis de experimentos. Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. España: 154-192
- ¹¹ Navidi W. (2006) Estadística para ingenieros. Editorial McGrawHill. México: 527-566
- ¹² Naylor T. H. y col. (1982). Técnicas de Simulación en Computadoras. Quinta reimpresión. Editorial Limusa, México.
- ¹³ Nayla R., Cahuich P., Sauri Riancho M., Castillo Borges E. y Méndez_ Novelo R. (2005) Monitoreo de emisiones de metano y bióxido de carbono en un relleno sanitario. Memorias del Primer Congreso Interamericano de Residuos. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, A. C. (FEMISCA). Sección Mexicana de la AIDIS, Mérida, Yucatán, México. :1-12
- ¹⁴ Otero P. L. (1992). Residuos Sólidos Urbanos. Editorial MOPT, Madrid
- ¹⁵ 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.
- ¹⁶ Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S. (1993) Integrated Solid Management, Engineering Principles and Management issues. Chapter 11. Disposal of Solid Wastes and Residual Mater. McGraw-Hill, California, USA, p 476-477.
- ¹⁷ Vavilin V., Rytov S., Pavlostathis S. and Barlaz M. (2003) Distributed model of solid waste anaerobic digestion: effects of leachate recirculation and pH adjustment. Biotech. Bioengn : 81 66-73
- ¹⁸ White, J., Robinson, J. and Ren, Q. (2004) Modelling the biochemical degradation of solid waste in landfills. Waste Management research: 24(3) 227-240
- ¹⁹ Zacharof, A. and Butler, A. (2004) Stochastic modelling of landfill leachate and biogas production incorporating waste heterogeneity. Model formulation and uncertainty analysis. Waste Management 2004: 24(5) 453-462

NOTACION

BLAB	Biodigestores a escala laboratorio
CO ₂	Bióxido de carbono
r	Coefficiente de correlación
R ²	Coefficiente de determinación
CE	Conductividad electrolítica
DQO	Demanda química de oxígeno
Ha	Hipótesis alternativa
Ho	Hipótesis nula
CH ₄	Metano
pH	Potencial de hidrógeno
RESA	Relleno sanitario
RMSE	Raíz cuadrada de la media del error al cuadrado
RSU	Residuos sólidos urbanos
SVT	Sólidos volátiles totales
ST	Sólidos Totales



RELACIÓN SOCIEDAD-AMBIENTE EN LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

C. E.Saldaña-Durán¹, G. Bernache-Pérez², Téllez-López³

1. Universidad Autónoma de Nayarit

Cd. De la Cultura Amado Nervo, Tepic, Nayarit, C.P. 63190
cesduran@nayar.uan.mx, (311) 2 11 88 00 ext 8757

2. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social de Occidente

Av. España 1359 Col. Moderna, Guadalajara, Jalisco, C.P. 44190
gbernache@yahoo.com.mx, (33) 32 68 06 00

3. CUCOSTA Universidad de Guadalajara

Av. Universidad 203 Delegación Ixtapa Puerto Vallarta, Jalisco, C.P. 48280
jorget@pv.udg.mx, (322) 226 22 01

RESUMEN

La alta producción de residuos es un grave problema ambiental en las ciudades, ocasionando mayor demanda sobre el servicio de aseo público, reto que ha sido constante para los gobiernos locales responsables de su manejo. La compleja realidad social, requiere de analizar el problema de la irracional relación con la naturaleza, en una sociedad en constante producción económica, consumista y generadora de enormes cantidades de desechos, lo que establece un gran reto determinar dicha relación. Se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo manifiesta su comportamiento la sociedad con relación al ambiente en el ámbito de los residuos urbanos? La estrategia metodológica se basa en la aplicación de una encuesta que se estructura sobre el ciclo dinámico de las etapas de los residuos que son la generación, recolección, transporte, disposición final y degradación ambiental. Los que se analizan bajo las siguientes categorías, conocimiento del problema de los residuos urbanos, percepción del problema ambiental, conocimiento de la gestión de los residuos, información, participación social y socio demográficos. Los resultados indican la existencia de conducta proambiental que puede contribuir en la toma de decisiones para la solución del problema de la alta producción de residuos.

Palabras clave: Ambiente; Gestión; Residuos Sólidos Urbanos; Sociedad.



INTRODUCCION

El desarrollo y el avance cada vez más rápido de la industrialización han llevado a las ciudades a un proceso de urbanización que las hace generadoras de una serie de conflictos internos. El crecimiento de las actividades económicas en las ciudades requiere de un consumo alto de energía que tiene como resultado una producción elevada de residuos que degradan el ambiente. Existe un enfoque que postula que el desarrollo económico es bueno para el ambiente, y ha sido definido como el tipo de desarrollo sostenible.

Esta idea fue difundida en un informe por la Comisión Mundial sobre el Ambiente y el Desarrollo (un informe de la ONU dirigido por el Primer Ministro Noruego Gro Harlem Brundtland denominado la Comisión Brundtland) según la cual: "Desarrollo sostenible" es *"aquél desarrollo que satisface la necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras"* (Jiménez, 2002).

La alta producción de residuos se ha convertido en un gran problema ambiental en la ciudad para el acontecer diario de las sociedades. Como resultado se tiene una mayor demanda sobre el servicio de limpia desafío para los gobiernos locales que son responsables de su manejo. Aunque la solución más sencilla para la basura en el hogar es sacarla a la calle, una vez puesta en la calle, nada parece más fácil para la autoridad municipal que llevarla a un tiradero y enterrarla.

La gestión en el manejo y control de los residuos sólidos urbanos es complejo debido a la variedad y cantidad de residuos, a un sistema de recolección ineficiente, a la inadecuada disposición final, al desarrollo urbano, bajos presupuestos asignados al manejo de los residuos, impactos al ambiente, la falta de participación ciudadana, y los patrones de consumo de la sociedad ((Bernache *et al.* 1998).

Los rezagos de residuos que no son recolectados en las ciudades por la falta de una buena recolección, ocasiona que una cantidad significativa de estos residuos sean dispuestos en tiraderos clandestinos, lotes baldíos, barrancas y cauces de arroyos sin ningún control (SEMARNAP-INE, 2001). El indicador básico de la eficiencia en el manejo de los residuos sólidos urbanos, es la cobertura en la recolección (Bernache, 2006).

Poco se ha explicado en este fenómeno sobre el conocimiento de la relación sociedad ambiente en la gestión de los residuos sólidos urbanos, determinantes para instrumentar estrategias de participación social para la reducción de la alta producción de residuos.



Esto permite formular la siguiente pregunta:

¿Cómo manifiesta su comportamiento la sociedad con relación al ambiente en el ámbito de los residuos sólidos urbanos?

Esta generación de problemas urbanos en las ciudades es el resultado de fenómenos sociales que se gestan dentro de estos espacios, lo que implican relaciones políticas y un marco jurídico-institucional mediante el cual se regulan y controlan los procesos de la apropiación de los recursos naturales y la perturbación en los procesos ecológicos (Schteingart, 2001).

De acuerdo con la perspectiva ambiental, debe necesariamente analizarse el comportamiento sistémico de la ciudad, sobre la base de sus flujos tanto de personas como de insumos, productos y residuos. Estos desafíos ambientales en las ciudades nacen de la necesidad de potenciar los recursos existentes y re direccionar la expansión urbana minimizando su costo ecológico (Giglo, 2006).

Por otro lado las aportaciones fundamentales de la teoría de la modernización ecológica al análisis de la relación entre sociedad y medio ambiente, dedica especial atención a los factores socioculturales subyacentes al proceso de transformación de las sociedades industriales tras la crisis ecológica, y a prestado especial atención al fenómeno de la mejora de las condiciones medioambientales. Esta perspectiva destaca que las respuestas de las sociedades avanzadas a la crisis medioambiental pasan por una reforma de las instituciones modernas a través de una mayor modernización (Dunlap, 2002).

La relación sociedad ambiente desde la perspectiva de Gallopín (2000) se concibe, espacial y temporal, como una serie de procesos dinámicos, altamente complejos y retroalimentados que involucran, por un lado: a grupo sociales con relación de poder asimétricos y variados matices culturales, que interactúan en múltiples situaciones donde persiguen sus intereses; y por otro los sistemas y componentes de la biosfera que son intervenidos y perturbados directa e indirectamente con diferentes intensidades, en múltiples situaciones y acciones recíprocas humanas. Estos procesos se derivan de patrones de conducta social, alteraciones en las propiedades, en la estructura y comportamiento de los sistemas y componentes del medio biofísicogenerados.

En este contexto se fundamento el discurso muy puntual hacia el ambiente, concentrado en un núcleo sobre la crisis ambiental actual que vive la humanidad. Las críticas a estas aproximaciones se sustentan en que, como lo menciona Leff (2004), la racionalidad ambiental reconstruye al mundo desde la re significación de la naturaleza por la cultura,

que aborda las relaciones entre instituciones, organizaciones, prácticas, y movimientos sociales que atraviesan el campo conflictivo de lo ambiental.



En Tepic, en el Estado de Nayarit, ciudad media, el problema de la alta producción de residuos sólidos urbanos se manifiesta, a través del costo alto de la disposición de los residuos y un problema para la gestión municipal. La cobertura del servicio de recolección es ineficiente, los recursos son escasos, la disposición final es incontrolada lo cual tiene efectos ambientales graves, por lo tanto las ineficiencias se observan en los servicios públicos. Esto tiene como consecuencias la proliferación de fauna nociva, malos olores, deterioro de la imagen de la ciudad y del contexto urbano, por lo tanto enfermedades a la población.

METODOLOGIA

En los estudios cualitativos, el procedimiento usual es aplicar un instrumento o método de recolección de datos, éstos se recolectan con la finalidad de analizarlos para obtener información relevante y así responder a preguntas de investigación o generar conocimiento (Hérrnandez, Fernandez y Baptista, 2007).

En el diseño del estudio se empleó la encuesta como la técnica más utilizada en los procedimientos de investigación en las ciencias sociales, por que se trabaja bajo un esquema de relación de cara a cara con los sujetos de estudio, en el trabajo esta técnica ha sido fundamental, al reflejar la realidad del problema planteado a través de datos objetivos y subjetivos.

La encuesta se aplicó a los habitantes en la ciudad de Tepic que fueron seleccionados al azar bajo un esquema estratificado por AGEBS. La cual proporcionó datos sobre la generación, recolección y disposición final en el manejo de los residuos sólidos urbanos. Se diseñaron 23 *items* bajo las variables de investigación: percepción del problema ambiental, conocimiento del problema de los residuos, participación social, y conocimiento de la gestión de los residuos urbanos.

En total la encuesta tiene 26 *items* que llevados a la base de datos de los 170 encuestados hacen un total 4420 informes incorporados a la base de datos elaborada con ayuda del programa estadístico SPSS versión 10.

Respecto a la distribución de la muestra se utilizó el AGEB. Según el II Censo de

población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI, se cuenta en la ciudad

con 134 AGEBS urbanos. De estos AGEBS se tomaron 10 elegidos al azar y, de cada AGEB, se enumeraron las manzanas y se eligieron al azar 17 manzanas (Tabla 1).



Tabla 1.- Distribución de la muestra según el AGEB elegido.

<i>AGEB</i>	<i>cantidad de manzanas</i>	<i>Manzanas elegidas al azar</i>	<i>Colonias encuestadas</i>
1.- 022-4	41	2, 34, 31, 21, 20, 40, 8, 30, 38, 28, 7, 37, 14, 15, 35, 32,19	Col. San José, Col. Magisterial, Col. Chapultepec
2.- 162-7	52	16, 18, 43, 34, 2, 46, 19, 22, 9, 48, 41, 39, 35, 49, 47, 21,8	Col. Bethel, Col. Valle de Nayarit
3.- 032-8	48	39, 22, 32, 37, 12, 48, 23, 13, 42, 18, 19, 40, 5, 47, 9, 3, 44,	Col. Las Aves, Unidad habitacional Esteban Calderón, Centro
4.- 076-0	58	22, 47, 10, 60, 54, 59, 30, 52, 40, 45, 51, 26, 35, 29, 16, 15, 12,	Col Infonavit los Fresnos
5.- 204-2	43	11, 12, 25, 39, 35, 26, 10, 28, 3, 31, 30, 16, 34, 17, 43, 29, 14	Col. Lagos de Aztlan, Fracc. Villas del Nayar, Col. Ferrocarrileros, Fracc. Los Limones
6.- 126-0	44	8, 18, 14, 44, 35, 30, 22, 33, 45, 37, 12, 4, 26, 19, 43, 38, 5	Fracc. Cd. Del Valle
7.- 077-5	61	10, 61, 26, 38, 16, 14, 18, 15, 3, 50, 28, 33, 43, 31, 9, 25, 34	Col. Prieto Crispin.
8.- 194-7	15	3, 13, 8, 9, 10, 11, 12, 2, 1, 7, 6, 5, 15, 4, 14	Fracc. Pedregal de San Juan
9.- 174-A		1, 2, 3	Col. Ampliación Paraiso
10.- 090-0	19	41, 27, 25, 3, 28, 9, 29, 6, 7, 32, 35, 44, 40, 45, 37, 23, 2	Col. Pedregal, Col. Alemania, Col Nueva Alemania

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



La síntesis de la variable conocimiento de los residuos sólidos urbanos muestra que más de la mitad de los encuestados están consientes del manejo y la gestión con los residuos urbanos (Tabla 2).

Tabla 2.- Síntesis de las preguntas sobre el conocimiento del problema de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Tepic, en 2007.

Generación	Recolección	Disposición final	Subjetividad
- El 50.6 % conoce el tipo de material que desecha (plástico).	- El 61% manifestó que diariamente la tira.	- El 64.1 % considera que es normal la cantidad de basura que tira.	- El 73.5 % no ha hecho nada por disminuir la basura.
	- El 68.2 % comentó que es material que sirve para la industria.	- El 62.4% dice que dispone diariamente (tiraderos) no es la adecuada.	- El 65.3 % está consiente de los problemas que causa la basura.
	- El 88,8 % dice que guarda la basura en su casa hasta que pase el camión recolector.	- El 61.2 % comenta que la basura ocasiona contaminación.	- El 84.1% dice que le da mucha importancia al problema.

En la síntesis de la variable la percepción del problema ambiental se observó que tiene un alto porcentaje respondió con 90% tiene una percepción hacia el medio ambiente, lo que se traduce como existe una preocupación y percepción de la gravedad. Con un 50% le concede mayor importancia a problemas específicos, el 28.2% considera que el problema ambiental global más importante es la destrucción de la capa de ozono, y el 3% le da menos importancia a la desaparición de especies.

En cuanto al problema de la situación ambiental a nivel local el 58.8% opina que es regular, un 21.2% comenta que es buena, el 18.2% que es mala y el 1.8% no lo supo.

En la síntesis de la variable del conocimiento de la gestión de los residuos sólidos urbanos se observó altos porcentajes de conocimiento (Tabla 3).

Tabla 3.- Síntesis del conocimiento de la gestión de los residuos sólidos urbanos.

<i>Recolección</i>	<i>Responsabilidad</i>	<i>Programas estrictos</i>	<i>Opción de mejora el servicio</i>
- El 37.6 %, 17.6 % y 16.5 % le dieron el valor de 8, 9 y 10 respectivamente.	- El 47.6 % manifestó la responsabilidad de todos. - El 45.9 % responsabilidad de las personas.	- El 97.1 %, 17.6 % respondieron que sí a la implementación de programas estrictos.	- El 42.4 % menciona sobre la aplicación de multas y sanciones. - El 24.7 % implementar, multas, programas de educ. ambiental, e infraestructura.

Síntesis de la variable la información ambiental en la gestión de los residuos sólidos urbanos, muestra que la mayoría de los encuestados no están informados (Tabla 4).

Tabla 4.- Síntesis de la variable información ambiental.

Medios de información	Programas ambientales	Funciones de los CAC
- El 58.8 %, y 21.2 % se informas a través de la TV y radio respectivamente	- El 54.1 dice que no. Y el 40.0 % responde que sí.	- El 47.1%, responde que no conoce las funciones.

La síntesis de la variable de participación ambiental en la gestión de los residuos sólidos urbanos muestra que gran parte de los encuestados están dispuestos a participar en las cuestiones ambientales (Tabla 5).



Tabla 5.- Síntesis de la variable de participación ambiental.

Participación en programas ambientales	Participación en programas sociales	Participación futura
- El 102 frecuencia (60%) no ha participado.	- El 133 frecuencia (78.2%) no ha participado.	- El 99 de frecuencia (58.2%) participación futura en reciclaje y 29 de frecuencia (17.1%) colaboración futura en ambiente.

El análisis de cómo se relaciona la sociedad con el ambiente en el ámbito de los residuos sólidos urbanos, con respecto a los diferentes niveles de percepción al problema se identifican como conceptos fundamentales de valor y ética. En este sentido Irwin (2002) reconoce que las nociones medioambientales son una cuestión de supuestos sociales y opciones sociales que abre perspectivas para una sostenibilidad como parte de la superación de valores humanos y no humanos y futuros socio/naturales.

En el caso de la percepción ambiental, información y participación ciudadana, se encontró que los resultados son relevantes. El 90% de la población encuestada le da un valor a los principales problemas ambientales en el mundo y 60 % desconoce programas ambientales. La conducta ambiental está más relacionada con los valores y aspiraciones que orientan la vida de una persona (entorno), que con la información específica disponible en relación con el medio ambiente (Corraliza y Martín, 2000).

El muestreo para la determinación del conocimiento que tiene la población sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos permite tener un grado alto de comprensión de la forma de recolección, de la responsabilidad compartida del problema, de la necesidad de implantar programas, opción de mejora en el servicio (multas y sanciones) en la solución del problema de los residuos. Baldi y García (2006), destaca la actitud hacia la conservación del medio ambiente según lo define, está compuesta por las creencias o cogniciones que se mantienen al respecto, el efecto que se tiene hacia el entorno natural y el comportamiento ecológico.

La participación ciudadana, por su parte, mostró que el 58.2% tiene la intención de participar en programas para el reciclaje de residuos. En relación con estos conceptos J.



D. Tabara (2001) comenta que cada grupo social se caracteriza por disponer de un conjunto de conocimientos, expectativas, e intenciones que influyen en sus percepciones del espacio, el tiempo y los recursos naturales.

Las actitudes ambientales son la base para que el individuo decida dónde quiera vivir, y si se encuentra satisfecho o no con el ambiente donde habita. Las actitudes conforman, a vez, las opiniones que se tiene sobre la protección del ambiente natural y conservación de los recursos, influyendo en muchas de sus decisiones individuales. Más sin embargo, expresa Aragonés (2006), “resulta significativo que el comportamiento humano aparezca como problema ambiental, porque si bien podría entenderse que ciertos problemas sociales son causa o efecto del deterioro ambiental, no parece que conductas explícitas como la ausencia de reciclaje o la falta de conciencia ambiental sean problemas ambientales en sí mismos. Quizá, la idea utópica que está subyaciendo en los entrevistados es que si todos los seres humanos fueran ecológicamente responsables no habría problemas ambientales”.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de datos permitieron dar respuesta a la pregunta de investigación, para llegar a la siguiente conclusión.

Es así como se parte del hecho de que la sociedad tiene el conocimiento y la percepción del problema ambiental que ocasiona la alta producción de residuos sólidos urbanos en las ciudades. Que son originados por nosotros por naturaleza sociales generadores de cambios ambientales, es decir satisfacer necesidades, lo que se debe trabajar en originar responsabilidad ante el problema.

Por lo que resulta interesante es que el estudio predice que existe una conducta proambiental y en mayor medida de la intención de realizarla. Este esquema establece la existencia de una responsabilidad ética de proteger el ambiente, más el individuo no asume su responsabilidad por la falta de implicación en acciones individuales y colectivas. Para que este deber moral tenga alguna efectividad, debe ser el fundamento de determinadas políticas públicas en la gestión de los residuos sólidos urbanos y esto significa tener voluntad política suficiente para que se concrete a través de programas específicos como el reciclaje y la separación de residuos.

AGRADECIMIENTOS



Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP). A la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN). A los estudiantes de servicio social del programa educativo de Ciencias de la Educación de la UAN. A la población de Tepic, misma que sin su apoyo no habría sido posible realizar la investigación.

REFERENCIAS

1. Aragónes, J. I. *et al.* Cuestiones ambientales que se perciben como problemas. *Medio ambiente y comportamiento humano* [en línea] 2006, 7(2), [citado 20 junio 2006]. Disponible en Internet: http://webpages.ull.es/users/mach/PDFS/Vol7_2/Vol7_2_a.pdf. ISSN 1576-6462
2. Baldi, L. G., García, E. Q. Una aproximación a la psicología ambiental. *Fundamentos en humanidades*. Universidad Nacional de San Luis [en línea]. 2006, año VII, No.I [citado 5 diciembre 2007], p. 157-168. Disponible en Internet: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2309513>.
3. Bernache, G., *et al.* Basura y Metrópoli. *La gestión social y pública de los residuos sólidos en la zona metropolitana de Guadalajara*. 1º. ed. México: U de G, ITESO, El Colegio de Jalisco y CIESAS, 1998. ISBN 960-6255-13-3.
Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental. 1ª. ed. México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, 2006. 551 p. ISBN: 968-496-604-0
4. Corraliza, J. A. y Martín R. Estilos de vida, actitudes y comportamientos ambientales. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*. [en línea] 2000, 1(1) [citado 5 diciembre 2007], p. 31-56. Disponible en Internet: http://webpages.ull.es/users/mach/PDFS/VOL1_1/VOL_1_1_c.pdf. ISSN 1576-6462.
5. Dunlap, R. E. Evolución de la sociología del medio ambiente: breve Historia y valoración de la experiencia Estadounidense. En M. Redclift y G. Woodgate (Coordinadores), *Sociología del medio ambiente. Una perspectiva internacional*. 1º ed. en Español. España: Mc Graw-Hill. 2002. p. 509. ISBN: 84-481-3656-X.
6. Gallopín, G. Ecología y ambiente en E. Leff (Coordinador), *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. 2º. ed. México: Siglo Veintiuno editores. 2000. P. 126-172. ISBN. 968-23-2277-4
7. Giglo, N. Estilos de desarrollo y medio ambiente en América Latina, un cuarto de siglo después. *Serie medio ambiente y desarrollo 126*. CEPAL. [en línea]. Mayo 2006. [citado 23 enero 2007]. Disponible en Internet: www.cepal.org ISSN electrónico 1680-8886 ISBN: 92-1-322908-9
8. Hernández, S. R., Fernández, C. C. & Baptista, L.P. (2006). Diseños de investigación. En: *Metodología de la investigación*. 4º. ed. México: McGraw-Hill, 2006. P. 157-234.



- ISBN: 970-10-5753-8.
9. Irwin, A. Riesgo, medio ambiente y conocimientos medioambientales. En M. Redclift y G. Woodgate (Coordinadores), *Sociología del medio ambiente. Una perspectiva internacional*. 1º ed. en Español. España: Mc Graw-Hill. 2002. p. 223-233. ISBN: 84-481-3656-X.
 10. Jiménez, H. L. La Estrategia Española de Desarrollo Sostenible. *Cuadernos de Sostenibilidad y Patrimonio Natural* [en línea]. 2002, No.1 [citado 2 diciembre 2005], p. 52-76. Disponible en Internet:
http://www.fundacionglobalnature.org/proyectos/humedales/%20CuadernosSostenibilidad_1.pdf
 11. Leff, E. Racionalidad Ambiental. 1º. ed. México: Siglo Veintiuno Editores, 2004. ISBN: 968-23-2560-9
 12. Schteingart, M. Los servicios urbanos en el contexto de la problemática ambiental. En M. Schteingart, y L. d'Andrea (Compiladores). *Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente*. 2º. Ed. México: Centro de estudios demográficos y de desarrollo urbano, El Colegio de México. 2001. p. 58-69. ISBN 9681204891.
 13. Tabara, D. *Opinión pública y medio ambiente*. Monografías de educación ambiental. El estudio de la percepción social del medio ambiente. 1º. Ed. España: SCEA y SBEA, 2006. ISBN 978-84-7827-436-7