

# LOS residuos como recurso



**Título de la obra:** Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos

**Subtítulo:** Los residuos como recurso

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

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

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

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

## **Información Legal**

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

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

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

## COMITÉ TÉCNICO CIENTÍFICO

### COMITÉ NACIONAL

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

### COMITÉ INTERNACIONAL

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

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

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

## EDITORIAL

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

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

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

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

Dra. Sara Ojeda Benítez  
PRESIDENTA DE SOMERS

## **CONTENIDO**

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

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

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

# **Valorización de residuos plásticos post-consumo en Nanchital, Veracruz**

<sup>1</sup> Alethia Vázquez-Morillas, <sup>2</sup>Margarita Beltrán-Villavicencio, <sup>3</sup>Rosa María Espinosa Valdemar, <sup>4</sup>Maribel Velasco Pérez, <sup>5</sup>Juan Carlos Álvarez Zeferino, <sup>6</sup>Alfredo de Jesús Meza Solana, <sup>7</sup>Antonio Santos Souza Galvao

<sup>1-4</sup> Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. Departamento de Energía. Área de Tecnologías Sustentables.  
Av. San Pablo 180, México, DF. 02200 México. Correo: alethia@correo.azc.uam.mx.

<sup>5</sup> Universidad Autónoma de Baja California – Instituto de Ingeniería, UABC, Boulevard Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, C.P. 21280 Mexicali, Baja California, México.

<sup>6-7</sup> Braskem Idesa, Perif. Blvd. Manuel Ávila Camacho 36, Lomas - Virreyes, 11000 Ciudad de México

## **Resumen**

En 2016, como parte de su política de sustentabilidad, BRASKEM IDESA decidió generar un diagnóstico de residuos plásticos post-consumo en el municipio de Nanchital, con el fin de obtener información que permitiera desarrollar un proyecto de valorización en la región. A través de un estudio desarrollado por la Universidad Autónoma Metropolitana se cuantificó el volumen de residuos plásticos no valorizados, se analizó su manejo y reciclaje en la región y se evaluaron distintas opciones para su aprovechamiento. Se encontró que en el municipio se generan aproximadamente 34 toneladas de residuos de PET y polietileno de alta densidad al mes que podrían ser recuperados, pues actualmente no son separados por los generadores, y aunque existe pepena en el sitio de disposición final, ésta no es eficiente. Estos materiales actualmente no son recuperados debido a la falta de mecanismos de reciclaje en la región, y al bajo precio de compra para los materiales, que oscila entre \$1.50 y \$2.00 por kilogramo. Con base en las condiciones de la gestión local de residuos sólidos urbanos, el mercado de reciclaje en el municipio y la percepción de la población, se decidió iniciar un programa de educación ambiental y acopio de envases de PET y polietileno de alta densidad en las 35 instituciones educativas del municipio, que agrupan a 6544 estudiantes, tomando en cuenta que en solo seis de las escuelas existe en la actualidad un programa de este tipo. En este artículo se describe el desarrollo de este proceso.

**Palabras Clave:** *PET, polietileno, reciclaje, acopio*

## **1. Introducción**

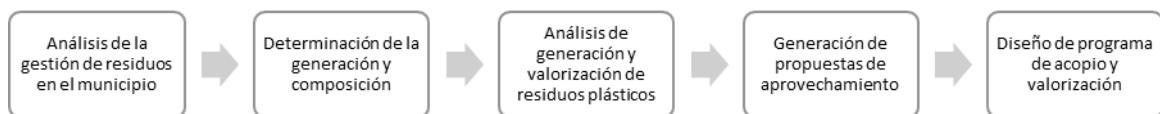
El municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, en Veracruz de Ignacio de la Llave, tiene una extensión de 30.2 km<sup>2</sup> y una población de 30,039 habitantes. El 70.1% de la población tiene entre 15 y 64 años y el 93.9% habita en localidades urbanas [1]. En el 2015, el 92.8% de la población económicamente activa estaba en condición ocupada, principalmente en los sectores secundario (46.7%) y terciario (49.3%) [1]. El grado de marginación del municipio es muy bajo, sin embargo, debido a la estrecha relación con la industria petrolera y a los cambios en la misma, la región enfrenta una desaceleración económica.

En septiembre de 2016 la empresa BRASKEM IDESA, cuya planta de producción de polietileno se ubica en el municipio de Nanchital, solicitó al área de Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, la realización de un estudio en el que se generara una propuesta para la valorización de residuos plásticos en el municipio.

En este documento se describe el desarrollo de este proyecto, desde las etapas iniciales de análisis de la gestión de residuos en el municipio, hasta la concepción de un programa de acopio y valorización de residuos plásticos post-consumo.

## 2. Metodología

Este proyecto inició en septiembre de 2016. El trabajo de campo se desarrolló directamente en el municipio, y las actividades experimentales en el laboratorio de Tecnologías Sustentables de la UAM-Azcapotzalco. Se dividió en etapas, que se ilustran en la Figura 1.



**Figura 1.** Etapas de desarrollo del proyecto

### 2.1 Análisis de gestión de residuos en el municipio

Se realizó a partir de información obtenida en entrevistas, encuestas, visitas de campo e investigación bibliográfica.

### 2.2 Determinación de generación y composición

Los encargados del servicio de limpia han realizado mediciones previas de la capacidad, en toneladas, de los distintos vehículos, y llevan un registro diario para cada uno de ellos. La generación de residuos sólidos urbanos se determinó a partir de la información proporcionada por las autoridades del municipio, específicamente de los datos correspondientes a los meses de enero, febrero, mayo y junio de 2016. La generación diaria correspondiente a cada mes se obtuvo con la ecuación 1. El dato de población se obtuvo del conteo intermedio del INEGI, que indica que en el municipio contaba con 30,039 habitantes en 2015 [2].

$$Generación_{diaria} = \frac{\sum \text{recolección}_{diaria}}{\text{días del mes}} \quad (1)$$

Los valores obtenidos en los cuatro meses fueron promediados para obtener un solo valor representativo, empleando la ecuación 2.

$$Generación_{diaria} = \frac{generación_{diaria}_{mes}}{4 \text{ meses}} \quad (2)$$

Posteriormente se calculó la generación per cápita diaria, con la ecuación 3.

$$\text{Generación per cápita} = \frac{\text{generación diaria}}{\text{habitantes}} \quad (3)$$

El estudio de composición de los residuos se realizó los días 9 y 10 de noviembre de 2016. Debido a la falta de condiciones adecuadas para llevar a cabo un muestreo en los puntos de generación o en el sitio de disposición, se optó por hacer un estudio a pie de camión, es decir, en los vehículos que realizan la recolección en los domicilios.

La selección de vehículos se hizo con base en los estratos socioeconómicos que componen la población, utilizando como referencia la clasificación por ventaja relativa que propone INEGI [3]. En el municipio de Nanchital el 60.8% de la población se encuentra en los tres sectores de mayor ventaja relativa, el 38.7% en los dos sectores intermedios y sólo el 0.5% en los dos sectores de menor ventaja relativa. Con base en lo anterior se decidió tomar tres muestreos en vehículos de zonas que atienden los estratos de mayor ventaja relativa y dos en vehículos provenientes de las zonas con ventaja relativa intermedia. En cada vehículo se tomaron muestras de residuos, generalmente contenidos en bolsas de plástico, hasta llenar un tambo de plástico de 200 L. Los residuos posteriormente fueron pesados en una báscula de  $500 \pm 0.2$  kg de capacidad. Se registró su masa y se colocaron en un área con superficie de cemento para posterior utilización.

El peso volumétrico de las dos muestras se midió con base en la NMX-AA-019-1985, Peso volumétrico in situ [4]. El procedimiento se repitió tres veces con distintas porciones de residuos para obtener un promedio. Para obtener una muestra representativa se utilizó el método NMX-AA-015-1985, Método de cuarteo de residuos sólidos municipales [5]. La muestra de 50 kg obtenida por el método de cuarteo se separó y clasificó en diferentes subproductos, en bolsas rotuladas para tal fin, tal como indica la norma NMX-AA-022-1985 [6]. La lista de subproductos separados se modificó para adaptarla a las condiciones actuales de composición de residuos y a las necesidades de este estudio. Una vez clasificados los subproductos se pesaron en una báscula de 30 kg de capacidad marca ADAN. Para determinar la fracción de cada subproducto, se utilizó la ecuación 4.

$$\% \text{ subproducto}_i = \frac{\text{masa subproducto}_i}{\text{masa total}} \times 100 \quad (4)$$

### 2.3 Análisis de la generación y valorización de residuos plásticos

Para identificar y cuantificar la presencia de los diferentes plásticos en los residuos sólidos urbanos del municipio, se separaron los residuos de la categoría “Plásticos” encontrados en los muestreos. Con el fin de garantizar la seguridad e higiene en su manejo, los residuos fueron lavados con agua y jabón, posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, en donde se procedió a su identificación.

La clasificación de los residuos se realizó inicialmente con base en el código de identificación de los materiales, que en ocasiones se encuentra impreso o grabado en los artículos de plástico. Una vez que se separaron los residuos sin código, se procedió a identificar aquéllos cuyo material se conocía, con base en la experiencia o por referencias. Finalmente se sometió a una prueba de flama y una evaluación de características físicas a los residuos aún no identificados, con lo que, en la mayoría de los casos, fue posible identificar la resina predominante en los mismos. La proporción de cada categoría de residuos plásticos se determinó con relación a la masa total de residuos plásticos.

Posteriormente se calculó la proporción que cada tipo de residuo plástico representa en la masa total de residuos sólidos urbanos de cada uno de los muestreos. Finalmente se calculó un valor promedio para la masa de cada tipo de residuo plástico considerando los dos muestreos, y con base en ello se determinó la proporción promedio para cada material en los residuos sólidos urbanos del municipio.

El estado de la valorización de residuos plásticos en el municipio se analizó a partir de encuestas entre los pobladores, entrevistas con autoridades y recicladores informales.

## **2.4 Generación y evaluación de propuestas de valorización**

Con base en los resultados obtenidos, la gestión de residuos en el municipio y las opciones de valorización disponible, se generaron tres propuestas, buscando cumplir con los siguientes objetivos, en orden de prioridad establecido por BRASKEM IDESA:

### *General*

Incrementar la valorización de residuos plásticos post-consumo en el municipio de Nanchital

### *Específicos*

- Establecer un programa de acopio de residuos plásticos post-consumo viable, arraigado en la comunidad y estable
- Contribuir al desarrollo social en la región de influencia de BRASKEM IDESA
- Promover la educación ambiental y la gestión adecuada de residuos en el municipio

## **3. Resultados y discusión**

A continuación se describen los resultados de este proyecto, para el periodo comprendido entre septiembre de 2016 y enero de 2018.

### **3.1 Análisis de gestión de residuos en el municipio**

En Nanchital el gobierno municipal está a cargo de todas las actividades relacionadas con el manejo de los residuos sólidos urbanos. El servicio de limpia pública cuenta con 80 trabajadores y 6 vehículos para la recolección, que se realiza de lunes a sábado en rutas fijas. Adicionalmente se cuenta con barrenderos que también recolectan residuos; ambas actividades generan una cobertura de recolección del 90%. En contraste con lo que ocurre en la mayor parte del país, no existe la figura de “voluntario” en la recolección.

La totalidad de los residuos recolectados se deposita en el sitio de disposición final “Santa Elena”, con una antigüedad aproximada de 20 años, y que se estima pueda seguir recibiendo residuos 20 años más. Este sitio incumple con la mayor parte de la legislación ambiental vigente y genera impactos ambientales significativos en su entorno. En el lugar opera un sindicato de pepenadores, compuesto aproximadamente por 20 integrantes, incluyendo mujeres y niños. Éstos recolectan en el sitio envases de aluminio y plástico. El líder de los pepenadores compra de forma exclusiva el material recuperado. De acuerdo a estimaciones realizadas por el gobierno municipal se recuperan aproximadamente 9 t/mes de residuos valorizables.

### **3.2 Determinación de generación y composición**

La generación de residuos se presenta en la Tabla 1. El valor obtenido para la generación *per cápita* es elevado si se compara con el valor promedio nacional reportado en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos [7], que es de 0.852 kg/hab/día, y todavía más alto al considerar su procedencia que corresponde a la región.

**Tabla 1.** Generación de residuos en el municipio de Nanchital

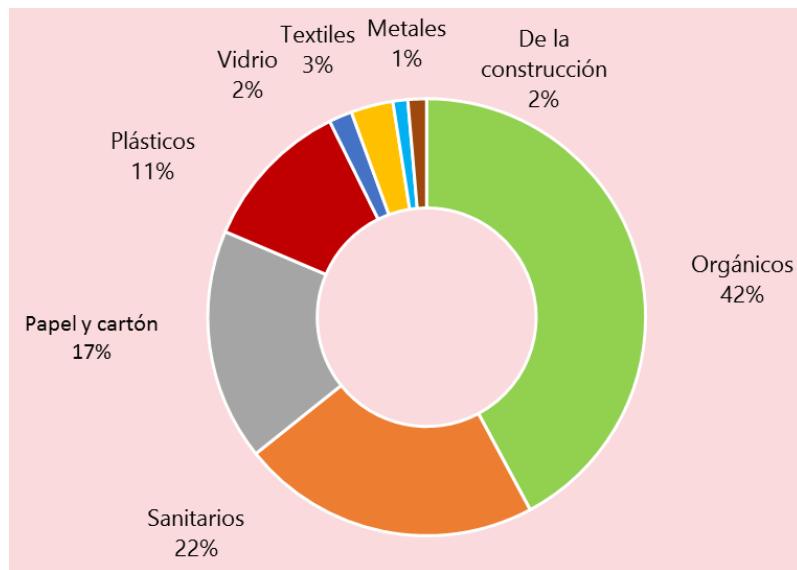
Mes	Generación diaria (toneladas/día)
Enero 2016	46.25
Febrero 2016	54.82
Mayo 2016	47.55
Junio 2016	39.16
Generación diaria	$43.45 \pm 3.53$
Generación <i>per cápita</i>	1.457 kg/hab/día

Los resultados de peso volumétrico presentaron una variación significativa en los dos muestreos (Tabla 2). Se observa un incremento significativo, superior al 73%, del peso volumétrico del segundo día con respecto al primero. Esta diferencia se relaciona con un contenido más alto de humedad en el segundo día. La noche anterior al segundo muestreo llovió y, dado que la gente suele dejar los residuos fuera de su casa para su recolección, estos se humedecieron considerablemente. El valor del primer muestreo se acerca al reportado a nivel nacional que es de 153.12 kg/m<sup>3</sup> [7].

**Tabla 2.** Peso volumétrico de los residuos

Fecha de muestreo	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )
9 de noviembre	$180.2 \pm 16.8$
10 de noviembre	$312.4 \pm 4.3$

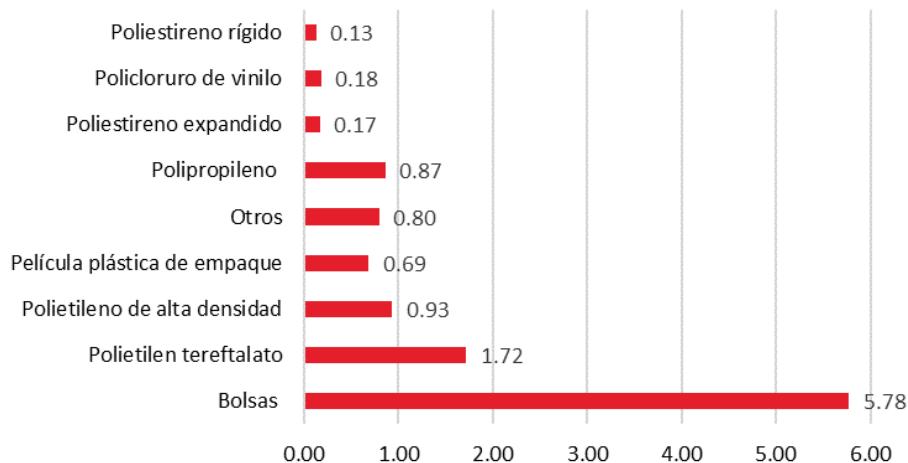
La Figura 2 presenta la composición promedio de los residuos, en términos porcentuales. Se observa que los residuos orgánicos, con el 41.6%, conforman la mayor proporción de los residuos, seguidos del papel higiénico (14.1%), plásticos (11.2%), cartón (10.5%), pañales desechables (6.9%), papel periódico y de estraza (4.5%), que juntos constituyen el 88.8% de los residuos. Esta composición es similar a los valores reportados como promedios a nivel nacional [7].



**Figura 2.** Composición promedio de los residuos sólidos urbanos

### 3.3 Análisis de la generación y valorización de residuos plásticos

Los resultados de estas mediciones para los dos muestreos que se llevaron a cabo se presentan en la mostraron que el residuo plástico predominante son las bolsas de plástico, que representan entre el 3.3 y el 7.9 % de los residuos sólidos urbanos. Le siguen en importancia los envases de PET, con proporciones de 1.33 y 2.21 %. La Figura 3 muestra el valor promedio para la masa de cada tipo de residuo plástico considerando los dos muestreos. A partir de ese dato se determinó la proporción promedio para cada material en los residuos sólidos urbanos del municipio de Nanchital.



**Figura 3.** Proporción de residuos plásticos en residuos sólidos urbanos

El 2.65% tienen potencial de valorización: 1.72% polietilentereftalato (PET) y 0.93% polietileno de alta densidad (PEAD), lo que equivale aproximadamente a 34 toneladas de residuos plásticos que podrían ser

valorizados. Estos materiales actualmente no son recuperados debido a la falta de mecanismos de reciclaje en la región, y al bajo precio de compra para los materiales, que oscila entre \$1.50 y \$2.00 por kilogramo. Con su venta se obtendrían, sin considerar los costos de acopio ni de almacenaje, \$56,230 por mes

Atípicamente, en los camiones recolectores no hay separación de residuos con potencial de valorización. Se sabe, de forma extraoficial, que cuando se implementó esta práctica los pepenadores no permitieron el vertido de residuos en el sitio de disposición final. Además del acopio que se realiza en el tiradero por los pepenadores, existen instituciones educativas que acopian PET para su venta o como parte del programa Eco-reto de ECOCE. También hay particulares que separan envases para su venta. En el municipio existen dos centros particulares de acopio de residuos valorizables, pero solamente uno compra y vende envases plásticos; el centro no proporcionó información sobre el volumen que maneja.

### **3.4 Generación y evaluación de propuestas de valorización**

En Nanchital existen, aunque de forma incipiente, mecanismos para el acopio de residuos de envases de plástico. Sin embargo, no hay coordinación y sistematización de las acciones que llevan a la valorización de éstos. Hay actores importantes, como las autoridades municipales, los comercios (más de 700), los brindadores de servicios y los supermercados, que no participan en la recuperación. Las oportunidades y barreras para la valorización identificadas en este estudio se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Oportunidades y barreras para la valorización de residuos en Nanchital

Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"><li>• Volumen significativo de residuos plásticos con potencial para su valorización (22.42 t/mes de PET y 12.12 t/mes de PEAD)</li><li>• Interés de las autoridades municipales</li><li>• Amplia cobertura del sistema de recolección</li><li>• Aparente interés de la población en participar en la valorización</li><li>• Infraestructura para el acopio de envases en instituciones educativas</li></ul>
Barreras
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo precio de compra de los materiales (\$1.70/kg de PET y \$1.50/kg de PEAD)</li><li>• Existencia de un sindicato de pepenadores y su líder</li><li>• Participación condicionada a obtención de beneficios</li><li>• Competencia con los programas actuales</li><li>• Desaceleración económica</li></ul>

Con base en las condiciones de la gestión local de residuos sólidos urbanos, el mercado de reciclaje en el municipio y la percepción de la población, se evaluó tres diferentes opciones para el desarrollo de un programa de valorización:

- Separación en la fuente y recolección selectiva por parte del municipio
- Mejora en el acopio que se realiza en el sitio de disposición final
- Acopio de residuos plásticos en instituciones educativas

Se eligió iniciar un programa de educación ambiental y acopio de envases de PET y PEAD en las 35 instituciones educativas del municipio, que agrupan a 6544 estudiantes, tomando en cuenta que en solo seis de las escuelas existe en la actualidad un programa de este tipo. El acopio de residuos en centros educativos cumple dos fines principales: la recuperación de los materiales valorizables y la formación ambiental de la comunidad escolar [8]. Esta actividad, si se desarrolla adecuadamente, puede conducir a que los alumnos trasladen a sus hogares lo aprendido en la escuela, involucrando a todo el núcleo familiar en la actividad.

El programa de acopio de residuos plásticos post-consumo desarrollado se denomina PLASTI VALE, y tiene los siguientes objetivos:

#### *Objetivo general*

Contribuir al bienestar de los niños y jóvenes estudiantes del municipio de Nanchital, a través del intercambio de residuos plásticos post consumo por mejoras en el equipamiento escolar y actividades de formación

#### *Objetivos específicos*

- Fomentar la educación sobre la importancia del reciclaje de residuos plásticos, en niños, adolescentes y adultos
- Incrementar la tasa de reciclaje de residuos plásticos valorizables en la región

El objetivo final del programa es contribuir a la construcción de un entorno más sustentable a través de la educación ambiental y de un uso más eficiente de los recursos naturales. Su operación estará inicialmente subsidiada por BRASKEM IDESA, y se espera que en el largo plazo sea autosustentable en el aspecto económico, al incorporar a otro tipo de generadores de alto volumen, como comercios y otros establecimientos.

PLASTI VALE opera a través de la firma de convenios con las instituciones educativas, mediante los cuales éstas se responsabilizan del desarrollo del programa a nivel interno, el nombramiento de un responsable, la promoción entre su comunidad educativa, el mantenimiento de la infraestructura y la entrega de los envases en las condiciones de limpieza y pureza requeridas para su posterior reciclaje. Por su parte, BRASKEM IDESA brindará la capacitación necesaria, entregará los contenedores requeridos para el acopio y se responsabilizará de la recolección oportuna de los residuos. Además, otorgará beneficios en especie a las escuelas en función del cumplimiento de metas pre-establecidas.

A diferencia de otros programas de acopio de residuos plásticos post-consumo, en éste se plantean metas específicas para cada escuela, con base en el número de alumnos. Además, el seguimiento, asesoría y acopio se realizarán de forma local, a través de un coordinador general de la operación del programa contratado *ex profeso* por la empresa para realizar dicha tarea. Los residuos acopiados se entregarán a una cooperativa que se dedicará a la valorización de residuos plásticos.

## **Agradecimientos**

Este proyecto fue financiado por la empresa BRASKEM IDESA. Se agradece el apoyo brindado por las autoridades del municipio de Nanchital, Veracruz, especialmente por: Lic. Brenda Esther Manzanilla Rico, Presidenta Municipal; C. Bertha Inés Gálvez Baruch, Regidora encargada de la Comisión de limpia pública; C. Ana Espinoza Oriza, Regidora encargada de la Comisión de panteones; Sr. Miguel Ángel Leal Castillo, Encargado del servicio de limpia pública; y por el personal de la Biblioteca pública municipal

## **Referencias bibliográficas**

- [1] Gobierno del Estado de Veracruz and Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz, “Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río. Sistema de información Municipal. Cuadernillos Municipales 2016,” 2016.
- [2] INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2014.” p. 1079, 2015.
- [3] INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Regiones socioeconómicas de México.” Aguascalientes, México, p. 79, 2000.
- [4] 1985, “NMX - AA - 019 - 1985. Peso volumétrico in situ.” .
- [5] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, “NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método del cuarteo.” México, 1985.
- [6] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, “NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos.” México, 1985.
- [7] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, “Diagnóstico Básico para la gestión integral de los residuos 2012,” 2013.
- [8] R. M. Espinosa Valdemar, S. Turpin Marion, R. C. Vázquez Solís, A. Vázquez Morillas, A. de la L. Cisneros Ramos, A. de la Torre Vega, and B. A. García García, “La gestión ambiental en una institución de educación superior asociada a las prácticas de separación y recuperación de residuos,” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 29. pp. 49–57, 2013.