



SOMERS

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología
Aplicada a Residuos Sólidos A.C.

Encuentro de expertos en Residuos Sólidos

Residuos sólidos en el México actual

ISSN: 2395-8170

2021

Vol 14, Num. 1

Título de la obra:	Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos
Subtítulo:	Residuos sólidos en el México actual
Compiladores:	Maribel Velasco Pérez, Rosa María Espinosa Valdemar, Sylvie J. Turpin Marion y Alethia Vázquez Morillas
Diseño de portada:	Brenda Esmeralda Cruz Razgado
Crédito de la fotografía de la portada:	Rosa María Espinosa Valdemar
Crédito de la fotografía de la contraportada y Comité técnico científico:	Nancy Merary Jiménez Martínez
Crédito de la fotografía de la Editorial:	María del Consuelo Mañón Salas
Editorial:	Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C. http://www.somers-ac.org

Información legal

ENCUENTRO DE EXPERTOS EN RESIDUOS SOLIDOS, año 14, No. 1, octubre 2020–Octubre 2021, 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, México, C.P. 52227, Tel. (722) 5097824, www.somers-ac.org. Editor responsable: Dra. María del Consuelo Mañón Salas. Reserva de Derechos al uso Exclusivo No. 04-2014-112714070200-203 ISSN: 2395-8170, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C., Dra. Maribel Velasco Pérez, Dra. Rosa María Espinosa Valdemar, Dra. Sylvie J. Turpin Marion y Dra. Alethia Vázquez Morillas, Avenida San Pablo No 180, Colonia Reynosa-Tamaulipas, CP 02200, Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México. Fecha de última modificación, 26 de septiembre de 2021.

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

Dra. Irma Robles Gutiérrez	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. (CIDETEQ)
Dr. Gerardo Bernache Pérez	Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
Dra. María Yolanda Leonor Ordaz Guillén	Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional
Dra. Nancy Merary Jiménez Martínez	Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias CRIM-UNAM
Dra. Elizabeth Turcott Cervantes	Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato
Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo	Universidad Autónoma de Baja California
Dra. Sara Ojeda Benítez	Universidad Autónoma de Baja California
M. en C. Griselda González Cardoso	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Dr. Jesús Barrera Rojas	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Dra. Maribel Velasco Pérez	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Dra. Rosa María Espinosa Valdemar	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Dra. Sylvie Trupin Marion	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Dra. Mónica Eljaiek	Universidad de Cartagena Colombia
Dra. Beatriz Adriana Venegas Sahagún	Universidad de Guadalajara
Dra. Gloria Ines Gonzalez Lopez	Universidad Veracruzana



Editorial

La enorme cantidad de satisfactores que la sociedad actual requiere representa una explotación continua de los recursos naturales, así como la generación de residuos en grandes cantidades. Esto provoca un problema complejo que debe ser atendido, y que tiene raíces históricas, pues los residuos sólidos que generamos constituyen un subproducto de la civilización; en este sentido, a través de la historia los residuos se han visualizado como basura, que carece de valor de uso y de valor de cambio. Sin embargo, si se cambian los paradigmas y son percibidos como recursos que pueden ser gestionados la perspectiva cambia. Es por ello que, desde la perspectiva de la gestión pública, se busca intervenir pasando del manejo a la gestión, al ir incorporando diversas operaciones donde los aspectos económicos, institucionales, políticos y tecnológicos se combinen para ofrecer mejores respuestas ante el problema que plantea la generación, recolección, tratamiento y disposición final de los residuos.

La gestión de los residuos sólidos constituye un reto para los municipios en México y el resto del mundo. El fin último de este conjunto de acciones es gestionar los residuos con una visión ambiental, social y económica, según sus características, volumen, procedencia, posibilidades de recuperación y comercialización, tomando en cuenta el costo de tratamiento y normativa legal aplicable, mediante procesos que involucren a todos los actores mediante la aplicación del principio de responsabilidad compartida. No obstante, si bien la gestión de residuos sólidos es un servicio público que casi todos los gobiernos locales ofrecen a la comunidad, los niveles de servicio, los impactos ambientales y los costos varían de un municipio a otro. Es por ello que, en su diversidad, México enfrenta problemáticas diversas derivadas de la gestión de los residuos, que plantean desafíos que deben atenderse tomando en consideración a las condiciones locales.

En este número que publica la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos (SOMERS), se han conjuntado 12 artículos que buscan contribuir en el área de gestión de residuos, abordando temas sobre algunos flujos de residuos como los electrónicos, los micro plásticos y los que han sido generados durante la pandemia COVID-19, como los equipos de protección personal, así como residuos considerados peligrosos, en el caso de los envases de plaguicidas. También se presentan casos de aplicación de herramientas para evaluar la ubicación de sitios de disposición final, e investigaciones relacionadas con la recuperación de residuos electrónicos.



Finalmente, se incluye un estudio de caso que describe una iniciativa de campus verde en el manejo de residuos sólidos con enfoque basura cero.

Los trabajos presentados son una muestra de la diversidad de retos que se generan para una gestión adecuada de residuos en México, así como del desarrollo de distintas líneas de investigación a través de las cuales la comunidad científica busca contribuir al mejoramiento del ambiente y el aprovechamiento de recursos.

Dra. Sara Ojeda Benitez
Presidenta de SOMERS
Instituto de Ingeniería, UABC
sara.ojeda.benitez@uabc.edu.mx

Contenido

Comité técnico científico	iii
Editorial	iv
Contenido	vi
Manejo de residuos en universidades	1
Reciclaje y Recuperación de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en el Centro Universitario de los Valles	1
Factores críticos para una iniciativa de campus verde. El caso de Basura Cero en la UNAM.	21
Microplásticos	30
Evaluación de la concentración de microplásticos en la playa Barra de Sontecomapan, a diferentes distancias de la desembocadura de la laguna Sontecomapan	30
Rellenos sanitarios	38
Confinamiento de residuos sólidos peligrosos con residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario clausurado de Morelia, Michoacán, México	38
Uso de sistemas de información geográfica para evaluar sitios de disposición en el noreste del Estado de México	44
Análisis de la ubicación de Sitios de Disposición Final y su relación con factores sociales y económicos a través de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio: Papantla, Tecolutla y Gutiérrez Zamora, Veracruz. México.	60
Residuos de Manejo Especial	76
Destino de los envases vacíos de plaguicidas en la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz, México	76
Residuos sanitarios	86
Características, eficiencia e impactos al ambiente de los cubrebocas dentro del contexto de la emergencia sanitaria	86
Manejo de residuos de equipos de protección personal derivados de la pandemia de COVID-19 en la Ciudad de México	97
Valorización	108
Recuperación informal de residuos electrónicos como estrategia de supervivencia	108

Estudio comparativo de la degradación de azul brillante en un filtro empacado de carbón activado de cáscara de naranja y de borra de café mediante sistemas electro-Fenton, electro-oxidación	116
Comparación de las propiedades superficiales de dos carbones activados de origen agroindustrial con afinidad por moléculas de origen iónico opuesto	125

Manejo de residuos en universidades

Reciclaje y Recuperación de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en el Centro Universitario de los Valles

¹Ana Isabel Correa-González, ¹Victor Manuel Guerrero-Barboza, ¹Andrea Soto-Anguiano, ¹Hector Huerta-Avila, ¹Himer Avila-George, ¹Roció Castañeda-Valderrama, ²Sara-Ruth Messina, ²Claudia Estela Saldaña-Durán, ¹B. Acevedo-Juárez

Dpto. Ciencias. Naturales y Exactas, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara, carretera Guadalajara-Ameca Km 45.5, C.P.46600, Ameca, Jalisco, México.

Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, 63190 Tepic, Nayarit, México

Resumen

La generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) aumenta un 10% cada año y se estima que para el 2030 se generen cerca de 74.7 Mt. Para 2016, México produjo 1 Mt y para el año siguiente 1.1 Mt, según estos datos para 2026 nuestro país habrá generado más de 1.3 Mt. Los RAEE son un riesgo para el medio ambiente y para la salud al no brindarles el tratamiento adecuado. Varias universidades han trabajado en la realización de acopios para fomentar el manejo y reciclaje adecuado de los RAEE. En el presente trabajo se diseñó una metodología de reciclaje y la recuperación de materiales de los RAEE para el Centro Universitario de los Valles de la Universidad de Guadalajara (CUValles) que consta de cuatro fases. La última fase de esta metodología promueve la separación fina de los componentes eléctricos y electrónicos. También, se diseñó una metodología para la concientización de la importancia del reciclaje de los RAEE para la comunidad de CUValles mediante un Plan de Marketing Social que por definición promueve la aceptación de una idea y el cambio en la cultura social. Un taller de reciclaje de RAEE fue diseñado y llevado a cabo donde participaron alumnos de las carreras de Ingeniería en Mecatrónica, Ingeniería en Computación y Electrónica, Licenciatura en Informática, Ingeniería en Sistemas Biológicos e Ingeniería en Instrumentación, Electrónica y Nanosensores del CUValles para practicar sus conocimientos y obtener componentes electrónicos reusables.

Palabras Clave: *Aparatos Eléctricos y Electrónicos, Reciclaje, Recuperación, Marketing Social.*

1. Introducción

A partir de 1990, los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) llegaron a nuestras vidas de manera masiva en distintos sectores, tales como el industrial, el económico, el de servicios,

etc. (Araiza-Aguilar et al., 2016). Año con año distintas industrias desarrollan actualizaciones que mejoran la funcionalidad de los AEE, quedando las versiones anteriores obsoletas (Kang y Schoenung, 2005) convirtiéndose en Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) (SEMARNAT, 2017).

Los RAEE representan una gran problemática en todas las regiones del mundo con carácter social, medioambiental e incluso de salud. Estos pueden contener una variedad de sustancias peligrosas, que incluyen elementos potencialmente tóxicos, tales como: mercurio, cadmio, plomo, cromo, arsénico, selenio, bario y retardadores de llama como: pentabromofenol, éteres de difenilo polibromados y tetrabromobisfenol A (Cesaro et al., 2018). Las repercusiones de la liberación de contaminantes al medioambiente sobre la salud dependen de dos cosas, del material de los RAEE (influyen en él o los contaminantes capaces de ingresar al medioambiente) y del tipo de proceso de reciclaje que se le aplique (define el estado físico del contaminante). En los países en vías de desarrollo los métodos de reciclaje de RAEE pueden llegar a ser muy diversos, como el proceso mecánico, lixiviación química y la quema al aire libre con el fin de obtener de manera ilegal los componentes de interés como el oro y cobre (Cesaro et al., 2018; Martín, 2016). Se le llama reciclaje informal de RAEE a las prácticas mal reguladas, las cuales tienen lugar en patios y talleres domésticos. Estos sitios de reciclaje informal no se encuentran controlados y no disponen de sistemas de control de emisiones, pueden liberar sustancias tóxicas al medioambiente y presentar riesgos graves para la salud humana y el medioambiente (Cesaro et al., 2018, 2019).

En el 2014, la generación de RAEE a nivel mundial fue de 44.3 millones de toneladas métricas (Mt), y para el 2019 se generaron 53.6 Mt de RAEE (7.3 kg per cápita). En la Figura 1, se muestra la generación de RAEE por continentes, ésta sin considerar los paneles fotovoltaicos (Forti et al., 2020). Saldaña-Durán y Messina-Fernández (2020) mencionan que para el año 2021 se estiman 52.2 Mt de RAEE a nivel mundial. Revisando los datos reportados por Forti et al. (2020) para el 2019, la estimación que se tenía para 2020 no sólo fue superada con 1.4 Mt, sino que llegó un año antes. Con estos últimos datos, se estima que el volumen generado de RAEE para 2030 será de 74.7 Mt.

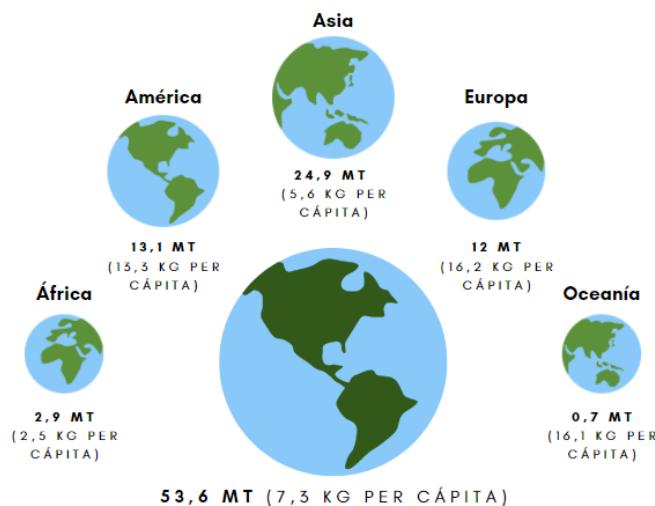


Figura 1. Toneladas métricas de RAEE generadas a nivel mundial en 2019 (Forti et al., 2020)

En el 2016, el continente americano registró una generación de RAEE de 11.3 Mt por debajo de Europa con 12.3 Mt (Baldé et al., 2017). Los 3 países americanos con más residuos fueron Estados Unidos de América con 6.3 Mt, Brasil con 1.5 Mt y Estados Unidos Mexicanos con 1 Mt. Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en el 2017 tras realizar distintas aproximaciones reportó un promedio de 1.1 Mt en México. De las cuales, se estima que el 65.12% (entre 622 980 y 812 592 toneladas) de los RAEE tiene potencial económico, el 5.99% (57 315 y 74 760 toneladas) necesita ser manejado como residuo peligroso por sus componentes tóxicos y el 28.89% restante son materiales que actualmente no son aprovechados como cerámicos, fibras o plásticos.

Sobre la legislación en México, en el 2003 se publica la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, donde los RAEE se clasifican como residuos de manejo especial. Posteriormente, en el 2011 se publica la NOM-161-SEMARNAT donde se clasifican los residuos de manejo especial. En el apartado VIII se definen los RAEE como los productos que al transcurrir su vida útil son desechados, éste está dividido en tres incisos y el primero corresponde a los residuos tecnológicos de las industrias de la informática y fabricantes de productos electrónicos como son: computadoras portátiles y de escritorio, así como sus accesorios, teléfonos celulares, monitores de tubos de rayos catódicos (incluyendo televisores), pantallas de cristal de líquido y plasma (incluyendo televisores), reproductores de audio y video portátiles, cables para equipos electrónicos, impresoras, fotocopiadoras y multifuncionales. En el segundo inciso se clasifican los residuos de fabricantes de vehículos automotores, que incluyen a los vehículos al final de su vida útil. Por último, en el tercer inciso, se encuentran los residuos que al concluir su vida útil requieren de manejo específico, como lo son el aceite vegetal, neumáticos, envases de madera, aluminio, vidrio, secadoras, lavadoras, refrigeradores, aire acondicionado, hornos de microondas, etc.

Los RAEE en México generalmente son acumulados en condiciones de almacenamiento que no son óptimas debido al desconocimiento del manejo adecuado para este tipo de residuos. No es hasta el año 2018, que se publicó la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-019-AMBT-2018 - Residuos Eléctricos y Electrónicos - Requisitos y especificaciones para su manejo. En esta norma se define al manejo de los RAEE como las actividades de separación y reducción, recolección, acopio, almacenamiento, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, transporte y disposición final de residuos, adaptándose según las necesidades de cada lugar cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social. Para entender el manejo adecuado para este tipo de residuos, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010) lo divide en cinco etapas. Las cuales son descritas en términos generales a continuación:

- **Recolección y almacenamiento:** el lugar donde sean recolectados necesita estar techado para protección contra la intemperie, se debe realizar la clasificación por diferentes categorías de los RAEE según las necesidades, normas, metodologías para facilitar la entrega a empresas especializadas. También se debe restringir el acceso, mantener registros de inventarios realizados por personal capacitado y determinar según normativas el almacenamiento y empaque de RAEE.

- Transporte y logística: entre los requisitos técnicos destacan la protección contra intemperie, toda la carga de RAEE debe de estar empacada, estibada, apilada, sujeta y cubierta.
- Reúso: el reúso busca prolongar la vida útil de los AEE para reintroducirlos en el mercado, puede llegar a ser beneficioso por la reventa y convertirse en un sector económico.
- Reciclaje: al reciclar un aparato es necesario descomponer sus componentes, esto se puede hacer manualmente, de manera mecánica o combinando ambas con las medidas de seguridad adecuadas, como equipo de protección personal (guantes, lentes, cubrebocas, etc.). Primero se extraen los posibles contaminantes presentes, algunos de estos residuos se pueden clasificar en tres grupos: vidrio, metales y plástico. Para el aprovechamiento de estos residuos se les puede reciclar mediante: fundición, refinación térmica y química e incineración.
- Disposición final: para las partes no aprovechables durante las etapas de manejo anteriores existen dos opciones: rellenos sanitarios, los cuales contribuyen al desarrollo de efectos negativos ambientales, y los rellenos de seguridad donde se disponen las fracciones sobrantes en los procesos de reciclaje e incineración siempre y cuando estos residuos cumplan requerimientos técnicos de los rellenos de seguridad.

Según Araiza-Aguilar (2016), en México existen 365 instituciones de educación superior. Considerando que la gran mayoría de estas instituciones se encuentran en constante crecimiento se adquieren nuevos AEE especializados que cuenten con las mejores características y actualizaciones, generando un constante aumento de RAEE en dichas instituciones. La falta de recurso en su presupuesto y/o el desconocimiento del manejo adecuado de estos residuos, promueven el almacenamiento inadecuado de los RAEE. Tal es el caso, de la Universidad de Ciencias y Artes en Chiapas donde únicamente estos residuos eran almacenados y olvidados en bodegas pertenecientes a la institución, sin las medidas de seguridad ni de protección adecuadas (Araiza-Aguilar et al., 2016).

Por otra parte, la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco unió esfuerzos con la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) para animar a las comunidades aledañas a participar en el “Reciclatrón UAM Xochimilco 2017”. En este evento, lograron acopiar 34 221 kg y los trasladaron a la empresa RECUPERA-Centros de reciclaje (Cortés y Herrera, 2017). De esta manera, se le otorgó a los RAEE un manejo adecuado evitando destinos que a la larga son perjudiciales para el medioambiente y la salud humana. Saldaña-Durán y Messina-Fernández (2020) llevaron a cabo el Reciclatrón en la Universidad Autónoma de Nayarit en cuatro ocasiones, recolectando un total de 28 836 kg de RAEE. En el primer evento se recolectaron 605 kg, en el segundo 2 459 kg, para el tercer y cuarto 6 347 kg y 19 430 kg respectivamente. Sus resultados demostraron que no sólo gran parte de la comunidad estudiantil desconocía las causas del mal manejo de estos desechos, sino que, estos aumentan evento tras evento gracias a la participación de estudiantes, gobierno y la sociedad en general. Para el siguiente evento se esperan recolectar cerca de 25 toneladas, cifras esperanzadoras si se considera el impacto positivo que puede tener el manejo correcto de los RAEE.

Otro ejemplo de acopio es el realizado por la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional (UPIICSA-IPN), en coordinación con la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) de la Ciudad de México han realizado desde 2013 jornadas de acopio de RAEE. Esta actividad fomentó hábitos de separación y reciclaje alrededor de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), pues año con año se ha visto un incremento en los residuos totales acopiados. Por ejemplo, en 2013 se recolectaron 95 681 kg, para 2016 fueron 273 695 kg y para 2018 creció a 314 892.40 kg, demostrando la cooperación y participación de la ZMVM. Los RAEE que son acopiados se han separado en 4 categorías; A, B, C, D y a partir del 2016 se incluyó la categoría E. La categoría A agrupa aparatos electrónicos como DVD/VHS/Beta, MP3, miniconsolas, cámaras fotográficas y videograbadoras, teléfonos fijos e inalámbricos, escáneres y electrodomésticos como microondas, aspiradoras, licuadoras, planchas, lavaplatos, secadoras de platos, cafeteras, secadoras de pelo, etc. En la categoría B se encuentran CPU, monitores, laptops, minilaptops, discos duros, tarjetas varias y televisiones. En la categoría C únicamente contiene celulares y pilas, por otro lado, en la D se clasifican cargadores, cables, discos y películas. Finalmente, en la categoría agregada a partir de 2016 se agrupan aparatos como balastras, monitores, pantallas, pilas alcalinas, transformador, televisores, lámparas, refrigeradores y tóneres. En 2018, el Reciclátrón acopió 314 892.40 kg de RAEE, estos residuos se trasladan a Recupera, un centro de acopio de la Ciudad de México donde son desarmados, separados y posteriormente enviados a empresas especializadas en reciclaje (SEDEMA, 2021).

En la actualidad, la educación medioambiental se encuentra dentro de las materias de estudio de las instituciones educativas, ya que su relevancia dentro de la formación académica de los alumnos es vital para que puedan conocer y transformar progresivamente el medioambiente (Leandro, 2012). Este trabajo tuvo como objetivo diseñar, mediante la revisión bibliográfica de los temas, una metodología para el reciclaje y la recuperación de materiales de los RAEE en el Centro Universitario de los Valles de la Universidad de Guadalajara (CUValles), una metodología para la concientización que fortalezca la implementación del reciclaje de los RAEE y que sea aplicada a la población estudiantil, y un taller de reciclaje de RAEE para los alumnos de CUValles como plan de acción del programa de concientización. Todo esto con la finalidad de plantear estrategias que puedan dirigir a la sociedad al cuidado del medioambiente.

2. Metodología

Para el diseño de las metodologías se llevó a cabo una revisión bibliográfica en las bases de datos de Google Scholar sobre las temáticas: reciclaje de los RAEE en Universidades y la concientización en temas ambientales. A partir de esta revisión bibliográfica, se encontró la publicación de Saldaña-Durán y Messina-Fernández (2020) y la Norma Oficial Mexicana NADF-019-AMBT-2018, cabe destacar que la metodología a diseñar para el reciclaje y recuperación de materiales valiosos de los RAEE se fundamentada en esta norma.

Después de la revisión bibliográfica, el trabajo a desarrollar se organizó de la siguiente manera (Figura 2): (1) implementación de las 3 primeras etapas de la metodología de Saldaña-Durán y Messina-Fernández (2020) para el Reciclaje de RAEE en Centro Universitario de los Valles (CUValles) y el diseño de la metodología para la separación fina;

(2) concientización de la importancia del reciclaje de RAEE; y (3) taller de reciclaje y recuperación de materiales valiosos de los RAEE. A continuación, se describe cada uno de los pasos:

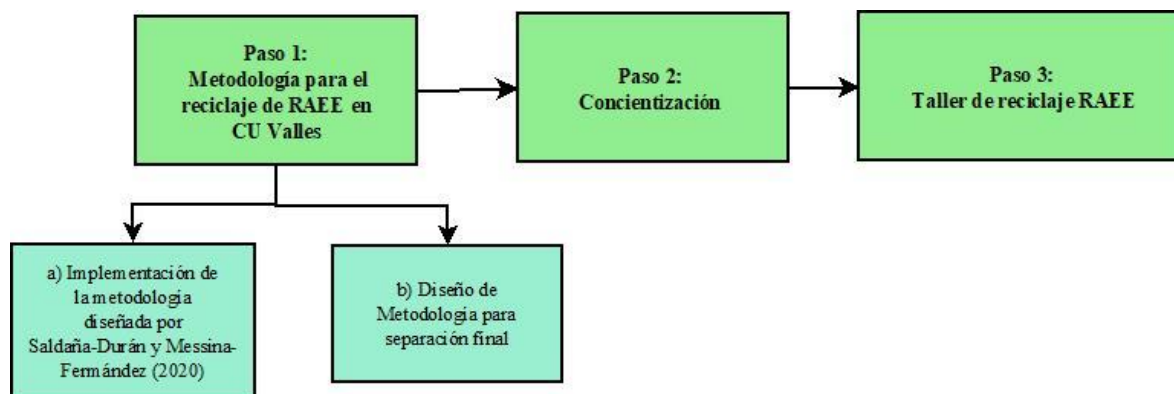


Figura 2. Metodología para el reciclaje de RAEE en el Centro Universitario de los Valles de la Universidad de Guadalajara

Paso 1. La metodología para el reciclaje de RAEE diseñada por Saldaña-Durán y Messina-Fernández (2020) consiste en 5 diferentes fases (Figura 3), sin embargo, para la implementación en CUValles solo se implementaron las 3 primeras fases, y se diseñó una metodología detallada para el reciclaje y recuperación de materiales de los RAEE. Las 3 primeras fases de la metodología de Saldaña-Durán y Messina-Fernández consisten en:

- **Fase 1:** recibir, recoger y pesar los RAEE recolectados.
- **Fase 2:** los dispositivos recolectados se categorizan, actualizando esta clasificación de la NOM-161-SEMARNAT-2011 a la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-019-AMBT-2018 en seis tipos diferentes: 1) aparatos de intercambio de temperatura, 2) monitores, pantallas y aparatos con pantallas de la superficie superior a 100 cm², 3) lámparas, 4) grandes aparatos, 5) pequeños aparatos y 6) aparatos de informática y telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm).
- **Fase 3:** los dispositivos previamente clasificados, se desmontan mediante un proceso mecánico manual. El desmontaje se realiza mediante destornilladores, cautines, martillos y cinces, para la obtención de materiales y componentes. Las reglas de seguridad requieren el uso de guantes, máscaras y zapatos adecuados en esta etapa. Los materiales separados se clasifican en diferentes grupos como plástico, hierro, teclados, cables, discos duros, placas base, cobre, aluminio; luego los materiales se pesan para su cuantificación. Posteriormente, se diseñó la separación fina de componentes eléctricos y electrónicos, que constituyen a los elementos individuales, y son de utilidad a los estudiantes del CUValles en las diversas carreras de ingeniería (mecatrónica; electrónica y computación; instrumentación, electrónica y nanosensores; y sistemas biológicos).

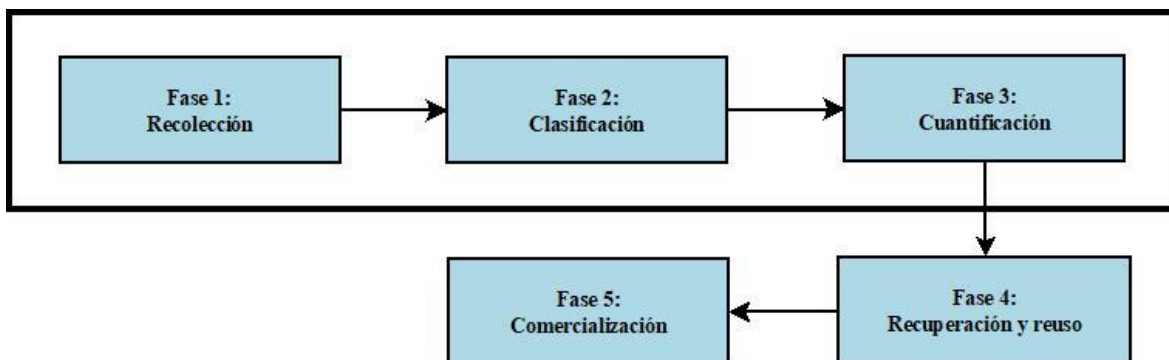


Figura 3. Metodología de Saldaña-Durán y Messina-Fernández (2020) para el manejo y reciclaje de RAEE

Paso 2. Con la finalidad de que la implementación de la metodología propuesta para el reciclaje de RAEE tenga éxito, se desarrolló un plan de acción para concientizar sobre la importancia del reciclaje de los RAEE en el CUValles. De la revisión bibliográfica se encontraron varias formas de hacer concientización ambiental, entre las más exitosas están el periodismo y el Marketing Social (Fernández, 2011 y Pérez-Moreno, 2004). Se decidió diseñar un plan de Marketing Social porque su objetivo es promover cambios de conducta que beneficien a la sociedad (Kotler, 1992).

Paso 3. Taller de reciclaje de RAEE (programa de acción): se diseñó y se llevó a cabo un taller en CUValles donde se aplicó la metodología diseñada en el paso 1 para la separación final de RAEE.

3. Resultados

3.1 Metodología para el reciclaje y recuperación de aparatos eléctricos y electrónicos en CUValles

En la metodología para el reciclaje y recuperación RAEE, además de las tres primeras fases de la metodología de Saldaña-Durán y Messina-Fernández (2020) para el Reciclaje de RAEE en CUValles, se diseñó una fase 4 que contemplara una metodología complementaria para la recuperación de materiales que puedan ser de utilidad a los estudiantes del Centro Universitario de los Valles en las diversas carreras de Ingeniería (mecatrónica; electrónica y computación; instrumentación, electrónica y nanosensores; y sistemas biológicos).

La fase 4 que se diseñó consta de varias tomas de decisiones (Figura 4). Comienza con la evaluación a detalle del funcionamiento de los RAEE anteriormente clasificados. En este paso los alumnos de las carreras afines (ingeniería en mecatrónica, ingeniería en computación y electrónica, ingeniería en sistemas biológicos e ingeniería en instrumentación, electrónica y nanosensores) que se imparten en CUValles pondrán en práctica sus conocimientos para determinar si el RAEE funciona. De no funcionar se determinarán los fallos y de ser posible se repararán. A los RAEE que funcionan se les dará mantenimiento, actualización y limpieza para su posterior donación o comercialización.

En caso de que no funcionen y no se puedan reparar, usando las medidas de seguridad y protección: bata, gafas de seguridad, guantes y mascarilla con las características que se presentan en la Tabla 1, se realizará la separación y evaluación de los componentes internos que forman parte de los RAEE.

En la evaluación se identificarán aquellos materiales que son un riesgo para la salud humana y el medioambiente, tales como baterías, metales y sustancias peligrosas que suelen contener los RAEE (mercurio, cadmio, plomo, cromo, arsénico, selenio, bario, pentabromofenol, éteres de difenilo polibromados y tetrabromobisfenol A). Si el componente interno funciona se clasificará y se almacenará, de contener alguno de estos materiales peligrosos, el almacenamiento se realizará con condiciones especiales para su posterior uso. En el caso de que el componente interno no funcione y contenga materiales peligrosos se destinará a un reciclado para residuos de manejo especial. Si los componentes internos no funcionan y no contienen materiales peligrosos se realizará una exploración a detalle para efectuar la separación fina de materiales en metales ferrosos como: oro, plata, platino, cobre, cuarzo, vidrio y metales no ferrosos, tales como plásticos de diversos tipos.

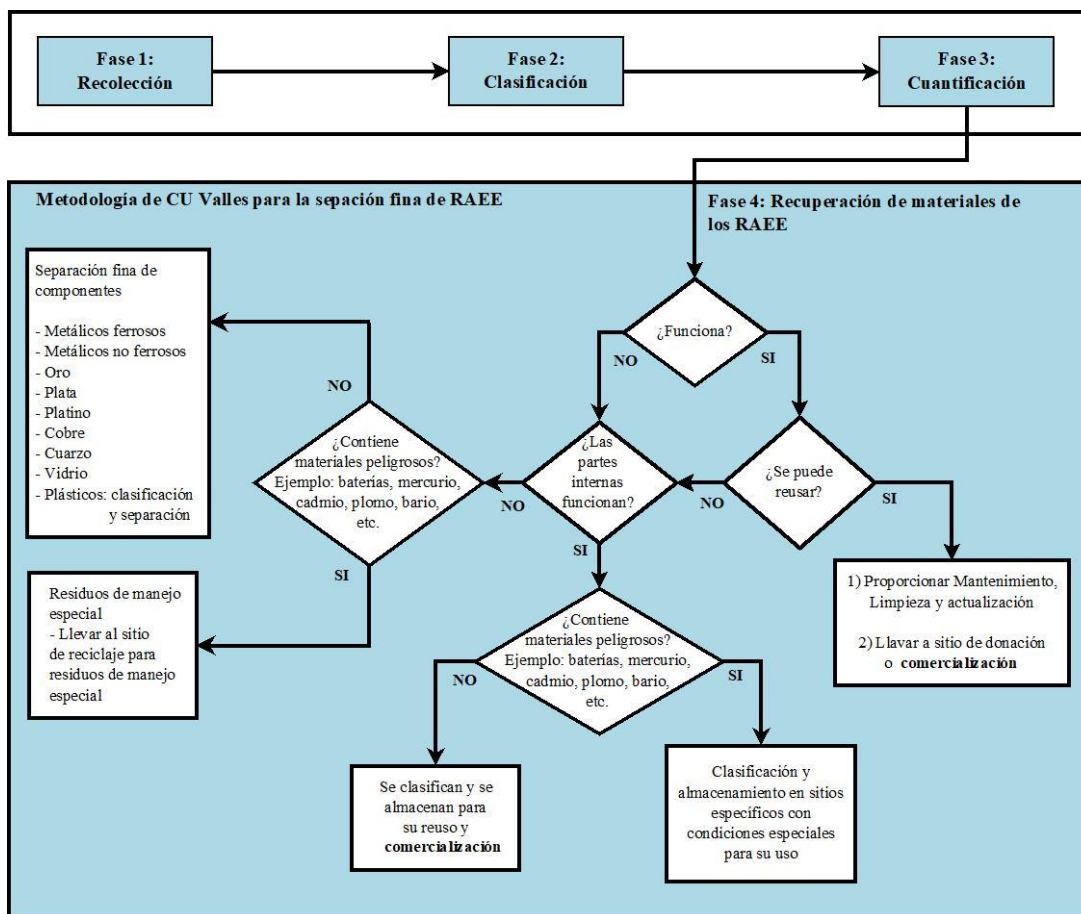


Figura 4. Metodología para el reciclaje y recuperación de materiales de los RAEE en el CUValles

Tabla 1. Toxicidad, manejo y prevención de materiales de los RAEE que son un riesgo biológico para los humanos y el medioambiente (Carl-Roth, 2016a – 2016e, 2019, 2020; NCBI, 2021, Rocha-Gutiérrez et al., 2015)

Material	Riesgo (Toxicidad)	Material de protección	Primeros auxilios
Cadmio, plomo, mercurio, bario, cromo, arsénico y selenio	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden ser corrosivos para los metales - Provocan irritación cutánea - Provocan irritación ocular grave - Tóxicos para la reproducción - Tóxicos en determinados órganos - Tóxicos si se inhalan - Tóxicos si se ingieren - Peligrosos para el medioambiente acuático 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar gafas de protección con protección a los costados - Utilizar guantes de goma de nitrilo NBR. Espesor del material >0.11mm - Protección respiratoria es necesaria para: <ul style="list-style-type: none"> • Formación de aerosol y niebla. Tipo: NO-P3 (filtros combinados contra gases nitrosos y partículas, código de color: azul/blanco) para cadmio, bario, cromo y arsénico • Formación de polvo. Filtro de partículas (EN 143). P2 (filtra al menos 94 % de las partículas atmosféricas, código de color: blanco) para plomo • Formación de aerosol y niebla. Tipo: Hg-P3 (filtros combinados contra vapores de mercurio y partículas, código de color: rojo/blanco) para mercurio • Formación de polvo. Filtro de partículas (EN 143). P1 (filtra al menos 99.95% de las partículas atmosféricas, código de color: blanco) para selenio 	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar su liberación al medioambiente - Quitar prendas contaminadas En caso de: <ul style="list-style-type: none"> - Inhalación: proporcionar aire fresco. En caso de dificultades respiratorias o paro de respiración preparar respiración artificial. Llamar al médico inmediatamente - Contacto con la piel: aclararse la piel con agua/ducharse. En caso de irritaciones cutáneas consultar a un dermatólogo - Contacto con los ojos: aclarar cuidadosamente con agua. Consultar a un oculista - Ingestión: lavar la boca inmediatamente y beber agua en abundancia. Llamar al médico inmediatamente
Pentabromofenol	<ul style="list-style-type: none"> - Puede causar lesiones graves o la muerte en caso de inhalación, ingestión o contacto con la piel - Puede producir gases tóxicos o irritantes al tener contacto con fuego - Peligroso para el medioambiente acuático a largo plazo 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar gafas de protección con protección a los costados - Utilizar guantes de goma de nitrilo NBR. Espesor del material >0.11mm - Utilizar un respirador de media cara aprobado por NIOSH (EE.UU.) con filtro de polvo. Si existe un riesgo potencial sin purificación de aire, utilizar respirador de cara completa tipo N99 	<ul style="list-style-type: none"> - Quitar prendas contaminadas En caso de: <ul style="list-style-type: none"> - Contacto con los ojos: buscar y retirar lentes de contacto. Enjuagar con agua o solución salina por lo menos 20 minutos y consultar un médico inmediatamente - Contacto con la piel: lavar cuidadosamente con agua y jabón áreas afectadas, si presenta síntomas como enrojecimiento acudir al médico - Inhalación: proporcionar aire fresco y acudir al médico. - Ingestión: no induzca el vómito, llamar al médico inmediatamente y si el médico lo señala proporcionar leche, claras de huevo o carbón activado. Acudir inmediatamente al médico

Tabla 1. Toxicidad, manejo y prevención de materiales de los RAEE que son un riesgo biológico para los humanos y el medioambiente (Carl-Roth, 2016a – 2016e, 2019, 2020; NCBI, 2021, Rocha-Gutiérrez et al., 2015) (Continuación)

Material	Riesgo (Toxicidad)	Material de protección	Primeros auxilios
Éteres de difenilo polibromados	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden llegar a ser cancerígenos - Asociados con tumores, desestabilidad del sistema hormonal, toxicidad y acumulación neurológica - Son absorbidos y acumulados con facilidad en sedimentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar gafas de protección con protección a los costados - Utilizar guantes de goma de nitrilo NBR. Espesor del material >0.11mm - Protección respiratoria para formación de polvo. Filtro de partículas (EN 143) 	<ul style="list-style-type: none"> - Quitar prendas contaminadas - Consejo general: si persisten síntomas llamar a un médico En caso de: <ul style="list-style-type: none"> - Contacto con los ojos: buscar y retirar lentes de contacto. Enjuagar con agua o solución salina por lo menos 20 minutos - Contacto con la piel: lavar cuidadosamente con agua áreas afectadas - Inhalación: proporcionar aire fresco y acudir al médico - Ingestión: no induzca el vómito, llamar al médico
Tetrabromobisfenol A	<ul style="list-style-type: none"> - Tóxico para organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos - Puede llegar a ser cancerígeno en humanos 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar equipo de protección ocular, facial y cutánea (manipular guantes de goma de nitrilo) de acuerdo con el equipo aprobado por las normas gubernamentales como NIOSH (EE. UU.) - No se requiere protección respiratoria, solo se utiliza protección respiratoria cuando se desee protección contra niveles molestos de polvo, utilizar máscaras antipolvo tipo N95 o tipo P1 (EN 43) 	<ul style="list-style-type: none"> - Consejo general: si persisten síntomas llamar a un médico En caso de: <ul style="list-style-type: none"> - Contacto con los ojos: enjuagar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos. Consultar a un médico. - Contacto con la piel: lavar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos. Si persiste irritación cutánea, llamar a un médico - Ingestión: limpiar la boca con agua y beber abundante agua e inducir el vómito. Consultar a un médico - Inhalación: proporcionar aire fresco. Si no respira, realizar técnicas de respiración artificial. Consultar a un médico si se producen síntomas

3.2 Concientización

El Marketing Social lo definió Kotler como “el diseño, implantación y control de programas que buscan incrementar la aceptación de una idea o causa social en determinados grupos objetivo” (Kotler, 1992). Casos de concientización medioambiental que han empleado esta estrategia son principalmente instancias internacionales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de los Estados Americanos (OEA), Greenpeace, entre otros.

Según Alonso-Vázquez (2006), los objetivos del Marketing Social son: proporcionar información, estimular acciones beneficiosas para la sociedad, cambiar comportamientos nocivos y cambiar los valores de la sociedad. El primer objetivo se enfoca en que el usuario conozca el objetivo social de la organización, y los beneficios que busca darle a la

ciudadanía, esto logrado con campañas educativas, charlas, exposiciones, talleres, etc. El segundo estimula a generar acciones beneficiosas para que la sociedad arraigue en su comportamiento una acción determinada. El tercero se enfoca a atacar comportamientos negativos y disminuir problemas sociales. El cuarto se basa en el cambio de valores de la sociedad, persiguiendo que ésta modifique las creencias arraigadas y establezca una cultura social que beneficie a la comunidad. Con base a estos objetivos se diseñó el plan de concientización del reciclaje de los RAEE. El plan estratégico de Marketing Social está conformado por tres apartados:

- **Diagnóstico:** se conforma por la filosofía de la organización, como la misión, visión y objetivos, el estudio de las necesidades presentes y futuras del mercado meta, análisis de la organización, análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), análisis del macro y microentorno.
- **Planeación y formulación de las estrategias:** éstas están dirigidas a la satisfacción de las necesidades sociales de la población objetivo y están basadas en los datos recopilados en la parte diagnóstica.
- **Ejecución:** describe la estructura de la organización y la implementación de los programas sociales, acompañados de sus respectivas medidas de evaluación control y retroalimentación (Pérez-Moreno, 2004, Paico-Medina, 2017).

En la tabla 2, se muestran los instrumentos para llevar a cabo un Plan de Marketing Social.

Tabla 2. Plan de Marketing Social

Apartado	Acciones	Instrumentos
Diagnóstico	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis del entorno del Marketing Social - Investigación y selección de la población (micro y macroentorno) - Análisis FODA - Filosofía de la organización (Misión, Visión, Objetivo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Base de datos - Fuentes primarias - Encuesta
Planeación y formulación de las estrategias	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivos del Marketing - Estrategias del Marketing - Meta del Marketing - Mezcla de Marketing - Definir programas de acción - Presupuesto y programación 	<ul style="list-style-type: none"> - Encuesta - Fuentes primarias - Redes sociales
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación - Control y ejecución 	<ul style="list-style-type: none"> - Reuniones periódicas

3.2.1 Diagnóstico del Plan de Marketing Social

En el análisis del entorno del Marketing Social, este se define como la comunidad de CUValles. La comunidad CUValles está formada por 200 administrativos, 315 académicos y 5 309 estudiantes (CUValles, 2021). El perfil del microentorno está principalmente

conformado por una población joven de entre 18 y 30 años, que conviven en CUValles, el macroentorno se identificó la región de los Valles que comprende los municipios de Teuchitlán, Tequila, Tala, San Marcos, San Juanito de Escobedo, Magdalena, Hostotipaquillo, Etzatlán, El Arenal, Ameca, Amatitán y Ahualulco del estado de Jalisco, que son donde residen los alumnos y trabajadores de CUValles. Este grupo de personas es muy importante para el plan de concientización, a su edad ya habrán consumido varios AEE, y en el futuro adquirirán algunos más, que generarán según los modelos predictivos más de 2.37 kg/persona de RAEE (SEMARNAT, 2017).

Aplicando el análisis FODA, se buscó información en internet sobre los programas medioambientales en la región para el reciclaje de RAEE. Como resultado de la búsqueda se encontró actividad en el 2012 y 2013 de Recolección de Residuos Electrónicos en el municipio de Ameca por la segunda campaña llamada “Reciclon” a cargo de la Dirección de Ecología del Ayuntamiento de Ameca y el Comité de Sierra de Quila; para el año 2014 y 2015 se llevó a cabo el “Electroacopio” por la Dirección de Ecología del Ayuntamiento de Ameca dentro del programa “Campaña Intermunicipal de Acopio y Reciclaje de Residuos Electrónicos”.

En el plan de desarrollo del 2014 se identificó la problemática con respecto a los residuos peligrosos entre ellos los tecnológicos, que se generan desde hace más de 10 años. También señala “debido a la falta de recursos para el manejo integral para su reciclaje, desconocimiento del comportamiento de los residuos, poca conciencia ecológica de los pobladores, que ha rebasado la capacidad de respuesta para controlarlos, en donde es necesario de manera urgente, poder llegar a abatir esta situación en el municipio”. La estrategia para aportar soluciones a esta problemática se basó en “dar a conocer a la población que los delitos relacionados con el medioambiente son sancionados por el Código Penal Federal, previa denuncia ciudadana” (Ayuntamiento de Ameca, 2014).

Posteriormente, para el 2017 se registró la campaña de “Recolección de residuos” también por la Dirección de Ecología del Ayuntamiento de Ameca 2015-2018. A pesar de que el índice de medioambiente del municipio de Ameca indica un “Desarrollo Medio del Medioambiente” en comparación al resto de los municipios de la entidad, y la quinta posición en la región Valles (IIEG, 2019), no se tiene un programa de reciclaje o recolección de los RAEE (Ayuntamiento de Ameca, 2018).

Otro hallazgo es la participación de la Coordinación de Tecnologías para el Aprendizaje del Centro Universitario del Sur con la “Campaña Permanente de Recolección de Residuos Electrónicos (CAPRE)” cuya finalidad es recibir materiales electrónicos y baterías para colaborar en la reducción de la contaminación medioambiental, promoviendo además la educación en el reciclado de residuos electrónicos de la población (CUSur, 2021).

A partir del análisis de esta información se identificaron los siguientes problemas: 1) escasa información municipal sobre el acopio de los RAEE, su manejo como residuos peligrosos, y de reciclaje de estos en Ameca; 2) falta de un programa constante de cultura medioambiental sobre los RAEE en la población de Ameca; 3) posible acumulación de RAEE en los hogares de los alumnos debido a que no se registran campañas de recolección desde el 2017. Mientras que las oportunidades identificadas fueron: 1) significativo aporte para los esfuerzos por alcanzar el objetivo 12 de la Agenda 2030 sobre desarrollo sostenible, 2)

mejorar el sistema educativo en materia sobre la cultura medioambiental de los RAEE mediante la formación de ciudadanos responsables en el consumo de AEE, 3) promover y reforzar la participación de los jóvenes de CUValles en programas, proyectos, actividades y manejo de los RAEE, 4) fortalecer los conocimientos de los alumnos de Ingeniería en Mecatrónica, Ingeniería Electrónica y Computación, Ingeniería en Instrumentación, Electrónica y Nanosensores; e Ingeniería en Sistemas Biológicos, y 5) obtener información, informar y vincular a la comunidad de CUValles en las campañas de recolección de RAEE municipales.

El objetivo general del Plan de Marketing Social es concientizar a la comunidad de CUValles sobre la importancia de reciclar y recuperar los materiales de los RAEE con la finalidad de minimizar los impactos negativos generados, de hacer más con menos a través de acciones de conservación y desarrollo de una cultura ambiental entre los ciudadanos.

3.2.2 Planeación y formulación de las estrategias

Para generar concientización es importante divulgar de manera atractiva la información sobre los RAEE, tal como: definición, clasificación, la normativa vigente en México que se les aplica, las cifras actuales en México, los daños al medioambiente y a la salud por un mal manejo, acciones que otros países hacen con estos residuos, proceso de reciclaje y sus beneficios, divulgación del conocimiento científico sobre estos residuos. Sobre el diseño de las estrategias, se planteó realizar una búsqueda de la normativa vigente y los datos actuales sobre los RAEE en México, así como las repercusiones al medioambiente y la salud causado por el mal manejo de los RAEE.

En la Figura 5, se muestra la legislación que aplica a los RAEE, esta es la Ley General del Manejo Integral de Residuos, la NOM-161-SEMARNAT-2011 sobre los criterios para determinar los residuos de manejo especial y la Norma Ambiental para el Distrito Federal (NADF-019-AMBT-2018), Residuos Eléctricos y Electrónicos, requisitos y especificaciones para su manejo. La información relevante sobre los RAEE en México se recopiló del inventario de Residuos Eléctricos y Electrónicos, donde se reportó para el 2015 una generación de RAEE de 9.2 kg/año/hab. Los datos estadísticos para México son los estimados en el 2015 proporcionados por SEMARNAT (2017), en ellos se menciona a Jalisco como el segundo estado con más RAEE, con 82.07 kt. En primer lugar, se encuentra la Ciudad de México con 117.55 kt y en el tercer puesto con 58.6 kt se encuentra Baja California (Figura 6).

Como se había comentado anteriormente los RAEE pueden contener una variedad de sustancias peligrosas, que por prácticas inadecuadas pueden ser liberadas al medioambiente, causando daños a la salud directa e indirectamente (Vaccari et al. 2019). Martín (2016), señala que numerosos estudios relacionan alteraciones citogenéticas y deficiencias en la función celular con exposiciones a compuestos tóxicos encontrados en trabajadores, niños y embarazadas que estuvieron expuestos. Algunas de las consecuencias son afectaciones en sistemas cardiovascular, endocrino e inmunológico, reducción de las funciones pulmonares en recién nacidos, así como posibles partos prematuros.

Algunos de los efectos negativos de los metales pesados en el organismo son (Martín, 2016):

- Plomo: daños cerebrales, al sistema nervioso, problemas en riñones y desarrollo fetal, vómitos, diarrea, convulsiones, etc.
- Mercurio: daños en sistema nervioso central y riñón
- Arsénico: exposición crónica puede provocar cáncer de pulmón, lesiones en nervios y piel
- Selenio: con altas concentraciones, pérdida de cabello, fragilidad en uñas, anomalías neurológicas, entre otras.

Normativa en México RAEE		
Ley General del Manejo de Integral de Residuos	Artículo 11.- La determinación para clasificar a un residuo como de manejo especial	Artículo 19.- Fracción IX, de la ley, se establecerá en la norma oficial mexicana correspondiente (NOM-161-SEMARNAT-2011 fracción 7. Criterios para determinar los Residuos de Manejo Especial)
NOM-161-SEMARNAT-2011 Clasificación de Residuos de Manejo Especial e Industrial	CAPITULO I.- Identificación de residuos peligrosos.	Artículo 35.- Los residuos peligrosos se identificarán de acuerdo a los siguientes: a) Listados de los residuos por características de peligrosidad b) Criterios de caracterización y umbrales que impliquen un riesgo al ambiente
NOM-161-SEMARNAT-2011 Clasificación de Residuos de Manejo Especial e Industrial	Anexo I.- Clasificación de residuos eléctricos y electrónicos para su gestión y manejo, exceptuando aquellos que son considerados como residuos peligrosos conforme a la normatividad vigente aplicable a la materia.	

Figura 5. Normativa en México RAEE (NOM-161-SEMARNAT-2011)

Estudio	Nivel	Número de habitantes	Residuos estimados (t)	Generación per cápita (kg/año por habitante)
Diagnóstico de RAEE en México (2015)	Nacional	119 938 473 (2015)	1 103 570	9.2 (2015)

Cifras nacionales

Se estima que para **2021 México** tendrá una generación de: **1, 211.58 Kt**
Y para **2026** una generación de: **1, 353.71 Kt**

Figura 6. Generación de RAEE en México (SEMARNAT, 2017)

Las estrategias del plan de Marketing Social las llevarán a cabo un grupo de estudiantes de servicio social con las siguientes cualidades: responsables socialmente, creer en los cambios, capacidad de liderazgo y de trabajo en equipo, comprometidos con mejorar el medioambiente y gusto por aprender, manejo de herramientas informáticas y redes sociales. Dentro de las actividades de este grupo promoverán la generación de un imago tipo y el lema, y la campaña de concientización mediante la creación y manejo de contenido digital, que posteriormente se pretende sea publicado y promocionado en las redes sociales como: Instagram, Facebook y Tiktok (Hütt, 2012, Islas, et al. 2011); así mismo se darán charlas informativas en la radio y afiches en la radio y gaceta de CUValles. Por otra parte, se requerirá obtener información de la Dirección de Ecología del Ayuntamiento de Ameca sobre datos obtenidos de las campañas de recolección de RAEE, mediante entrevistas recopilarán su experiencia realizando esta actividad. También realizarán encuestas para recopilar información acerca del grado de conciencia ambiental en el manejo de residuos sólidos de los alumnos, académicos y administrativos de CUValles. Finalmente, como parte de la información promoverán el programa de acción como el taller de aprovechamiento integral de los RAEE.

3.2.3 Implementación

Es de vital importancia que el grupo de servicio social, así como la difusión de la campaña de concientización sea de carácter permanente. De esta manera se persigue que los costos se perciban inferiores a los beneficios obtenidos por alcanzar el comportamiento que se propone, y a su vez los alumnos puedan tener un programa permanente para realizar un proyecto social. En esta propuesta los costos están vinculados esencialmente al tiempo y esfuerzo físico necesario del grupo de servicio social y de la población objetivo para participar de las actividades.

Dar seguimiento a los resultados de las estrategias y programas permitirá evaluar los resultados y posteriormente tomar medidas correctivas para garantizar que se cumplan los objetivos del Plan de Marketing Social. Los mecanismos de seguimiento y evaluación estarán definidos por:

- Reuniones periódicas semanales con el grupo de servicio social para el planteamiento de las actividades para concientizar a la comunidad de CUValles sobre la importancia de reciclar y recuperar los materiales de los RAEE.
- Reuniones mensuales con el grupo de servicio social para reforzar y hacer seguimiento de las estrategias planteadas del manejo de residuos sólidos.
- Realizar encuestas cada 4 meses a la comunidad de CUValles para evaluar la participación en las estrategias y programas para la recolección y el reciclaje de los RAEE en CUValles.

3.3 Programas de acción: Taller de aprovechamiento integral de los RAEE

El taller de aprovechamiento integral de los RAEE fue la primera estrategia del plan de Marketing Social en llevarse a cabo. Este taller fue promovido como un taller de formación

integral en el CUValles. El objetivo de este taller es poner en práctica los conocimientos de los estudiantes del CUValles de las carreras de Ingeniería en Mecatrónica, en Computación y Electrónica, en Sistemas Biológicos e en Instrumentación, Electrónica y Nanosensores, recolectar componentes electrónicos que les sean de utilidad para sus prácticas escolares, también introducir al estudiante en el conocimiento ecológico para la generación de una cultura ambiental que permita la preservación de un medioambiente sustentable. El taller se ofertó para toda la comunidad estudiantil de CUValles. Este taller está organizado en 8 sesiones de 2 horas cada una. La participación de los estudiantes del CUValles fue indispensable, su intervención consistió en: la recolección de los RAEE, el reciclaje de los RAEE y la separación fina de los materiales que componen a los RAEE (figura 7).

En el taller se desmantelaron algunos RAEE como celulares, computadoras y aparatos electrodomésticos. Se realizó la separación fina para la recuperación de materiales valiosos. Los materiales recuperados de los RAEE se clasificaron como: metales ferrosos (que contiene hierro); metales no ferrosos (metales distintos al hierro); plástico; vidrio; madera; y algunos metales preciosos como, oro, plata, platino y cobre (Chatterjee y Kumar, 2009; Ongondo et al., 2010); los cuales se obtienen a partir de placas de circuitos eléctricos (PCB), cables, baterías, chips, pantallas de cristal líquido, micro cámaras, micrófonos, componentes electrónicos como: resistencias, capacitores, diodos, diodos led, transistores, bobinas, relevadores, potenciómetros, fusibles y transformadores, puertos USB, transistores, motores, cables, tornillos, pilas, temporizadores, tarjetas con oro y plata, fueron algunos de los elementos recuperados del desmantelamiento de los aparatos electrónicos reciclados. La separación de estos materiales fue realizada con cuidado de aquellas piezas que no representan un riesgo biológico para la salud ni el medioambiente, como los que se describieron en el paso 3 de la metodología y la sección 3.1 de los resultados.

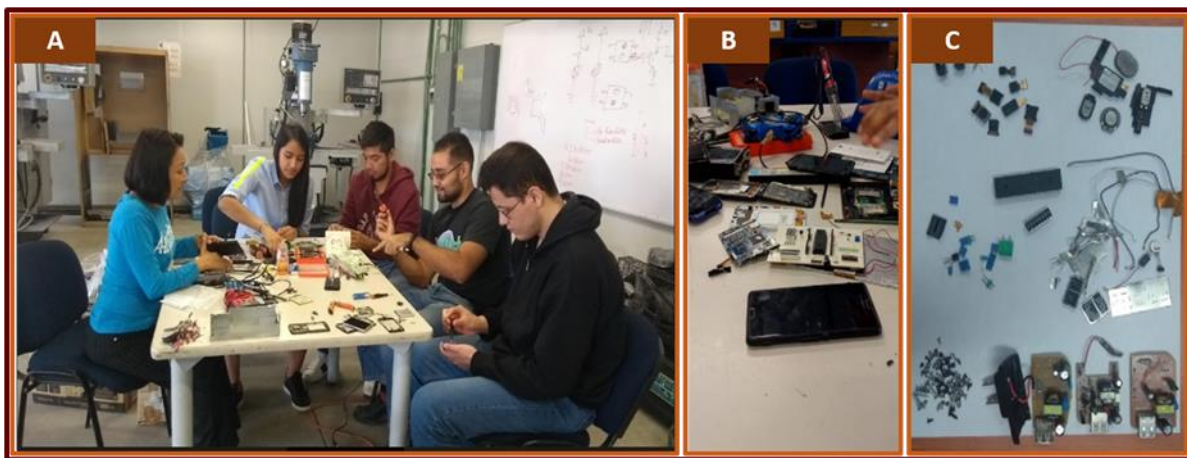


Figura 7. Resultados del taller de RAEE. a) Alumnos en el taller de las carreras de Ingeniería en Mecatrónica, en Computación y Electrónica, en Informática, en Sistemas Biológicos e en Instrumentación, Electrónica y Nanosensores del CUValles. b) Piezas electrónicas para la separación fina de los materiales recuperados. c) Componentes electrónicos recuperados de algunos RAEE

4. Conclusiones

La revisión bibliográfica en las bases de datos de Google Scholar sobre las temáticas: reciclaje de los RAEE en Universidades y la concientización en temas ambientales, abrieron el panorama para la generación de una metodología para el reciclaje y recuperación de AEE en CUValles. Esta metodología fue diseñada en cuatro fases (recolección, clasificación, cuantificación y recuperación) para el reciclaje de RAEE en el Centro Universitario de los Valles de la Universidad de Guadalajara. La última fase consiste en la separación fina de los componentes eléctricos y electrónicos para poner en práctica los conocimientos de los alumnos, recolectar componentes que les puedan ser útiles para sus prácticas de laboratorio y que se genere una cultura medioambiental en la comunidad de CUValles.

El éxito de la implementación de la metodología depende de una efectiva concientización sobre el reciclaje y recuperación de los materiales de los RAEE, para ello se diseñó un Plan de Marketing Social, técnica que promueve la aceptación de una idea y el cambio en la cultura social. Mediante la etapa de diagnóstico del Plan de Marketing se identificaron los siguientes problemas: 1) escasa información municipal sobre el acopio de los RAEE, su manejo como residuos peligrosos, y de reciclaje de estos en Ameca; 2) falta de un programa constante de cultura medioambiental sobre los RAEE en la población de Ameca; 3) posible acumulación de RAEE en los hogares de los alumnos debido a que no se registran campañas de recolección desde el 2017. Por lo que se estableció el objetivo del Plan de Marketing Social para concientizar a la comunidad de CUValles, donde se identificaron tres problemas, para los que se plantearon varias actividades y estrategias. Como parte de las estrategias para la concientización se llevó a cabo el taller de aprovechamiento integral de los RAEE, donde los alumnos de CUValles participaron activamente.

Referencias bibliográficas

Alonso-Vázquez, M. (2006) Marketing social corporativo, una nueva estrategia comercial en España; en Contribuciones a la Economía. Encontrado en: <http://www.eumed.net/ce/>

Araiza-Aguilar, J.A., Escobar-López, K.B., Nájera Aguilar, J.A. (2016). Diagnóstico de generación y manejo de los residuos eléctricos y electrónicos en instituciones educativas: un caso de estudio. Ingeniería, 20 (2), 115-126. ISSN: 1665-529X. Fecha de Consulta 5 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750928006>

Ayuntamiento de Ameca (2014). Plan Municipal de Desarrollo 2014. Fecha de consulta 28 de septiembre del 2021. Disponible en: <http://seplan.app.jalisco.gob.mx/files2/PDM2004/Ameca.pdf>

Ayuntamiento de Ameca (2018). Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021. Fecha de consulta 28 de septiembre del 2021. Disponible en: <https://plan.jalisco.gob.mx/sites/default/files/planesmunicipales/Ameca.pdf>

Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P. (2017). Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos, Universidad de las Naciones Unidas (UNU), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Viena. Fecha de Consulta 5 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/GEM%202017-S.pdf>

Carl-Roth. (2016a). Ficha de datos de seguridad. Fecha de Consulta 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-2400-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVoc3wyMjI2MTd8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVocy9oY2MvaDJIJLzG5NTA4NjY5Njg2MDYucGRmfDZlZDFlYTNlMGQ1N2Y2NTFhYzhlODIzMjMwNjMzYjkzZjJlMDNjMjRmZGYxZGFjMGZiNDRkOTAYzTg3YTMmYyYjM>

Carl-Roth. (2016b). Ficha de datos de seguridad. Fecha de Consulta 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-2405-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVoc3wyMTc5NDN8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVocy9oYzYvaDA1LzG5NTA4NTQ3Nzg5MTAucGRmfGVmNmJiZmIzNTgyNjdjMDg3NzRhZWU5YTQ3YTVlNjI2MDIyOTI1Y2ZkNDJlYlFlkZDQ0M2Y0MDdlNThmN2NjYzY>

Carl-Roth. (2016c). Ficha de datos de seguridad. Fecha de Consulta 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-2409-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVoc3wyMTExMjV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVocy9oOTkvaDMxLzG5NTA4NjQ2NDIwNzZucGRmfDFiNzVjZmVmNzI0MmY1YjcyYmE1ZGU1OGQzNjllNjhiZTRlMzBjZDA5MDDjZjIwYjE1MmFmZGFjN2IzZDcxYjE>

Carl-Roth. (2016d). Ficha de datos de seguridad. Fecha de Consulta 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-2491-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVoc3wyNDk5Mjh8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVocy9oYzZkvaDdjLzG5NTA4NjZkOTM0MzZucGRmfDQyNmE0YjBkNTI4YjE5MmZmZTYxODliMwY2MzBjOTZmYzM4N2NlMmQ0ZGZlZWYzODNhYjNiNjY2ZTZQwNjUxOGY>

Carl-Roth. (2016e). Ficha de datos de seguridad. Fecha de Consulta 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-4547-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVoc3wyMTYxMDB8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVocy9oZWQvaDg1LzG5NTA4ODc3MTA3NTAucGRmfGRkNGRiMDcwNjg0MmQyNTcxMDIzYzEwOTcxNTM0MjFmOWU1MGnkOGY2ZTMmYmZlZDkzMDDlZGJlNzk>

Carl-Roth. (2019). Ficha de datos de seguridad. Fecha de Consulta 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-2734-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVoc3wyNzgwODd8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVocy9oMGmvaGE5LzG5NTA4NTc2OTUyNjIucGRmfDkzMDg0NDcxNGFiMWEwZmViMDljOWM2NzgwZjJkNWQxMDVkm2I0MTUzNTU2ZWFlMzFiYjFiYTBlkzNzQyNmEyOGI>

Carl-Roth. (2020). Ficha de datos de seguridad. Fecha de Consulta 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-7593-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVoc3wzNDA4MjI8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGFoYXNoZWVocy9oODEvaGEyLzG5ODcyNjM2NjQxNTgucGRmfDA5Y2VjMThlNDZmNmI4ZTQyOThlM2IxZTVmYThkNzBjNjAzYTY2YzA0ODIwNzVmZTY2YmZlZDkzMDDlZGJlNzk>

Cesaro, A., Belgiorno, V., Vaccari, M., Jandric, A., Chung, R.D., Isabel Dias, M.I. Andrew Hursthouse, A., Salhofer, S. (2018). A device-specific prioritization strategy based on the potential for harm to human health in informal WEEE recycling. *Environ Sci Pollut Res* 25, 683–692. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0390-7>

Cesaro, A., Belgiorno, V., Gorrasi, G. (2019) A relative risk assessment of the open burning of WEEE. *Environ Sci Pollut Res* 26, 11042–11052. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04282-3>

Chatterjee, S., Kumar, K. (2009). Effective electronic waste management and recycling process involving formal and non-formal sectors. *International Journal of Physical Sciences*, 4 (13), 893–905. <http://www.academicjournals.org/ijps>

Cortés, A.M., Herrera, R. (2017). Reciclación UAM-X. Espacio Diseño, ISSN 2448-8429, 247, 25-29. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/16222>

CUSur (2021). Campaña CAPRE. Coordinación de Tecnologías para el Aprendizaje. Fecha de Consulta 28 de septiembre de 2021. Disponible en: <http://www.cusur.udg.mx/es/campana-capre>

CUValles (2021). Numeralia. Coordinación de Tecnologías para el Aprendizaje. Fecha de Consulta 28 de septiembre de 2021. Disponible en: http://www.web.valles.udg.mx/acerca_de/numeralia

Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. (2020). Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos – 2020: Cantidades, flujos y potencial de la economía circular. Universidad de las Naciones Unidas (UNU)/Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR) – coorganizadores del programa SCYCLE, Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Rotterdam. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM-2020Spanish.pdf?csf=1&e=Kfdt3X>

Fernández, R. (2011). La función formativa o educativa en el Periodismo Ambiental. Contribuciones a las Ciencias Sociales. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/52287/La%20funci%c3%b3n%20formativa%20o%20educativa%20del%20periodismo%20ambiental.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hai-Yong, K., Schoenung, J.M. (2005). Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options. Resources, Conservation and Recycling, 45 (4), 368-400, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.06.001>.

Hütt, H. (2012). Las redes sociales: una nueva herramienta de difusión. Escuela de Ciencias de La Comunicación Colectiva, Universidad de Costa Rica, 91 (2), 121-128. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/reflexiones/article/view/1513/1521>

IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco), 2019. Ameca Diagnostico del Municipio Diciembre 2019. Fecha de consulta 28 de septiembre del 2021. Disponible en: <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2020/09/Ameca.pdf>

Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2019). Principales resultados de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH), 2018. <https://iieg.gob.mx/contenido/PoblacionVivienda/FichaENDUTIH2018VF.pdf>

Islas, C., Carranza, M.R. (2011). Uso de las redes sociales como estrategias de aprendizaje. ¿Transformación educativa? Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal, 3 (2). <https://www.redalyc.org/pdf/688/68822737001.pdf>

Kotler, P., y Roberto, E.L. (1992). Marketing Social: estrategias para cambiar la conducta pública. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.

Leandro, S. (2012). Educar para otro mundo posible. Córdoba: Bubok, Publishing S.L, España. ISBN: 978-84-9981-622-7

Ley General Para La Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación. DOF 18-01-2021. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf

Martín, D.S. (2016). Los RAEEs un nuevo flagelo ambiental y sanitario de la humanidad. Universidad Nacional de Luján. Tesis. Fecha de Consulta 5 de Septiembre de 2021. Disponible en: <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/494/Tesis%20Los%20RAEEs%20un%20nuevo%20flagelo%20ambiental%20y%20sanitario%20de%20la%20humanidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

NCBI (National Center for Biotechnology Information) (2021). PubChem Compound Summary for CID 11852, Pentabromophenol. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Pentabromophenol>.

NCBI (National Center for Biotechnology Information) (2021). PubChem Compound Summary for CID 6618, Tetrabromobisphenol A. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Tetrabromobisphenol-A>.

Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-019-AMBT-2018 – Residuos Eléctricos Y Electrónicos –. Recuperado de: https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/Gaceta454_Aviso_NADF-019-AMBT-2018.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. SEMARNAT. Recuperado de: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-semarnat-2011.pdf>

Ongondo, F. O. Williams, I. D., Cherret, T. J. (2010). How are WEEE doing? A global review of electrical and electronic wastes. *Waste Management*, 31 (2011), 714-730. doi:10.1016/j.wasman.2010.10.023

Paico-Medina, A.P. (2017). Plan de Marketing Social para la Concientización Ambiental en la Ciudad de Chiclayo – 2016. Tesis de Licenciatura. a Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo. Perú. pp. 75.

Perez-Romero, L.A. (2004). *Marketing Social. Teoría y Práctica*. Pearson Educación. México. ISBN 970-26-0541-5. ProQuest Ebook Central en <https://ebookcentral.proquest.com/lib/wdgbiblio/detail.action?docID=5134183>.

Rocha-Gutiérrez, B.A., Peralta-Pérez, M.R., Zavala-Díaz De La Serna, F.J. (2015). Revisión global de los contaminantes emergentes PBDE y el caso particular de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 31 (3), 311-320, <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n3/v31n3a10.pdf>

Saldaña-Durán, C.E., Messina-Fernández, S.R. (2020). E-waste recycling assessment at university campus: a strategy toward sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 23 (2), 2493-2502, <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00683-4>

SEMARNAT, (2017). Inventario de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en México. Escala nacional y estatal para Jalisco, Baja California, y Ciudad de México. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Proyecto #92723 “Manejo Ambientalmente Adecuado de Residuos con Contaminantes Orgánicos Persistentes” (Residuos COP). México. <https://drive.google.com/file/d/1DlhHfvVypSWMTL4udalNoeypRykWqEoW/view>

Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México. (sf). *Recicladrón*. Fecha de Consulta 26 de septiembre de 2021. Disponible en: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/reciclatron/index.html>

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional. (sf). *Recicladrón*. Fecha de Consulta 4 de septiembre de 2021. Disponible en: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/reciclatron/index.html>

Vaccari, M., Vinti, G., Cesaro, A., Belgiorno, V., Salhofer, S., Dias, M.I., Jandric, A. (2019). WEEE Treatment in Developing Countries: Environmental Pollution and Health Consequences—An Overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (9), 1595. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091595>

Factores críticos para una iniciativa de campus verde. El caso de Basura Cero en la UNAM.

¹Nancy Merary Jiménez-Martínez, ¹Teresita Elisa Ruiz Pantoja

¹Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM. Av. Universidad s/n, Circuito 2. C.P. 62210

Col. Chamilpa, Ciudad Universitaria de la UAEM. Cuernavaca, Morelos. México.
njimenez@crim.unam.mx

Resumen

Se evalúan los alcances de una estrategia de campus verde, el programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios con enfoque basura cero, a partir de la evidencia empírica recopilada con una encuesta de percepciones sobre el mismo, levantada en la comunidad de campus Morelos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a finales de 2020. Los resultados indican que la movilización de tres factores críticos: personas, procesos y lugar han sido fundamentales para la permanencia de esta iniciativa de enverdecimiento del campus.

Palabras Clave: *campus verde, educación para el desarrollo sustentable, gestión ambiental universitaria.*

1. Introducción

Para alcanzar el desarrollo sustentable, a las universidades, en tanto instituciones que preparan a los líderes futuros, se les pide mostrar acciones responsables que articulen sus tareas sustantivas en un enfoque universitario integral hacia la educación para la sustentabilidad (Mcmillin y Dyball, 2009). En otras palabras, las universidades están llamadas a desarrollar, enseñar y difundir los conocimientos necesarios para enfrentar la crisis medioambiental y promover internamente una ecología institucional práctica, expresada en modelos concretos que pongan la sustentabilidad en acción.

Por lo que las contribuciones de las universidades hacia el desarrollo sustentable deberán dirigirse a dos ámbitos; al exterior, a partir de sus tareas de investigación y docencia, las cuales estarán orientadas al desarrollo de conocimientos y capacidades para la sustentabilidad; y al interior, con la puesta en marcha de iniciativas ambientales en sus campus.

El modelo de campus verde ha sido una de las vías para avanzar en el compromiso con la Educación para el Desarrollo Sustentable (EDS) en el segundo ámbito, e implica insertar los principios de la sustentabilidad en la gestión estratégica universitaria como

parte de su responsabilidad. Las iniciativas de campus verde consisten en *estrategias que permiten a la universidad desarrollar estructuras que apunten a reducir los impactos ambientales negativos, así como a proveer un medioambiente que afecte positivamente el desarrollo social, enfocándose en acciones innovadoras hacia la sustentabilidad* (Ribeiro *et al.*, 2019:439). Dichas acciones persiguen al menos tres objetivos: *mejorar la eficiencia, proteger y restaurar los sistemas ecológicos, además de incrementar el bienestar de las personas* (Saleh *et al.*, 2011:270).

El *enverdecimiento del campus* (Ribeiro *et al.*, 2019) es un proceso que convierte a las universidades en plataformas de innovación para el desarrollo sustentable. Pero para que este proceso pueda desarrollarse debe anidarse en una de las funciones universitarias fundamentales, esto significa que el *enverdecimiento del campus* no es automático, sino que debe implantarse en la gestión universitaria y a partir de ahí decantarse en elementos concretos que serán movilizados para reducir los impactos ambientales del campus.

Las personas, los procesos y el lugar se consideran factores críticos para una implementación verde exitosa (Hooi *et al.*, 2012); es decir, son elementos indispensables que la gestión universitaria pone en acción para operativizar dicha implementación. La componente *personas* trata de la *gestión de recursos humanos y talento, el desarrollo e intercambio de conocimientos, la cultura y estilo de gestión*; pero también contempla *los servicios que se brindan al personal y la comunidad*, de modo que esta componente va más allá de *proporcionar a la gente de la organización una buena calidad ambiental interna*. La componente *procesos* se refiere a *los procesos primarios y secundarios de la organización*; es decir, *los pasos de valor agregado que la organización realiza*, aunque también considera *las estrategias, normas y políticas del lugar de trabajo para mejorar la sustentabilidad*. Y el *lugar* se refiere a *las instalaciones, locaciones y funcionalidades, (...) y los servicios allí prestados*, así como los aspectos asociados a su gestión (Hooi *et al.*, 2012:532).

El campus Morelos tiene avances significativos en el ámbito del campus verde: se cuenta con equipos y sistemas ahorradores de agua y energía, se privilegia la adquisición y uso de materiales reciclados y reciclables, se sustituyeron los productos limpiadores químicos por biodegradables, entre otras acciones tendientes a reducir los impactos ambientales de la operación cotidiana. Lo anterior, junto con el programa Basura Cero ha permitido que tres de sus siete entidades universitarias (el Instituto de Energías Renovables, la Coordinación de Servicios Administrativos y el Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias) hayan recibido el Distintivo Ambiental Oro, el máximo reconocimiento al desempeño ambiental otorgado por la Estrategia de Universidad Sustentable (ECOPUMA) de la UNAM.

Este trabajo recupera el planteamiento conceptual de los factores críticos de Hooi y colaboradores (2012) para evaluar los alcances del programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios con enfoque basura cero (MIRSU-Bo), que como ninguna otra estrategia de gestión medioambiental, precisa del compromiso de la comunidad universitaria para su desarrollo, con ello se busca dar cuenta de qué tanto *las personas, los procesos y el lugar* constituyen factores críticos para que esta iniciativa de sustentabilidad universitaria siga adelante.

2. Metodología

Las categorías conceptuales fueron abordadas de la siguiente manera. *Personas*: se consideró a los tres sectores de la comunidad universitaria, estudiantes y profesores, trabajadores sindicalizados y administradores y funcionarios; sus conocimientos y percepciones del programa.

Procesos: el foco fueron las dos actividades fundamentales del MIRSU-Bo, la capacitación de la comunidad y las actividades de difusión, entendidos como estrategias para mejorar la sustentabilidad y de valor agregado del programa.

Lugar: se incluyó al campus universitario y la infraestructura instalada del programa.

Este estudio se desarrolló mediante una técnica de estadística descriptiva y a partir de la información obtenida con la “Encuesta sobre percepciones del programa basura cero 2020”, cuya estructura buscó cubrir tres aspectos para orientar la toma de decisiones del programa: evaluar el conocimiento general de la población universitaria sobre el MIRSU-Bo, la infraestructura instalada para hacerlo operativo y la satisfacción de los usuarios con el mismo; valorar el conocimiento sobre las actividades de difusión del programa así como su interpretación de la calidad y el formato de los materiales difundidos; y conocer la percepción de los usuarios sobre las actividades de capacitación del programa, su modalidad preferida, duración y el número de participantes.

La encuesta fue autoadministrada. Se envió por correo electrónico a la comunidad universitaria, de aproximadamente dos mil personas, a finales del 2020 y fue respondida por 83 participantes de los tres sectores universitarios de las entidades académicas: Centro de Ciencias Genómicas (CCG), Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM), Instituto de Biotecnología (IBT), Instituto de Energías Renovables (IER) y la Unidad Cuernavaca del Instituto de Matemáticas (UCIM), así como de la dependencia universitaria del campus, la Coordinación de Servicios Administrativos (CSA).

3. Resultados

Personas

Uno de los aspectos centrales de las iniciativas de campus verde es provocar la participación y la conciencia para la sustentabilidad entre la sociedad (Lauder *et al.*, 2015), en este sentido los resultados de la encuesta indican que con el MIRSU-Bo se ha avanzado de manera importante en este tema.

Por una parte, previo al inicio de operaciones del programa en 2015, se hizo una encuesta para conocer la disposición de la comunidad universitaria hacia la estrategia de separación de residuos que estaba por iniciar. En esa ocasión se encontró que 22% de los encuestados pensaba que nadie separaría los residuos, 25% que separar los residuos no servía y 26% que era poco probable que todos contribuyeran a la separación. En ese momento, la separación de los residuos se ubicaba como la tercera prioridad medioambiental del campus (junto con la conservación de las áreas verdes), debajo del cuidado del agua y del impulso a las energías renovables.

Después de cinco años del MIRSU-Bo, se encontró que a casi todas las personas encuestadas (78/83) les parece muy importante separar los residuos en el campus para enviarlos a procesos de aprovechamiento, tanto reciclaje como compostaje; es decir, este tema cobró mayor importancia entre la comunidad universitaria.

Por otra parte, de acuerdo con lo referido por los propios encuestados, se tiene un nivel de conocimiento aceptable del programa (53/83), como se observa en la Tabla 1, en donde también se muestra que una proporción importante de encuestados (22/83) declararon saber poco del mismo, más adelante se abunda en este aspecto.

Tabla 1. Conocimiento del MIRSU-Bo

Qué tanto conoce del Programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios, con enfoque Basura Cero (MIRSU-Bo)	Entidad de adscripción UNAM						Total
	CCG	CRIM	CSA	IBT	IER	UCIM	
No sabe nada del MIRSU-Bo						2	2
Sabe poco del MIRSU-Bo		6	1	10	5		22
Tengo amplios conocimientos del MIRSU-Bo	1	1		1	2	1	6
Tengo un conocimiento aceptable del MIRSU-Bo	4	7	2	22	13	5	53
Total	5	14	3	33	20	8	83

En relación con el nivel de satisfacción de los usuarios con el MIRSU-Bo, la mayoría dijeron sentirse satisfechos con el funcionamiento del programa (60/83). Sin embargo, como se presenta en la Tabla 2, también se destacan dos extremos. Por un lado, 11/83 refirieron estar altamente satisfechos y por el otro, igual número de encuestados expresó sentirse poco satisfecho. Lo que indica que debe prestarse especial atención a determinados perfiles dentro de la comunidad universitaria, específicamente en las dos entidades académicas más grandes, el IBT y el IER.

Tabla 2. Satisfacción con el MIRSU-Bo

Qué tan satisfecho(a) se siente con el funcionamiento del programa MIRSU-Bo	Entidad de adscripción UNAM						Total
	CCG	CRIM	CSA	IBT	IER	UCIM	
Altamente satisfecho(a)		3		2	4	2	11
Completamente insatisfecho(a)					1		1
Poco satisfecho(a)		1		5	4	1	11
Satisfecho(a)	5	10	3	26	11	5	60
Total	5	14	3	33	20	8	83

Estas variables indican que el MIRSU-Bo ha sido útil para incrementar la conciencia sobre la importancia del manejo integral de los residuos, también que se trata de una iniciativa conocida entre los miembros de la comunidad y que hasta ahora su desempeño se juzga satisfactoriamente en el campus. Por lo que podemos decir que la componente personas es

un factor fundamental para el sostenimiento del programa después de cinco años de haberse iniciado.

Además, un análisis de correlación entre las preguntas dirigidas a captar la percepción que tienen los usuarios acerca del MIRSU-Bo, habla de una relación sobresaliente entre el grado de conocimiento que se tiene de éste y el grado de satisfacción con su funcionamiento, asociación estadística de 40% entre ambas respuestas, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Relación entre conocimiento y satisfacción con el MIRSU-Bo

Qué tanto conoce el programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios con enfoque basura cero (MIRSU-Bo) que se implementa en el campus Morelos	Qué tan satisfecho(a) se siente con el funcionamiento del programa MIRSU-Bo				Total
	Completamente insatisfecho(a)	Altamente satisfecho(a)	Satisfecho(a)	Poco satisfecho(a)	
Tengo amplios conocimientos		3	3		6
Tengo conocimiento aceptable	1	6	44	2	53
Sabe poco		2	12	8	22
No sabe			1	1	2
Total	1	11	60	11	83

*Hay asociación estadística con base en la prueba Ji_cuadrada y p_value <0.05

Este resultado enfatiza la importancia de difundir constantemente las actividades del MIRSU-Bo entre la comunidad universitaria. Anteriormente, en la Tabla 1 se destacó que 22/83 encuestados declararon saber poco del programa, lo que repercute en el nivel de satisfacción que tienen con el mismo.

Procesos

La capacitación en el MIRSU-Bo es un proceso permanente y con dos enfoques: de iniciación, dirigido a los nuevos integrantes de la comunidad (estudiantes, trabajadores, funcionarios) para instruirlos en las prácticas de separación y manejo de los residuos; y basada en el desempeño, esto es, orientada los miembros de la comunidad cuya evaluación mensual obtenida en el modelo de seguimiento del programa es deficiente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, más de la mitad de los encuestados ha recibido capacitación del programa (48), 26 dijeron que aún no la han recibido y 9 que no han podido asistir. Se destaca que hay un interés por participar en esta actividad de formación y entrenamiento en separación de residuos, como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Interés en la capacitación del MIRSU-Bo

Qué tan interesado(a) está en recibir capacitación del Programa MIRSU-Bo	Entidad de adscripción UNAM						Total
	CCG	CRIM	CSA	IBT	IER	UCIM	
Altamente interesado(a)	1	3		9	8	3	24
Interesado(a)	3	10	3	17	6	5	44
No me interesa				1	2		3
Poco interesado(a)	1	1		6	4		12
Total	5	14	3	33	20	8	83

Estos resultados se vinculan con el nivel de satisfacción reportado por las personas que ya fueron capacitadas, a saber, 35 dijeron estar satisfechas con esa actividad y 12 altamente satisfechas, 27 respondieron que en la capacitación contaron con la información necesaria para desarrollar el programa en su entidad.

En este sentido, se encontró que hay una relación notable (de 33%) entre el grado de conocimiento que se tiene del programa y haber recibido capacitación por parte del equipo responsable, como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Relación entre conocimiento del MIRSU y recibir capacitación

Qué tanto conoce el programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios con enfoque basura cero (MIRSU-Bo) que se implementa en el campus Morelos	Ha recibido capacitación por parte del equipo Basura Cero			Total
	Si	No	No he podido asistir	
Tengo amplios conocimientos	5	1		6
Tengo conocimiento aceptable	35	14	4	53
Sabe poco	8	9	5	22
No sabe		2		2
Total	48	26	9	83

*Hay asociación estadística con base en la prueba Ji_cuadrada y p_value <0.05

Por otra parte, en cuanto al reconocimiento de las actividades de difusión, la encuesta arrojó que setenta y dos encuestados han recibido algún material del programa (72/83). Lo que revela que este proceso tiene amplio alcance entre la comunidad, quizá debido a la diversidad de materiales que se elaboran y que los encuestados identifican: folletos y carteles, curso de compostaje, pláticas o videos de cómo separar los residuos, e infografías, o los diferentes medios por los cuales los usuarios se allegan de dichos materiales.

Se destaca que, aunque el correo electrónico es el medio principal por el cual la comunidad se entera de lo que ocurre con el programa, éste se combina con una amplia variedad de canales, entre los cuales sigue estando vigente la transmisión de la información en los espacios del campus. Este resultado apunala lo encontrado por otros (Ávila *et al.*, 2017), que una de las tareas de las universidades hacia el desarrollo sustentable consiste en proporcionar información sobre los esfuerzos de sustentabilidad que despliega en su

interior, y que estas actividades deben ser adecuadas a la comunidad universitaria y sus rutinas.

Dos aspectos destacan de las actividades de difusión del MIRSU-Bo. En primer lugar, que hay una relación importante entre el grado de conocimiento que se tiene del programa y haber recibido algún material de difusión de éste, con una asociación de 43%, como se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Relación entre conocimiento del MIRSU y materiales de difusión

Qué tanto conoce el programa de manejo integral de residuos sólidos urbanos con enfoque basura cero (MIRSU-Bo) que se implementa en el campus Morelos	Ha recibido algún material de difusión del MIRSU-Bo		Total
	Sí	No	
Tengo amplios conocimientos	6		6
Tengo un conocimiento aceptable	50	3	53
Sabe poco	16	6	22
No sabe		2	2
Total	72	11	83

*Hay asociación estadística con base en la prueba Ji_cuadrada y p_value<0.05

Asimismo, se encontró que el grado de satisfacción que tienen los encuestados con el funcionamiento del programa se relaciona en 33% con haber recibido algún material de difusión del MIRSU, lo que se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Relación entre satisfacción con el MIRSU y materiales de difusión

Qué tan satisfecho(a) se siente con el funcionamiento del programa MIRSU-Bo	Ha recibido algún material de difusión del MIRSU-Bo		Total
	Sí	No	
Completamente insatisfecho(a)	1	0	1
Altamente satisfecho(a)	11	0	11
Satisfecho(a)	54	6	60
Poco satisfecho(a)	6	5	11
Total	72	11	83

*Hay asociación estadística con base en la prueba Ji_cuadrada y p_value<0.05

Ambas actividades, la capacitación y difusión, constituyen procesos fundamentales que el MIRSU-Bo desarrolla como método de trabajo y ofrece a la comunidad para generar mayor valor en la percepción del programa, para mejorar el desempeño de los usuarios en temas de separación y manejo de residuos y para concertar las metas y objetivos que la comunidad del campus tiene hacia la sustentabilidad.

Lugar

El ambiente creado por el MIRSU-Bo, producto de la articulación de los factores *personas y procesos*, ha permitido orientar a la comunidad a actuar de forma sustentable. La

encuesta apunta que con el MIRSU-Bo, se observa un cambio en el manejo que reciben los residuos sólidos urbanos del campus (74/83). La Tabla 8 enlista los principales cambios identificados, los dos primeros corresponden con los objetivos del programa.

Tabla 8. Cambios que el MIRSU-Bo ha provocado

Cambios derivados del MIRSU-Bo en el campus	Entidad de adscripción UNAM						Total
	CCG	CRIM	CSA	IBT	IER	UCIM	
Clasificación de los residuos según el bote de separación	3	8	2	20	12	5	50
Tratar de reducir los desechos	1	2		7	3	2	15
Otras respuestas:							
El campus se ve más limpio					1		1
Mayor identificación con el cuidado del ambiente			1	1			2
Mayor conciencia		2					2
Total	4	12	3	28	16	7	70

Por otro lado, hacer cambios en la manera en cómo los usuarios manejan sus residuos se relaciona en 20% con haber recibido material de difusión del programa, y en 18.3% con haber recibido capacitación por parte del equipo encargado (Tabla 9). Lo que permite suponer que el éxito del MIRSU está relacionado con la difusión y con la capacitación que se brinda a los usuarios del campus para que lo integren a su modo de vida dentro y fuera de la Universidad.

Tabla 9. Relación entre procesos y cambios en el manejo a los residuos

Ha recibido algún material de difusión del programa MIRSU-Bo	Ha notado algún cambio en la manera en que maneja sus residuos a partir de que conoce el MIRSU-Bo		Total	Ha recibido capacitación por parte del equipo Basura Cero	Ha notado algún cambio en la manera en que maneja sus residuos a partir de que conoce el MIRSU-Bo		Total
	Sí	No			Sí	No	
Sí	66	6	72	Sí	46	2	48
No	8	3	11	No	20	6	26
				No he podido asistir	8	1	9
Total	74	9	83	Total	74	9	83

*Hay asociación estadística con base en la prueba χ^2 cuadrada y $p_value < 0.10$

Finalmente, algunas personas encuestadas refirieron que a partir del MIRSU-Bo han visto un cambio que “se refleja en nuestro ambiente ecológico, laboral y social”, es decir, con repercusiones en el lugar y las personas. Otra más declaró que, derivado del programa obtuvieron herramientas para extender el manejo de residuos a su casa, lo que afianza la idea de que un campus universitario es un enclave que propone acciones cotidianas para la sustentabilidad que terminarán convirtiéndose en un ejemplo, primero, para la comunidad universitaria y después, para la comunidad general.

4. Conclusiones

El programa de manejo integral de residuos sólidos universitarios conocido como “Basura Cero”, entendido como una estrategia de campus verde, se ha afianzado en tres factores críticos de la gestión universitaria: las *personas*, los *procesos* y el *lugar*. Estos factores críticos han permitido que el MIRSU-Bo se sostenga después de cinco años de implementación y cumpla con sus objetivos.

Con la movilización de estos tres factores, la gestión universitaria del campus Morelos avanza en su compromiso con la Educación para el Desarrollo Sustentable, en la medida en que desarrolla en *el lugar* iniciativas que reducen sus impactos medioambientales, conduce a *las personas* a transitar hacia acciones concretas en beneficio del medioambiente y de su contexto social inmediato, y articula ambos factores a través de *procesos* pertinentes y adecuados a su comunidad.

Con este trabajo se señala que el *enverdecimiento del campus* no es un proceso menor, ni aislado de las tareas sustantivas universitarias, y que podría convertirse en una potente plataforma de innovación para el desarrollo sustentable, siempre y cuando se asuma como parte de la gestión universitaria.

Referencias bibliográficas

Ávila LV, Leal Filho W, Brandli L, Macgregor CJ, Molthan-Hill P, Özuyar PG, Moreira RM (2017) Barriers to innovation and sustainability at universities around the world, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 164, 1268-1278. Obtenido desde <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.025>

Hooi KK, Hasan F, Mat MC (2012) An exploratory study of readiness and development of green university framework in Malaysia. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 50, 525-536. Obtenido desde <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.056>

Lauder, A. Fitri, R. Suwartha, N. Tjahjono, G. (2015). Critical review of a global campus sustainability ranking: GreenMetric, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 108, Part A., 852-863. Obtenido desde <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.080>

Mcmillin, J., & Dyball, R. (2009). Developing a Whole-of-University Approach to Educating for Sustainability: Linking Curriculum, Research and Sustainable Campus Operations. *Journal of Education for Sustainable Development*, 3(1), 55-64. <https://doi.org/10.1177/097340820900300113>

Ribeiro, J.M., Hoekesfeld, L., BocaSanta, S.L., Araujo, G.G., Jonk, A.V., Berchin, I.I., Andrade Guerra, J.B.S.O (2019). Students' Opinion About Green Campus Initiatives: A South American University Case Study en W. Leal Filho, W. y U. Bardi (Eds), *Sustainability on University Campuses: Learning, Skills Building and Best Practices* (pp. 437-452). Springer.

Saleh, A.A., Kamarulzaman, N., Hashim, H., Hashim, S.Z (2011) An approach to facilities management (FM) practices in higher learning institutions to attain a sustainable campus (Case study: university technology Mara-UiTM). *Procedia Engineering*, Vol. 20, 269-278. Obtenido desde <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.165>.

Microplásticos

Evaluación de la concentración de microplásticos en la playa Barra de Sontecomapan, a diferentes distancias de la desembocadura de la laguna Sontecomapan

Arely Areanely Cruz Salas¹, Juan Carlos Alvarez Zeferino², Jocelyn Tapia Fuentes², Alethia Vázquez Morillas², Sara Ojeda Benitez¹ y Samantha Eugenia Cruz Sotelo¹

¹Universidad Autónoma de Baja California. Calle Normal s/n Boulevard Benito Juárez. Col. Insurgentes Este, Parcela 44, 21100 Mexicali, Baja California, México, cruz.arely@uabc.edu.mx, sara.ojeda.benitez@uabc.edu.mx, samantha.cruz@uabc.edu.mx

²Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo Xalpa 180, Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, 02200 Ciudad de México, México, jucaf@azc.uam.mx, jtf@azc.uam.mx, alethia@azc.uam.mx

Resumen

Los microplásticos (MP) en los ambientes marinos son un tipo de contaminante omnipresente que ha evidenciado distintas afectaciones a la biota y a las propiedades abióticas de los ecosistemas. Los factores que condicionan su transporte y distribución incluyen los ambientales, las características de los MP, las fuentes de origen, la presencia de infraestructura, entre otros. El objetivo de este estudio fue analizar la variación en la concentración de microplásticos en la playa Barra de Sontecomapan, localizada en Catemaco, Veracruz, con base en tres distancias de la desembocadura de la laguna. En 24 de 30 muestras hubo presencia de MP a las cuales les correspondió un promedio general de 78.77 ± 32.77 MP/m². De las tres distancias evaluadas, la del punto 1 (a 1,400 m de las escolleras) que es la más cercana a la desembocadura de la laguna tuvo las mayores concentraciones con 105.81 MP/m², sin embargo, el análisis estadístico de Kruskal-Wallis arrojó que no existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de las concentraciones para estos tres puntos de muestreo. La alta concentración de MP en la zona de playa cercana a las escolleras y laguna podría deberse a que sus estructuras influyen en las corrientes marinas y a que presentan huecos en donde se almacenan grandes cantidades de residuos provenientes de diversas fuentes.

Palabras Clave: *contaminación marina, escolleras, plásticos, fragmentos.*

1. Introducción

La contaminación por microplásticos (MP) se ha convertido en una preocupación generalizada y creciente en todo el mundo, debido a la omnipresencia de los MP en todos los ecosistemas marinos (Liong et al., 2021).

Las afectaciones de los MP en los ecosistemas marinos pueden ser directas o indirectas, las primeras se presentan cuando el daño es causado directamente en los organismos, como la ingesta de MP en especies marinas, los cuales causan desórdenes alimenticios. Mientras que las afectaciones indirectas están relacionadas a los cambios en las propiedades abióticas de los ecosistemas, así como interferencia en funciones esenciales (ciclos biogeoquímicos) (Prata et al., 2021).

El 80 % de los residuos que llegan a los ecosistemas marinos son generados en la plataforma continental (Derraik, 2002) y una de las vías de entrada de éstos a los ecosistemas es el arrastre por ríos (Xu et al., 2021), en el trayecto una parte de los residuos plásticos se fragmentan convirtiéndose en MP (Ter Halle et al., 2016), los cuales siguen su curso y algunos se acumulan en los sedimentos (Hayes et al., 2021).

Los factores hidrogeológicos que se presentan en las desembocaduras de los ríos afectan la distribución de microplásticos en las playas (Tsering et al., 2021), así como las concentraciones, las cuales aumentan o disminuyen en respuesta a los cambios en el flujo (Chen et al., 2021).

Por otra parte, la Barra de Sontecomapan es una localidad situada en el municipio costero de Catemaco, Veracruz de Ignacio de la Llave, en la cual desemboca el cauce de la laguna de Sontecomapan. En 2018 se llevó a cabo un muestreo de microplásticos en una playa de arena, y se reportó un intervalo de 0 – 317.4 MP/m² con un valor de mediana de 114.6 (Cruz-Salas, 2020).

El objetivo de este estudio fue analizar la variación en la concentración de microplásticos en la playa Barra de Sontecomapan, localizada en Catemaco, Veracruz, con base en la distancia de la desembocadura de la laguna Sontecomapan.

2. Metodología

El muestreo de microplásticos se realizó en abril de 2018 en la playa Barra de Sontecomapan la cual pertenece a una localidad del mismo nombre ubicada en el municipio de Catemaco, Veracruz. La playa se caracteriza por tener grandes dunas de arena, arena de color café con granulometría media, pendientes suaves y alta afluencia turística en semana santa.

La metodología empleada se adaptó de Besley y colaboradores (2017), a partir de la zona de escolleras se identificaron, sobre la línea pleamar, tres puntos de muestreo los cuales se ubicaron a 1,400 m, 2,200 m y 3,300 m (Figura 1). Posteriormente, cada punto, paralelo a la línea pleamar, se delimitó con una cuerda un transecto de 100 m. En cada transecto se seleccionaron 10 números aleatorios los cuales se proyectaron hacia la línea pleamar, en cada uno de ellos se enterró un muestreador cilíndrico de PVC (diámetro de 19 cm y altura

de 5 cm) para extraer la muestra de arena. En total se recolectaron 30 muestras que se envolvieron en papel aluminio, posteriormente se almacenaron en bolsas de cierre hermético, se etiquetaron y se trasladaron al laboratorio.

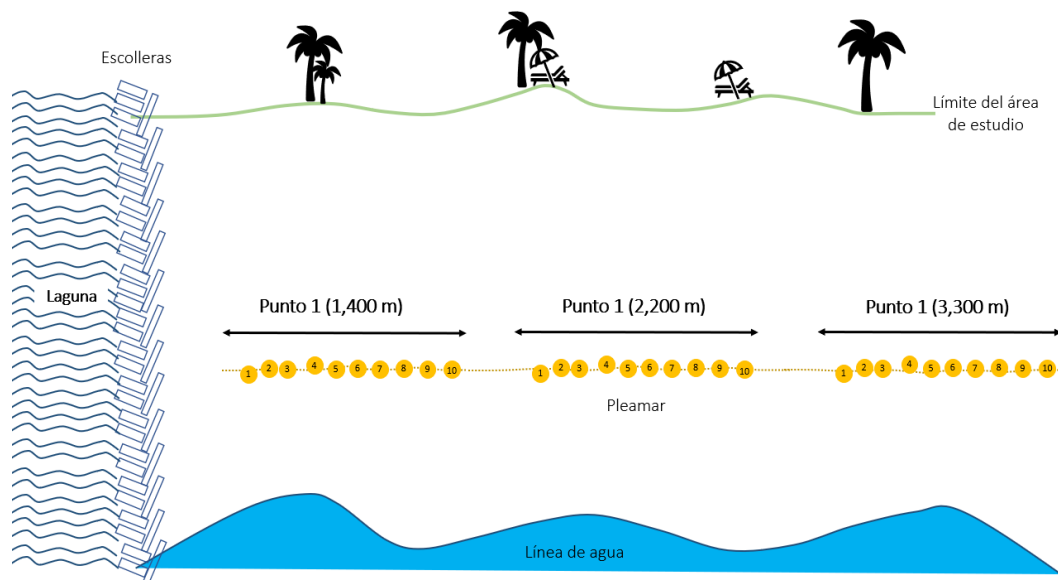


Figura 1. Diagrama del muestreo de microplásticos. Fuente: elaboración propia

El procesamiento de las muestras en laboratorio incluyó la determinación de masa húmeda, secado de la arena a 105 °C por 24 h, determinación de masa seca, tamizado de arena en mallas de apertura de 0.59 y 4.75 mm y separación por densidad con una solución salina de CaCl₂ ($\rho \approx 1.6$ g/ml). Para este trabajo no se utilizó blanco debido a que el tamaño de los MP analizados (~0.5 – 5 mm) permite que estos se detecten a simple vista, además antes de la experimentación se verificó que los materiales y utensilios estuvieran en buenas condiciones. Los microplásticos extraídos se clasificaron por tamaño, tipo y color (Hanvey et al., 2017) y las concentraciones de cada punto se sometieron a un análisis estadístico con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

2. Resultados

En este apartado se muestran los resultados de las concentraciones de microplásticos en los tres diferentes puntos de muestreo, así como sus características.

2.1 Concentración de microplásticos

De las 30 muestras tomadas en total se encontró presencia de microplásticos en sólo 24 muestras. En la Tabla 1 se encuentran los valores estadísticos para cada uno de los tres puntos de muestreo en donde se aprecia que en promedio las mayores concentraciones

(105.81 MP/m²) correspondieron al punto que está más cercano a la desembocadura del río (punto 1 a 14,400 m), mientras que las más bajas (42.32 MP/m²) se presentaron en el punto 2 a 2,200 m.

Tabla 1. Valores estadísticos para los puntos de muestreo (MP/m²)

Parámetros	Punto 1 (1,400 m)	Punto 2 (2,200 m)	Punto 3 (3,300 m)
Mediana	123.444	17.635	70.539
Media	105.81	42.32	88.17
Intervalo	0 – 176.349	0 – 141.079	35.270 – 282.158

En cuanto al análisis estadístico, la prueba de Kruskal-Wallis arrojó un valor-P de 0.0503805, el cual es mayor que 0.05, lo que significa que no hay diferencias estadísticamente significativas en las medianas de la concentración de microplásticos, para estas tres distancias de muestreo. Se recomienda llevar a cabo más muestreos a diferentes distancias y temporadas, de las ya contempladas aquí, para identificar si los niveles de concentración, con base en los análisis estadísticos, muestran o no ausencia de diferencias significativas.

La presencia de microplásticos en zonas similares a la del presente estudio se ha reportado por otros investigadores. Cesarini y colaboradores (2021) determinaron la presencia de residuos plásticos en la playa Torre Flavia, Italia donde se divide el área natural protegida de la zona turística por medio de escolleras. Las muestras se recolectaron en dos zonas distintas del área natural protegida. La primera (A) se encontraba más alejada de las escolleras, y a 500 metros de la segunda zona (B) que tenía más cercanía con las escolleras. La mayor ocurrencia de microplásticos se reportó en la zona B con aproximadamente 180 residuos plásticos, de los cuales 120 fueron microplásticos. En la zona A sólo se encontraron 80 residuos plásticos, de los cuáles, aproximadamente el 90 % eran microplásticos. La concentración promedio de microplásticos para ambos transectos fue de 140 piezas/m².

Los rompeolas o escolleras podrían influir en la presencia de residuos, en especial de microplásticos en playas debido a que sus estructuras influyen en las corrientes marinas y además, presentan huecos en los que se almacenan grandes concentraciones de residuos provenientes no solo de los ciclos de oleaje, sino también los que son originados en las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en estas zonas (pesca, campamentos, entre otras) (Aguilera et al., 2016; Cesarini et al., 2021). En zonas cercanas a escolleras, la acumulación de residuos podría incrementar hasta un 10 % con respecto a zonas sin presencia de escolleras o con formaciones rocosas de origen natural (Aguilera et al., 2016).

Además de la presencia de escolleras, las desembocaduras se han identificado como grandes fuentes de residuos en playas. Maynard y colaboradores (2021) reportaron la presencia de microplásticos en seis diferentes playas de Brasil, tres de ellas (Regencia, Imbassai y Viral) se encontraban en zonas cercanas a diferentes desembocaduras de ríos. La mayor concentración de microplásticos se registró en la playa Viral, playa poco frecuentada por turistas ubicada cerca de la desembocadura del río Vaza-Barris, con 30.4 piezas/m². La principal fuente de microplásticos se asoció al transporte de residuos plásticos a través del cauce del río.

Se recomienda llevar a cabo más estudios de este tipo en otras playas para analizar si se sigue la misma tendencia en cuanto a las altas concentraciones de MP en zonas de muestreo cercanas a las escolleras y desembocaduras (río, lagunas o algún otro cuerpo de agua).

2.2 Características de los microplásticos

En el tamaño de los microplásticos (Figura 2a), los menores a 1.00 mm fueron los más encontrados en los tres puntos de muestreo, con 80 % para el punto 1, 75 % para el punto 2 y 68 % para el punto 3. Por su parte los microplásticos con un tamaño de 4.01 – 5 mm fueron los menos comunes, su proporción se encontró en 0 % para los puntos 1 y 2 y 4 % para el punto 3.

Con relación a los tipos de microplásticos (Figura 2b), en esta investigación los fragmentos tuvieron la mayor proporción ya que se encontraron con 97%, 83 % y 100 % para los puntos 1, 2 y 3, respectivamente. Los microplásticos del tipo espumado y pellets presentaron los porcentajes más bajos, menores al 4 % en promedio.

Para investigaciones similares, los fragmentos también fueron el tipo de microplástico más encontrado. Cesarini y colaboradores (2021) reportaron una mayor ocurrencia de fragmentos con 63.3 %, mientras que los pellets se presentaron en una menor proporción (36.3 %). Por otro lado, Maynard y colaboradores (2021) reportaron un 75 % de fragmentos encontrados en la playa Viral en Brasil. Este tipo de microplásticos se encuentran con mayor frecuencia en playas debido a la fragmentación de residuos plásticos de gran tamaño que pueden ser provenientes de diferentes actividades antropogénicas llevadas a cabo en el lugar de estudio o ser arrastrados a través de las corrientes marinas hacia la costa (Aguilera et al., 2016; Godoy et al., 2020).

Finalmente, para el color de los microplásticos (Figura 2c) se aprecia que el más frecuente correspondió al blanco con 57 % para el punto 1, 67 % para el punto 2 y 56 % para el punto 3. Otros colores menos comunes con un porcentaje promedio menor al 5 % fueron amarillo (1 %), negro (4 %), rojo (2 %).

Los microplásticos de color blanco, blanquecino o transparente son encontrados con mayor frecuencia, especialmente los fragmentos de estas tonalidades (Cesarini et al., 2021). La alta proporción del blanco podría deberse a pérdida de pigmento de los fragmentos plásticos de colores después de encontrarse expuestos a la luz ultravioleta y al proceso de degradación del polímero (Arhant et al., 2019; Naqash et al., 2020).

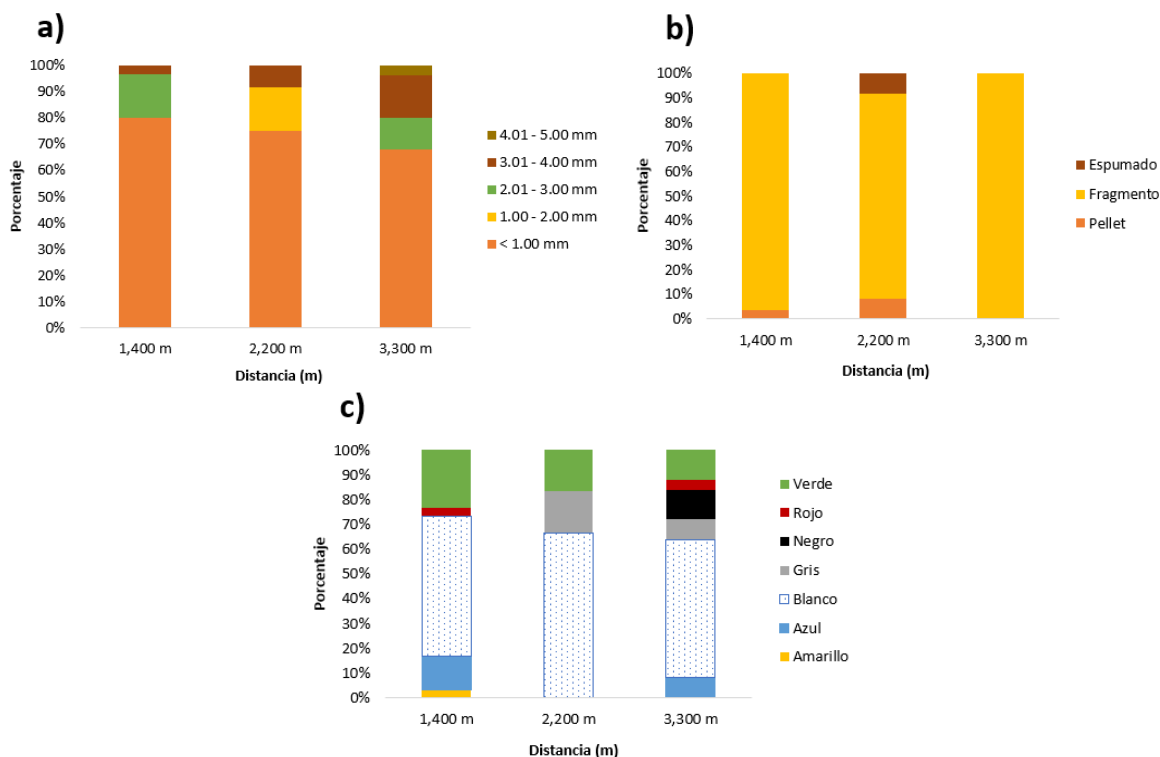


Figura 2. Clasificación de microplásticos en los tres puntos de muestreo: a) tamaño, b) tipo y c) color

3. Conclusiones

Este trabajo permitió evaluar la variación de la concentración de MP en la playa Barra de Sontecomapan a tres distancias diferentes de la desembocadura de la laguna Sontecomapan. La mayor concentración de MP (105.81 MP/m²) se encontró en el punto más cercano a las escolleras y a la desembocadura de la laguna lo cual indica que la gran acumulación de residuos que se presenta en estos puntos afecta a las zonas de playa cercanas. Por otro lado, una disminución de la concentración de MP en los dos puntos más alejados indica poca afectación de las escolleras y la desembocadura del río, por lo que, los residuos que pudieran encontrarse ahí quizás son transportados a través de los ciclos de oleaje y el viento.

El análisis estadístico con la prueba Kruskal-Wallis evidenció un valor-P igual a 0.0503805 con el que se concluye que para estos tres puntos de muestreo no hay diferencias estadísticamente significativas en la mediana de las concentraciones de MP. Por su parte, los tipos de MP con mayor presencia son los fragmentos, lo que significa que la zona muestreada, las escolleras y la desembocadura del río tiene presencia de residuos plásticos de gran tamaño que se han ido fragmentado por diversos factores bióticos y abióticos.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, M. A., Broitman, B. R., & Thiel, M. (2016). Artificial breakwaters as garbage bins: Structural complexity enhances anthropogenic litter accumulation in marine intertidal habitats. In *Environmental Pollution* (Vol. 214, pp. 737–747). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.058>
- Arhant, M., Le Gall, M., Le Gac, P. Y., & Davies, P. (2019). Impact of hydrolytic degradation on mechanical properties of PET - Towards an understanding of microplastics formation. *Polymer Degradation and Stability*, 161, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.01.021>
- Besley, A., Vijver, M. G., Behrens, P., & Bosker, T. (2017). A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.055>
- Cesarini, G., Cera, A., Battisti, C., Taurozzi, D., & Scalici, M. (2021). Is the weight of plastic litter correlated with vegetal wrack? A case study from a Central Italian beach. *Marine Pollution Bulletin*, 171(August), 112794. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112794>
- Chen, H. L., Gibbins, C. N., Selvam, S. B., & Ting, K. N. (2021). Spatio-temporal variation of microplastic along a rural to urban transition in a tropical river. *Environmental Pollution*, 289(May). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117895>
- Cruz-Salas, A. A. (2020). Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Derraik, J. G. . (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842–852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Godoy, V., Prata, J. C., Blázquez, G., Almendros, A. I., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T., Calero, M., & Martín-Lara, M. Á. (2020). Effects of distance to the sea and geomorphological characteristics on the quantity and distribution of microplastics in beach sediments of Granada (Spain). *Science of the Total Environment*, 746, 142023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142023>
- Hanvey, J. S., Lewis, P. J., Lavers, J. L., Crosbie, N. D., Pozo, K., & Clarke, B. O. (2017). A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments. In *Analytical Methods* (Vol. 9, Issue 9, pp. 1369–1383). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c6ay02707e>
- Hayes, A., Kirkbride, P., & Leterme, S. C. (2021). Variation in polymer types and abundance of microplastics from two rivers and beaches in Adelaide, South Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 172(February). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112842>
- Liong, R. M. Y., Hadibarata, T., Yuniarto, A., Tang, K. H. D., & Khamidun, M. H. (2021). Microplastic Occurrence in the Water and Sediment of Miri River Estuary, Borneo Island. *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05297-8>
- Maynard, I. F. N., Bortoluzzi, P. C., Nascimento, L. M., Madi, R. R., Cavalcanti, E. B., Lima, Á. S., Jeraldo, V. de L. S., & Marques, M. N. (2021). Analysis of the occurrence of microplastics in beach sand on the Brazilian coast. *Science of the Total Environment*, 771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144777>
- Naqash, N., Prakash, S., Kapoor, D., & Singh, R. (2020). Interaction of freshwater microplastics with biota and heavy metals: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 1813–1824. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01044-3>

Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Andrady, A. L., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2021). A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health. *Science of the Total Environment*, 777. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146094>

Ter Halle, A., Ladirat, L., Gendre, X., Goudouneche, D., Pusineri, C., Routaboul, C., Tenailleau, C., Duployer, B., & Perez, E. (2016). Understanding the Fragmentation Pattern of Marine Plastic Debris. *Environmental Science and Technology*, 50(11), 5668–5675. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00594>

Tsering, T., Sillanpää, M., Sillanpää, M., Viitala, M., & Reinikainen, S. P. (2021). Microplastics pollution in the Brahmaputra River and the Indus River of the Indian Himalaya. *Science of the Total Environment*, 789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147968>

Xu, Y., Chan, F. K. S., Johnson, M., Stanton, T., He, J., Jia, T., Wang, J., Wang, Z., Yao, Y., Yang, J., Liu, D., Xu, Y., & Yu, X. (2021). Microplastic pollution in Chinese urban rivers: The influence of urban factors. *Resources, Conservation and Recycling*, 173(February). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105686>

Rellenos sanitarios

Confinamiento de residuos sólidos peligrosos con residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario clausurado de Morelia, Michoacán, México

Buenrostro- Delgado Otoniel^{1*}, Hernández-Berriel María consuelo², Israde- Alcántara Isabel ¹ y López- Granados Erna Martha¹

¹ Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, C.P. 58000. Morelia, México.

² Tratamiento de contaminantes y aprovechamiento de residuos, División de Estudios de Posgrado e investigación, Instituto Tecnológico de Toluca, Tecnológico Nacional de México/, Av. Tecnológico s/n. Col. Agrícola Bellavista Metepec, Edo. de México C.P. 52149.

^{1*} Autor de correspondencia: otoniel.buenrostro@umich.mx; Tel.: +52-443-325-3601

Resumen

La contaminación del suelo y agua por metales proveniente de residuos peligrosos confinados junto con residuos sólidos urbanos, pone de manifiesto la importancia de profundizar sobre el monitoreo de los sitios de disposición una vez clausurados. Es común que los rellenos sanitarios incumplan con la normatividad sobre su ubicación y manejo lo cual es un riesgo al ambiente y salud de la población. En el relleno clausurado de Morelia, se ha reportado la contaminación del suelo y mantos freáticos por lixiviados, así como la concentración de metales pesados por encima de los límites máximos permitidos. Además, se ha confirmado que los residuos sólidos confinados difieren en la composición y la degradación de los residuos sólidos. El objetivo de este estudio fue analizar los residuos sólidos confinados en el relleno clausurado de Morelia para determinar la presencia de metales pesados y arsénico. Se analizaron la composición, el estado de degradación en muestras de residuos sólidos confinados de ocho pozos con diferente antigüedad de confinamiento. Los análisis de metales y arsénico se realizaron por duplicado. Los resultados de este estudio determinaron la presencia de plomo, cobre, cromo, níquel, fierro, zinc, cadmio, arsénico y ratifican la contaminación de los lixiviados producidos de la descomposición de los residuos sólidos del sitio y se asocian con la contaminación del agua de pozos de agua para consumo humano del área. Sin embargo, resulta complicado establecer límites para las concentraciones de metales en lixiviados pues no existe un marco legislativo que los regule, además, aunque existe una regulación sobre la disposición de residuos peligrosos en rellenos sanitarios, esta no aplica en el caso de residuos sólidos urbanos, por lo que es crucial regular el manejo de los rellenos sanitarios, ya que es determinante para la correcta toma de decisiones durante la etapa de postclausura de estos sitios.

Palabras Clave: Metales, Arsénico, Lixiviados, Contaminación, Tiraderos.

1. Introducción

En general en los países en vías de desarrollo, la contaminación del suelo y de los mantos freáticos se debe principalmente a los lixiviados generados en los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) (Hammed *et al.*, 2018). Esta contaminación resulta de la deficiencia en el diseño y funcionamiento de los rellenos sanitarios en los cuales se depositan los RSU, así como también de la falta de seguimiento de la legislación ambiental (Mavropoulos, 2015).

Habitualmente los sitios clausurados se consideran pasivos ambientales, y como tal, sitios geográficos contaminados por la liberación de materiales. Uno de los contaminantes más comunes en los rellenos sanitarios son los metales pesados (MP) disueltos en los lixiviados. El impacto de estos en el ambiente ocurre cuando sus concentraciones exceden los límites máximos permisibles (LMP), y su bioacumulación incrementa los riesgos para los seres vivos. Este efecto se ve incrementado cuando el relleno es clausurado, ya que el uso de estos sitios como tierras de cultivo es una práctica muy común en áreas urbanas y peri urbanas de países en desarrollo.

La concentración y toxicidad de los MP depende de su movilidad, asociada a su estado de oxidación y, aunque teóricamente en los RSU no debe haber metales pesados, en la realidad se disponen residuos peligrosos que sí los contienen. La capacidad del suelo para retener MP está en función de la capacidad de intercambio catiónico (CIC). No obstante, su movilización dentro de la matriz del suelo está relacionada con la actividad biológica y las interacciones sólido-líquido y agua presentes en el suelo.

Trabajos previos en el sitio de estudio (Israde *et al.*, 2005,) reportaron altas concentraciones de cadmio, níquel, arsénico, plomo, cromo hexavalente y cromo total en los lixiviados, los cuales rebasaron los LMP establecidos en la normatividad mexicana (Norma Oficial Mexicana NOM-127-66A1-1994). En estudios posteriores, también se reportaron altas concentraciones de metales pesados en muestras de RSU confinados en el mismo sitio. Lo cual relacionaron con la disposición de residuos peligrosos en los rellenos de RSU, prohibidos por la legislación mexicana y en cualquier relleno sanitario del mundo (Mavropoulos, 2015). Existen evidencias que la contaminación proveniente del tiradero está afectando al acuífero superficial de la zona (Perez-Villareal *et al.*, 2019).

El objetivo de este trabajo fue demostrar que continúa la lixiviación de metales pesados provenientes de RSU confinados conjuntamente con residuos peligrosos vertidos clandestinamente. Esta circunstancia da lugar al incumplimiento de la legislación ambiental actual, por efecto del probable escape a través de contaminantes peligrosos a través de los lixiviados generados.

2. Metodología

El sitio de estudio fue el relleno clausurado de Morelia, estuvo en operación como tiradero a cielo abierto hasta el año de 2007, en el que se depositaron un promedio de 900 toneladas de RSU por día, incluyendo residuos sólidos industriales, entre los que destacan los de la industria cerillera, aceitera, de acumuladores, resinera, pinturas, residuos hospitalarios, de rastro, fabricación de papel y sólidos de una planta de tratamiento de aguas residuales; estos dos últimos que se depositaron aún cerrado el sitio y las labores de clausura del sitio consistieron básicamente en la estabilización de taludes y cubrimiento de los RSU con suelo.

2.1 Selección de los pozos de muestreo y toma de las muestras de residuos sólidos

El área del relleno clausurado se dividió en cuatro cuadrantes orientados de sur oeste a noreste. Se seleccionaron aleatoriamente ocho sitios, se cavaron pozos a una profundidad de tres metros con una retroexcavadora con extensión (Case 2002®) y se tomaron aproximadamente tres kilogramos de muestra de RSU. Dentro del pozo se midió la temperatura con un termómetro de piso digital (TRACEABLE®). Las muestras con RSU se colocaron en bolsas de polietileno negras, se etiquetaron y se colocaron en una hielera para su traslado al laboratorio.

2.2 Caracterización de las muestras

Las muestras se caracterizaron de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-022-1985, se separaron manualmente todos los subproductos y posteriormente se agruparon en dos fracciones: orgánica e inorgánica. A continuación, la fracción orgánica se agrupó en categorías de degradabilidad de acuerdo con la clasificación propuesta en SCS ENGINEERS (2009).

Los análisis fisicoquímicos se realizaron de acuerdo con la norma NMX-AA-052-1985. Los componentes de la muestra se trituraron con tijeras y se molieron con un molino analítico (MF 10®), con una criba de un milímetro y se depositaron en frascos de plástico y se congelaron a una temperatura de -4°C. Se determinaron la humedad (NOM NMX-AA-016-1984), pH (NOM NMX-AA-25-1984), sólidos totales disueltos (STD) NMX-AA-016-1984, y los sólidos volátiles (SV) a partir de la técnica 2540G del Standard Methods (APHA, 1998).

Con una alícuota de un gramo de cada muestra se realizó la determinación de metales, mediante digestión ácida de sedimentos de acuerdo con el método EPA 3050B (EPA, 2002). Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica de flama (FLAA) y el arsénico se determinó con el método de generación de hidruros de acuerdo con la norma NMX-AA-051-SCFI-2016. Los análisis se realizaron por duplicado.

2.3 Análisis estadísticos

Con el fin de analizar la presencia de diferencias significativas entre las concentraciones de los metales y el contenido de la fracción orgánica de acuerdo con el tiempo de confinamiento de los RSU, los resultados se capturaron en una base de datos y se procesaron con estadística descriptiva y análisis de varianza (ANOVA) mediante el software JMP 8.

3. Resultados y discusión

Además de los RSU, se identificaron residuos peligrosos. Varios de ellos provienen de 20 fuentes diferentes, como es el caso de envases contenedores de químicos, lo cuales fueron reportados por generadores como talleres de vehículos, tiendas de pinturas o ferreterías.

La variada lista muestra desde residuos inertes (punzo-cortantes) hasta residuos de organismos (animales y humanos).

La categorización de la fracción orgánica de las muestras de RSU mostró que el 82% de los subproductos son de muy rápida degradación, debido a que proceden principalmente de residuos alimenticios. El 13% de las muestras mostró una degradación moderadamente lenta y lenta. Este tipo de degradación se asocia a la fracción de residuos que aunque son orgánicos, tienen un contenido más alto de celulosa y lignina con respecto a los que proceden de residuos alimenticios.

La caracterización físico-química mostró promedios de temperatura estadísticamente significativos para ambos periodos de confinamiento. Los valores de pH, predominantemente básicos, junto con los bajos contenidos de humedad, influyen directamente en la velocidad de degradación de la materia orgánica, no obstante que la mayor parte de ésta es de fácil degradación. Los valores de STD variaron entre 58 y 78 %, estos valores se consideran altos independientemente del tiempo de confinamiento de los RSU. En cambio, los valores de SV mostraron una amplia variación, entre 17 y 79 %. Asimismo, los valores de las cenizas, residuo de los SV, reafirman los resultados anteriores y corroboran una alta variación en el estado de degradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos dentro del sitio de estudio.

Los metales pesados presentes en los residuos sólidos fueron plomo, cobre, níquel, zinc, cromo, hierro y el metaloide arsénico. Los valores no pudieron compararse con valores de referencia, puesto que actualmente no existe una Norma Oficial Mexicana que especifique los LMP de metales pesados en los RSU. No se encontraron diferencias significativas ($p=0.8427$) respecto al contenido de metales pesados entre pozos, pese a las diferencias en los tiempos de confinamiento de los RSU.

La velocidad de degradación de los residuos y su caracterización físico-química permitió evaluar el manejo del tiradero durante su etapa en operación, así como el comportamiento de la degradación de los RSU confinados y la efectividad de las medidas de clausura del sitio. Un alto porcentaje de las muestras reportó una capacidad de degradación muy rápida, lo cual, es consistente con los altos valores de humedad analizados ($\pm 30\%$), a pesar de que las muestras se recolectaron en la época de secas. Asimismo, tanto la humedad como la precipitación juegan un papel determinante en la cantidad de lixiviados que se producen, favoreciendo la solubilidad de los componentes tóxicos de los RSU. Debido a su papel como catalizador de los procesos de degradación de hidrólisis y disolución de componentes tóxicos de la materia orgánica e inorgánica (Mai et al., 2019).

Otro factor determinante en el contenido de humedad de las muestras y la lixiviación de los residuos se relaciona con las condiciones de clausura del sitio. En el caso del tiradero clausurado se realizó a partir del emparejamiento y compactación de los residuos sólidos, seguido de un cubrimiento por una capa de aproximadamente 10 cm de arcilla y tezontle. Por lo que los valores de humedad reportados en este estudio confirman que las labores de clausura de este sitio no fueron suficientes para aislar adecuadamente los residuos sólidos confinados.

El amplio rango de variación en el contenido de SV indica la variabilidad en el estado de degradación de los residuos sólidos, así como el tiempo de confinamiento, estableciendo

cuatro zonas que representaron 5 y 10 años de confinamiento en el momento de tomar las muestras.

Los resultados de este estudio confirman que los RSU confinados en el relleno clausurado contienen diversos metales pesados y arsénico. Estos resultados junto con el registro de los residuos peligrosos que se dispusieron durante su operación ponen de manifiesto la ilegalidad del funcionamiento del relleno sanitario clausurado de Morelia.

En este estudio, de los contaminantes analizados únicamente el arsénico rebasa los LMP de acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. No obstante, los LMP de contaminantes reconocidos en la normatividad mexicana se refieren a muestras de biosólidos, agua, suelo y extracto PECT (lixiviado a partir del cual se determinan los constituyentes tóxicos del residuo y su concentración con la finalidad de identificar si éste es peligroso por su toxicidad al ambiente).

Aunque un peor escenario se reporta para el cobre, zinc y fierro. Para estos contaminantes encontrados en los lixiviados del sitio de estudio no existen valores de referencia con los que establecer si las concentraciones reportadas representan un peligro para la salud humana y ambiental.

No obstante, la heterogeneidad en los valores de los metales pesados y arsénico se debe a la variabilidad del tipo de residuos y a la diferencia en el tiempo de confinamiento de los residuos; pero también al sitio específico de muestreo dentro del tiradero, para la cual la prueba de Kruskal Wallis indicó una diferencia significativa ($p=0.01$), confirmando las diferencias en el estado de degradación de los residuos de los diferentes pozos.

La presencia de metales pesados y arsénico en los residuos confinados indica su presencia también en los lixiviados que se generan. Dadas las características físicas de la ubicación del tiradero clausurado, los resultados sugieren una probable contaminación del manto freático. Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de implementación de un monitoreo que asegure el control de los lixiviados producidos en estos sitios durante su operación y posterior a la clausura. Sumándose al problema, la retención de los contaminantes en disolución en la matriz de los RSU no está asegurado debido a la deficiente biodegradación de la materia orgánica de los residuos, la falta de geomembrana, la inexistencia de sistemas de captación de lixiviados y la deficiente cobertura del sitio (Liao et al., 2016).

4. Conclusiones

Este estudio provee evidencias remarcables sobre la importancia de prestar atención a los rellenos sanitarios y tiraderos clausurados, y de planificar y efectuar las acciones necesarias para el monitoreo de lixiviados y biogás (Boateng et al., 2019), así como llevar a cabo las labores de mantenimiento de postclausura para evitar y disminuir el escape de contaminantes potenciales.

Contradictoriamente, y a pesar del gran impacto ambiental y para la salud debido al manejo deficiente de los rellenos sanitarios, en gran parte de los países en vías de desarrollo siguen siendo la principal opción para el tratamiento de los RSU, debido al bajo costo de construcción y operación con respecto a otras tecnologías como la incineración, pirolisis y

gasificación. No obstante, los rellenos sanitarios se construyen sin cumplir con las legislaciones nacionales para su construcción y operación y cerca de áreas urbanas.

Resulta imprescindible incluir en la construcción de los rellenos sanitarios, sistemas de captación y tratamiento de los lixiviados. Y lo más importante, desarrollar las herramientas necesarias para fortalecer las instituciones que se encargan del cumplimiento de la legislación ambiental, y de este modo evitar la disposición final de residuos peligrosos en los rellenos sanitarios.

Referencias bibliográficas

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Twentieth ed. Washington D.C. 1998.

Boateng, T. O., Opoku, F., & Akoto, O. (2019). Heavy metal contamination assessment of groundwater quality: a case study of Oti landfill site, Kumasi. *Applied Water Science*. 9. 10.1007/s13201-019-0915-y.

EPA (Environmental Protection Agency) (2003). Biodegradative analysis of municipal solid waste in landfills. EPA-600/SR-97/071.

EPA (Environmental Protection Agency) Method 3050: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. 2002. USA.

Israde I., Buenrostro O., Carrillo A. 2005. Geological characterization and environmental implications of the placement of the Morelia landfill, Michoacan, Central Mexico. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 55. 755-764.

Liao, P., Yuan, S., Wang, D. (2016). Impact of Redox Reactions on Colloid Transport in Saturated Porous Media: An Example of Ferrihydrite Colloids Transport in the Presence of Sulfide. *Environmental Science & Technology*. 50. 10.1021/acs.est.6b02542.

Hammed, A. O., Lukuman, A. Adewuyi, G. K., Mohammed O. A. (2018). Heavy Metal Contents in Soil and Plants at Dumpsites: A Case Study of Awotan and Ajakanga Dumpsite Ibadan, Oyo State, Nigeria. *Journal of Environment and Earth Science*. Vol.7, No.4. 11-24. ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online).

Mai, S., Barampouti, E.M., Koumalas, A., Dounavis, A. Leachates from landfill sites in Thessaloniki, Greece: Effect of aging. (2019). *Environmental Research, Engineering and Management*. 75, 30-39, doi:10.5755/j01.erem.75.4.23073.

Mavropoulos, A. (2015). *Wasted Health: the tragic case of dumpsites*. ISWA. Vienna, Austria, 38 p.

Pérez-Villarreal, J., Ávila- Olivera J.A., Israde- Alcántara I., Buenrostro- Delgado O. 2019. Nitrate as a parameter for differentiating groundwater flow systems in urban and agricultural areas: the case of Morelia-Capula area, Mexico. *Hidrogeology Journal*. 27 (5), 1767-1778. Online ISSN: 1435-0157, Print ISSN: 1431-2174. DOI: 10.1007/s10040-019-01933-0.

SCS ENGINEERS. 2009, Manual de usuario Modelo Mexicano de Biogás, Versión 2.0, IIE-CONAE SEDESOL [en línea].

Uso de sistemas de información geográfica para evaluar sitios de disposición en el noreste del Estado de México

Hernández Berriel, María del Consuelo¹; López Gasca, Sergio Omar¹; Mañón Salas, María del Consuelo¹; Buenrostro Delgado, Otoniel²; Flores Reyes, Salvador¹

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Toluca, Tecnológico Nacional de México/, Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista Metepec, Edo. de México, México C.P. 52149

Tel. (52) 722 087 00 ext. 3630. mhernandezb@toluca.tecnm.mx

² Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 58000 Morelia, México. Tel.: (52) 4433253601.

Resumen

Los residuos sólidos urbanos (RSU) en México se deben disponer en rellenos sanitarios (RESA), conforme a lo indicado en la NOM-083-SEMARNAT-2003; sin embargo, se estima que solo el 3.7% de los sitios de disposición (SDF) de RSU en el país cumple con todas las características básicas de infraestructura y de operación. Para la evaluación de los SDF la SEMARNAT ha elaborado manuales y guías, donde se recomienda realizar varios estudios, los cuales representan un gran gasto para los municipios que tienen SDF no controlados. El objetivo de este trabajo es mostrar el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar a nivel preliminar SDF no controlados en la periferia del noreste del Estado de México, como apoyo con menores costos y tiempo, para decidir entre su clausura o su rehabilitación. Se eligieron dos SDF, a los cuales se les realizó el análisis histórico de las áreas afectadas con Mapa Digital de INEGI, Google Earth Pro V7.3 y Google Maps; con el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de RSU (SIGMIRSU), la aplicación de una Tabla de Verificación e información de campo y documental, se determinó el cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003; y se elaboraron las evaluaciones respectivas. Para los SDF de Villa del Carbón y de Zumpango de Ocampo, se determinaron áreas de oportunidad para reducir las afectaciones al ambiente y a la salud de los pobladores cercanos; y debido al bajo cumplimiento de los criterios de la NOM-083-SEMARNAT-2003, la evaluación corroboró necesidad de saneamiento y clausura para ambos SDF.

Abstract

Municipal solid waste (MSW) in Mexico must be disposed of in sanitary landfills, as indicated in NOM-083-SEMARNAT-2003; however, it is estimated that only 3.7% of the MSW disposal sites (DS) in the country meet all the basic infrastructure and operation characteristics. For the evaluation of the DS the SEMARNAT has prepared manuals and guides, where it is recommended to carry out several studies, which represent a great expense for municipalities that have uncontrolled DS. The objective of this work is to show the use of Geographic Information Systems (GIS) to evaluate at a preliminary level uncontrolled DS in the northeast periphery of the State of Mexico, as support with lower

costs and time, to decide between its closure or your rehabilitation. Two DS were chosen, to which the historical analysis of the affected areas was carried out with INEGI's Digital Map, Google Earth Pro V7.3 and Google Maps; with the Geographic Information System for the Management of MSW (SIGMIRSU), the application of a Verification Table and field and documentary information, it was determined compliance with NOM-083-SEMARNAT-2003; and the respective evaluations were prepared. For the DS of Villa del Carbón and Zumpango de Ocampo, areas of opportunity were determined to reduce the effects on the environment and the health of the nearby inhabitants; and due to low compliance with the criteria of NOM-083-SEMARNAT-2003, the evaluation confirmed the need for sanitation and closure for both DS.

Palabras Clave/keywords: *Sistemas de información geográfica, sitios de disposición final, rehabilitación o clausura.*

1. Introducción

Si bien los residuos sólidos urbanos (RSU) en México se disponen preferentemente en rellenos sanitarios (RESA) conforme a lo indicado en la NOM-083-SEMARNAT-2003, de acuerdo con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020 (DBGIR-2020) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), de los 2203 sitios de disposición final (SDF) distribuidos en 1722 municipios del país, solo 82 SDF de 28 de las entidades federativas cumplen todas las características básicas de infraestructura y de operación. Con lo anterior se estima que el 47% de los RSU se deposita en SDF no controlados, los cuales requieren ser evaluados para decidir entre su clausura o su rehabilitación (DOF, 2004; SEMARNAT, 2020).

La SEMARNAT sabe que los SDF no controlados conllevan riesgos para el ambiente y por ende a la salud; por lo que ha elaborado manuales y guías en conjunto con otras instituciones nacionales e internacionales (Ortiz-Conde y Hernández-Barrios, 2012; Wehenpohl et al., 2004; TAAF Consultoría Integral S.C., 2012); así como ha coadyuvado a que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) apoye proyectos y haya otorgado subsidios para mejorar los sistemas de manejo de los RSU en el país y su disposición (BANOBRAS, 2019, 2020; SEMARNAT, 2020).

Para decidir entre clausurar o rehabilitar un SDF no controlado, se requieren de estudios geológicos, hidrogeológicos, topográficos, geotécnicos, de impacto ambiental y socioeconómicos. Debido a que varios de estos estudios son difíciles de costear, solo en algunos municipios de México se realiza la evaluación de impacto ambiental, el diagnóstico, la propuesta de clausura o rehabilitación y en menor número, la ejecución. Consecuentemente subyacen las posibilidades de contaminar el suelo, el agua y la atmósfera; así como los riesgos a la salud por la proliferación de patógenos y fauna nociva (Buenrostro-Delgado et al., 2019; Cortinas de Nava, 2018; Lobo-García de Cortázar et al., 2016) y es ahí donde los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden ser aprovechados. Los SIG son instrumentos de carácter sistémico, donde la información en formato digital aparece georreferenciada, es decir, incluye su posición en el espacio

utilizando un sistema de coordenadas estandarizado, resultado de una proyección cartográfica. Los SIG permiten manejar información compleja y facilitan el análisis simultáneo en varias dimensiones o capas, entregando resultados en un “modelo cartográfico” (Ager Ingenieros, 2015; Bosque-Sendra et al., 2012; Sánchez-Gil, 2017).

En cuanto a los RSU, destaca el reporte de Gemitzi et al. (2007), que trata sobre la implementación de un SIG integrando lógica difusa y técnicas de evaluación multicriterio, para la selección de un RESA en la prefectura de Evros en el noreste de Grecia. Trabajos como los de Giménez & Cardozo (2012) y Olusina & Shyllon (2014), donde se emplean SIG para examinar la ubicación de los RESA existentes y localizar sitios óptimos mediante técnicas de evaluación multicriterio; y el de Sánchez-Gil (2017), que tuvo por objetivo diseñar una herramienta de análisis espacial multicriterio para optimizar la ubicación de un vertedero de Residuos Municipales para la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona (Navarra), conforme a las limitaciones del Real Decreto 1481/2001 para el territorio español. En México se cuenta con algunas aplicaciones con fines específicos como los reportados por Buenrostro-Delgado et al., (2008), Castro-Frontana et al. (2012), Hernández-Berriel et al. (2017) y Silva et al., (2006). Conforme a lo anterior, el objetivo de este trabajo es mostrar el uso de los SIG para evaluar a nivel preliminar SDF no controlados en la periferia del noreste del Estado de México (EdoMéx), como apoyo con menores costos y tiempo, para decidir entre su clausura o su rehabilitación.

2. Metodología

2.1 Análisis histórico de áreas afectadas

Se estima que en México se generaron 120,128 t RSU/día en 2020 y la Entidad federativa que más RSU aportó fue el EdoMéx con 16,739 t RSU/día. Entre las regiones del EdoMéx, la de la periferia Noreste cuenta con 17 municipios y producen sobre el 30%. De esta región se eligieron los SDF de los municipios de Villa del Carbón y Zumpango de Ocampo, reportados en la base los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y en el DBGIR-2020 (INEGI, 2017; SEMARNAT, 2020), a los cuales se les verificó su ubicación con Google Maps (Google, 2021a, 2021b) y, se les realizó un análisis histórico de su evolución y las áreas afectadas desde su creación utilizando Google Earth Pro V7.3 (Google, 2021c).

2.2 Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003

Se recopiló información documental de agosto 2016 a agosto 2021 sobre los SDF seleccionados y se les realizó un análisis del cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 utilizando el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de RSU (SIGMIRSU), el cual fue desarrollado mediante el proyecto de investigación SEMARNAT-2015-1-263315. El SIGMIRSU proporciona mapas binarios que verifican el subapartado “6.1 Restricciones para la ubicación del sitio” de dicha norma oficial y comprende la distancia mínima a aeródromo de servicio al público o aeropuerto, a localidades mayores de 2500 hab y a cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos y lagunas); así como el no ubicar un SDF en áreas

naturales protegidas, zonas arqueológicas, con riesgo de inundación con periodos de retorno de 100 años, ni sobre fracturas o fallas geológicas (DOF, 2004). Asimismo, se utilizaron Mapa Digital V.6.3, Google Maps y Google Earth Pro V7.3 (Google, 2021a, 2021b, 2021c; INEGI, 2021). Se visitaron los SDF y se aplicó la Tabla de Verificación (TV) a los responsables de éstos. Esta TV también se desarrolló en el proyecto SEMARNAT-2015-1-263315 (Hernández-Berriel et al., 2021), con base en la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004; Ortiz-Conde y Hernández-Barrios, 2012).

2.3 Evaluación preliminar

Con base en los resultados obtenidos y la información recopilada más reciente, se elaboraron para cada SDF la evaluación preliminar y algunas recomendaciones.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis histórico de áreas afectadas

Se eligieron los SDF de los municipios de Villa del Carbón y Zumpango de Ocampo, EdoMéx. El SDF de Villa del Carbón se encuentra en la carretera Federal No. 4 Tlalnepantla-Villa del Carbón, EdoMéx con coordenadas: Latitud 19.746111 y Longitud -99.479444 (99° 28' 45.98" W, 19° 44' 45.99" N). Mientras que el SDF de Zumpango de Ocampo se localiza en la Calle Unión y carretera Zumpango-Tizayuca, con coordenadas: Latitud 19.8021444444444444 y Longitud -99.07725277777777 (19°48'07.72", 99°04'38.11") (Google, 2021a, 2021b).

Se determinaron los históricos de cada SDF y en la tabla 1 se concentran los valores de las áreas afectadas. A continuación, se describe cada SDF, donde por razones de espacio se presentan solo tres de las fotografías satelitales reportadas por Google Earth Pro V7.3 de cada uno de ellos (Google 2021c).

De acuerdo con información oral, el SDF de Villa del Carbón, EdoMéx inició en 1987, pero a partir del 02 de mayo 2003 que se tiene evidencia fotográfica satelital de RSU en el lugar (Figura 1). La afectación creció rápidamente, alcanzando su máximo impacto el 09 de junio 2012 (21,812.93 m², Figura 2). Las autoridades del municipio han realizado en varias ocasiones trabajos de cobertura con tierra, sin embargo, la afectación por emanación de biogás en la vegetación aledaña es visible. Si bien se ha continuado disponiendo RSU, se han realizado trabajos de limpieza y cobertura, especialmente durante la administración actual (2019-2021), con lo que la afectación visible para el 14 de noviembre 2020 se redujo, como se muestra en la figura 3 a 6,165.91 m² (Google 2021a, 2021c).

Tabla 1. Áreas impactadas por RSU en los SDF de Villa del Carbón y Zumpango de Ocampo, EdoMéx

SDF DE VILLA DEL CARBÓN, EDOMÉX		SDF DE ZUMPANGO DE OCAMPO, EDOMÉX	
FECHA DE FOTOGRAFÍA AÉREA	ÁREA IMPACTADA POR RSU (m ²)	FECHA DE FOTOGRAFÍA AÉREA	ÁREA IMPACTADA POR RSU (m ²)
02 de mayo 2003	97.51	10 de enero 2005	275.14
27 de noviembre 2011	16,963.00	17 de febrero 2007	3,807.63
09 de junio 2012	21,812.93	29 de febrero 2008	3,724.38
03 de febrero 2013	9,249.11	18 de marzo 2011	2,544.25
14 de agosto 2015	7,120.86	24 de diciembre 2012	9,284.31
16 de enero 2016	8,258.03	28 de marzo 2014	6,734.90
1 de mayo 2016	9,489.70	22 de enero 2016	6,129.38
26 de noviembre 2018	5,688.47	01 de marzo 2017	4,779.46
09 de abril 2019	9,910.69	10 de octubre 2017	7,141.75
14 de noviembre 2020	6,165.91	05 de diciembre 2017	4,483.85
		24 de marzo 2018	8,118.72
		23 de noviembre 2020	955.45

Fuente: Google, 2021c

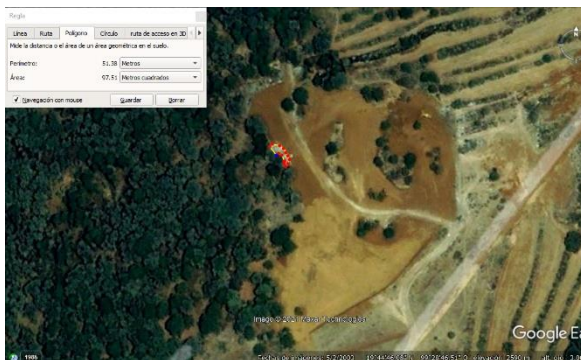


Figura 1. Fotografía satelital del área afectada en el SDF de Villa del Carbón, EdoMéx (02 de mayo 2003)

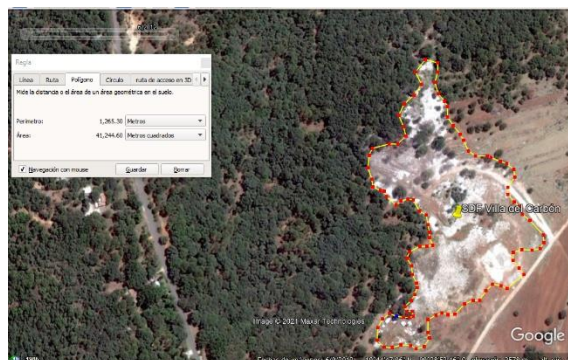


Figura 2. Fotografía satelital del área afectada en el SDF de Villa del Carbón, EdoMéx (09 de junio 2012)

Para el caso de Zumpango, EdoMéx, es hasta el 10 de enero 2005 que se aprecian RSU en el lugar (275.14 m², Figura 4), el cual se convirtió en un SDF y a escasos dos años, ya presentaba un área afectada de 3,807.63 m² (Tabla 1). La máxima afectación se registró el 24 de diciembre 2012 (9,284.31 m²), como se muestra en la fotografía satelital de la figura 5. Debido a trabajos de saneamiento y cobertura realizados por el H. Ayuntamiento de la administración actual (H. Ayuntamiento de Zumpango, 2019a), para el 29 de marzo 2019 no se detectó afectación visible; sin embargo, para el 23 de noviembre de 2020, nuevamente se divisaron RSU en la parte suroeste, con un área de 955.45 m² (Figura 6) (Google 2021b, 2021c).

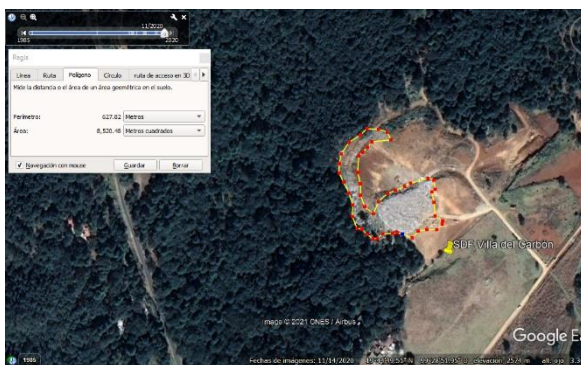


Figura 3. Fotografía satelital del área afectada en el SDF de Villa del Carbón, EdoMéx (14 de noviembre 2020)

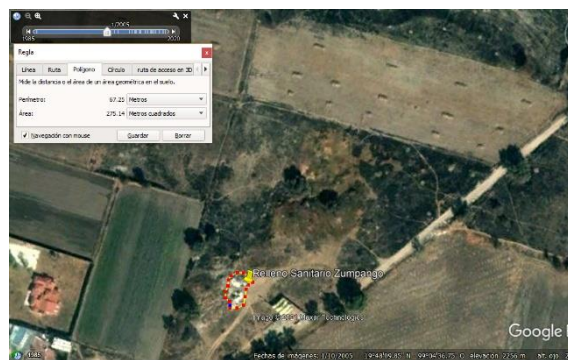


Figura 4. Fotografía satelital del área afectada en el SDF de Zumpango (10 de enero 2005)

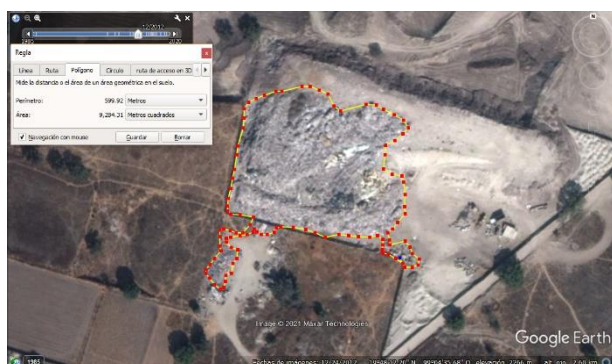


Figura 5. Fotografía satelital del área afectada en el SDF de Zumpango (24 de diciembre 2012).

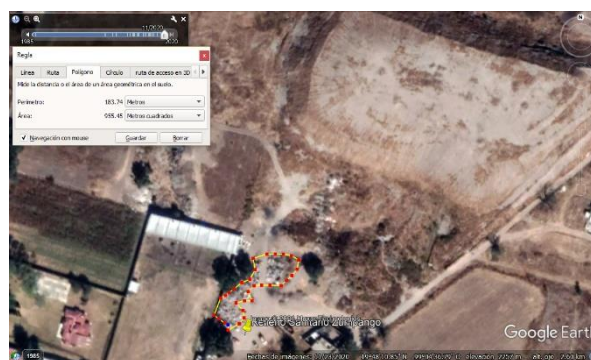


Figura 6. Fotografía satelital del área afectada en el SDF de Zumpango (23 de noviembre 2020)

3.2 Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003

Para los SDF en cuestión, se introdujeron sus coordenadas verificadas en el SIGMIRSU, generándose los mapas con base al subapartado “6.1 Restricciones para la ubicación del sitio” de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004). En las figuras 7 a 18 se muestran como un punto azul la geoposición de cada SDF, en color verde las áreas altamente idóneas (Cumple) y en color rojo las no idóneas (No cumple). La información proporcionada por el SIGMIRSU se verificó mediante trabajo de campo y de manera satelital con las herramientas Mapa Digital V.6.3 de INEGI, Google Maps y Google Earth Pro V3.2 (Google, 2021a, 2021b, 2021c; INEGI, 2021).

El municipio de Villa del Carbón, EdoMéx, pertenece a la Región Ambiental denominada “Norte”, una de las 23 regiones que fueron creadas y publicadas el 08 de octubre del 2018 en la Gaceta No. 68 del Gobierno del Estado de México (GEM, 2018), con la finalidad de minimizar el impacto ambiental generado por el cambio climático. El SDF de Villa del Carbón, EdoMéx cumple con la restricción de 13 km de aeródromos de servicio al público o aeropuertos, no se encuentra cerca de fallas o fracturas, ni de zonas arqueológicas (DOF, 2004).

En este municipio se encuentran las áreas naturales protegidas denominadas “Parque Otomí-Mexica”, “Parque Estatal Chapa de Mota” y “Santuario del Agua y Forestal Presa Taxhimay”. Las coordenadas del SDF indican que se encuentra dentro del “Santuario del Agua y Forestal Presa Taxhimay” (Figura 7), lo que indica incumplimiento con la NOM-083-SEMARNAT-2003. En cuanto a Cuerpos de agua, la presa Taxhimay se localiza a 10 km de distancia del SDF y el río “Las palomas”, que es el más cercano, se encuentra a una distancia de 623.55 m (Figura 8), sin embargo, existen corrientes intermitentes a escasos 202.6 m del SDF (Figura 9), por lo que no cumple con la distancia mínima requerida de 500 m. La localidad más cercana al SDF con una población mayor a 2500 habitantes se encuentra a 2.41 km al sureste (Figura 10), empero como se muestra en la figura 11, el SDF está dentro de la mancha urbana, cerca del rancho “Tohuis” (menos de 500 m), por lo que tampoco cumple con la distancia mínima requerida de 500 m. En la figura 12 se presenta el Mapa binario generado con todas las capas de las restricciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003, donde de color amarillo indica las áreas de media idoneidad (DOF, 2004; INEGI, 2021).

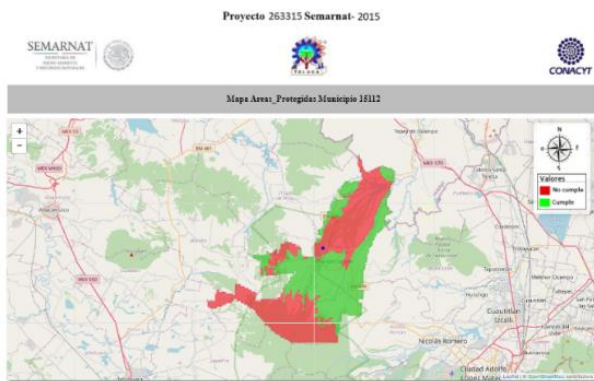


Figura 7. Restricción del SDF de Villa del Carbón, EdoMéx por Áreas protegidas

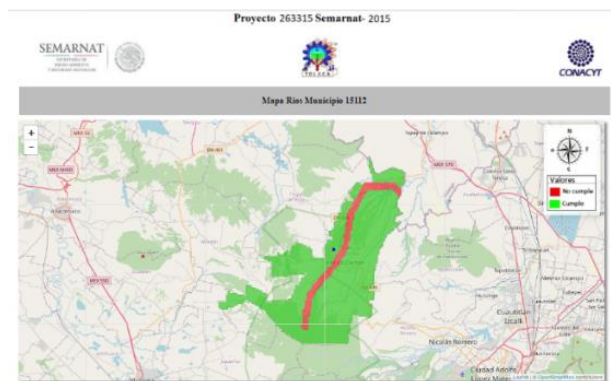
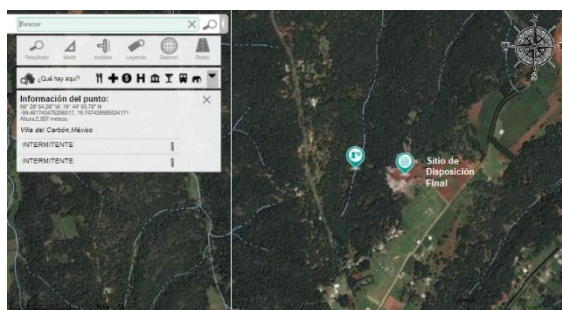


Figura 8. Restricción por Ríos cercanos al SDF de Villa del Carbón, EdoMéx



Fuente: Adaptado de INEGI, 2021

Figura 9. Restricción por escurrimientos cercanos al SDF de Villa del Carbón, EdoMéx

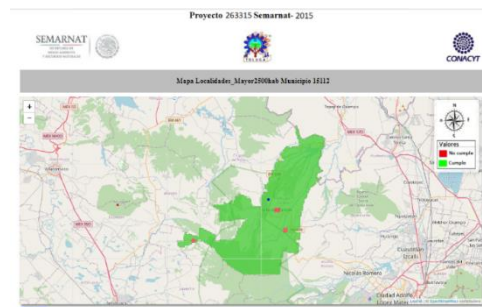


Figura 10. Restricción por localidades mayores de 2500 habitantes cercanas al SDF de Villa del Carbón, EdoMéx

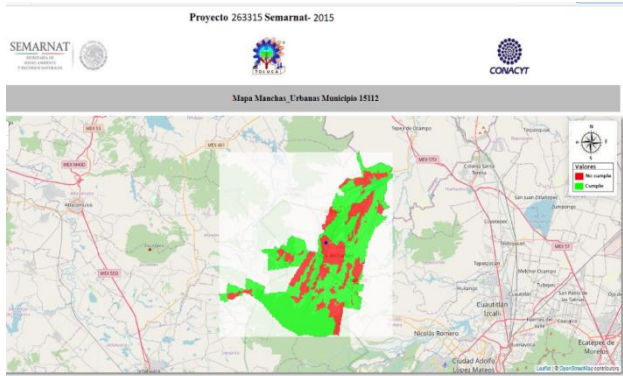


Figura 11. Restricción por Mancha urbana cerca al SDF de Villa del Carbón, EdoMéx

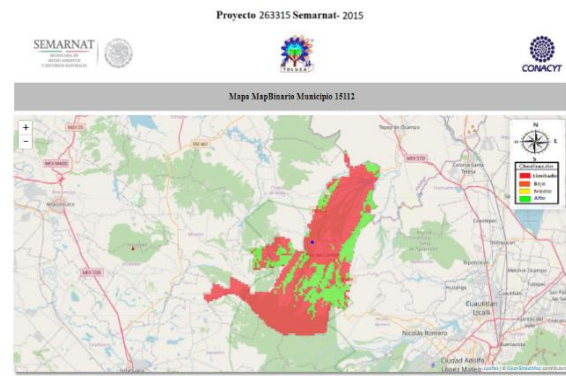


Figura 12. Mapa Binario con restricciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003 para el SDF de Villa del Carbón, EdoMéx

De acuerdo con el análisis realizado al SDF del municipio de Zumpango de Ocampo, EdoMéx y la información proporcionada por el SIGMIRSU, se determinó que cumple con la restricción por aeródromos de servicio al público o aeropuertos, fallas o fracturas y zonas arqueológicas. Si bien en este municipio se encuentra el Área natural protegida denominada “Santuario del Agua Laguna de Zumpango”, el SDF no se ubica dentro de ella, por lo que cumple con la restricción (Figura 13). Así mismo, cumple con la restricción de ríos, pues la corriente de agua más cercana se encuentra a 824.61 m (Figura 14), cuenta con carreteras cercanas (Figura 15) y cumple con la restricción de distancia mayor a 500 m de localidades mayores a 2500 hab (Figura 16). Sin embargo, incumple la restricción por mancha urbana, ya que se encuentra inmerso entre rancherías (Figura 17). En la figura 18 se presenta el mapa binario con todas las capas sobrepuestas (DOF, 2004; Hernández-Berriel et al., 2021).

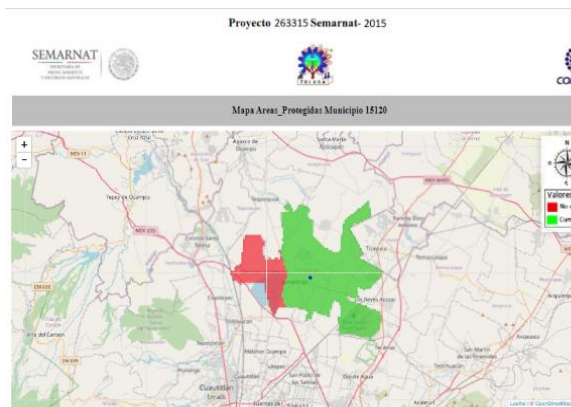


Figura 13. Restricción por áreas protegidas para el SDF de Zumpango de Ocampo, EdoMéx

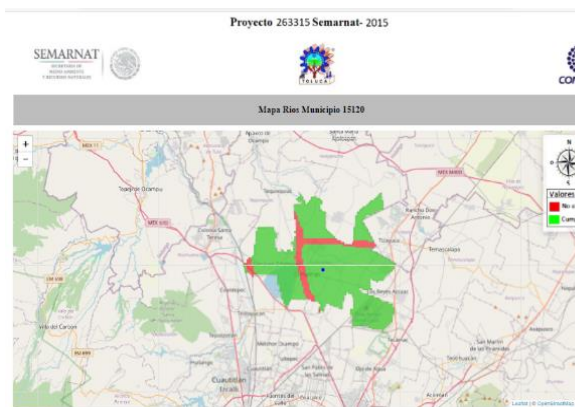


Figura 14. Restricción por Ríos para el SDF de Zumpango de Ocampo, EdoMéx

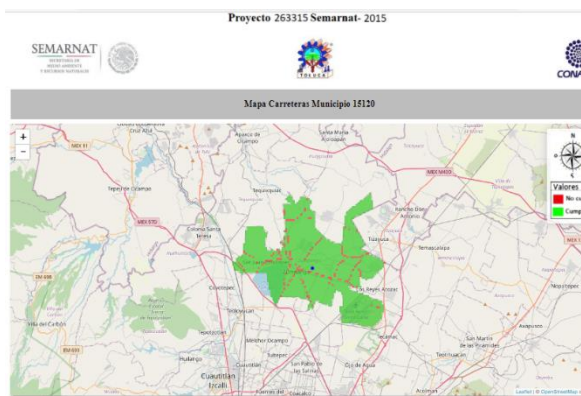


Figura 15. Restricción de carreteras para el SDF de Zumpango de Ocampo, EdoMéx

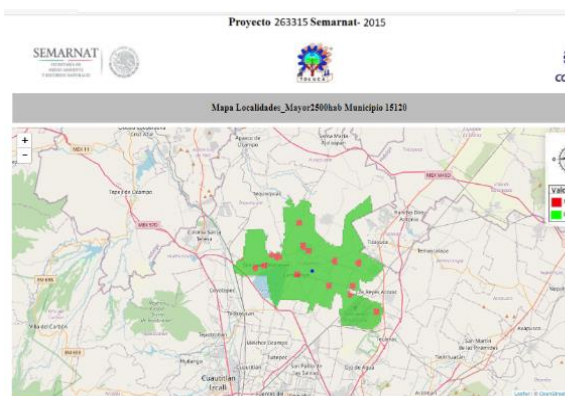


Figura 16. Restricción por localidades mayores a 2500 hab del SDF de Zumpango de Ocampo, EdoMéx

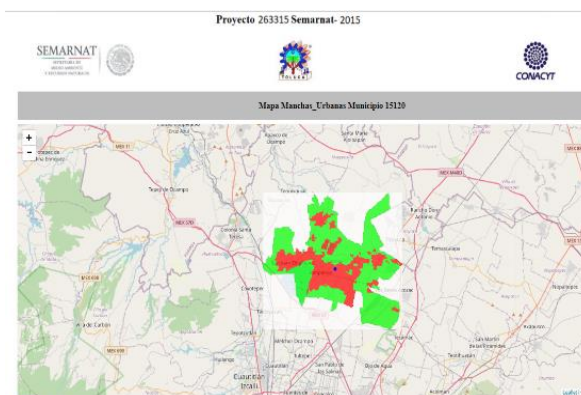


Figura 17. Restricción por Mancha urbana de Zumpango de Ocampo, EdoMéx

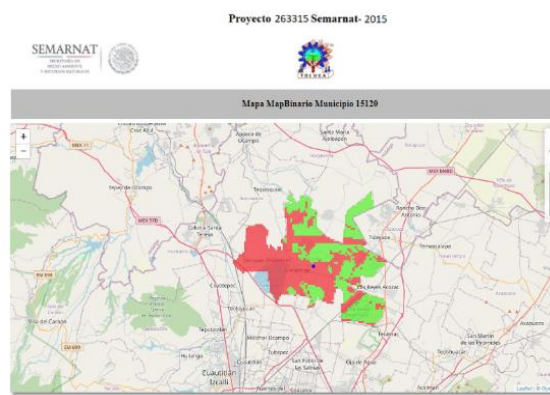


Figura 18. Mapa Binario con restricciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003 para el SDF de Zumpango de Ocampo, EdoMéx

En la tabla 2 se presenta el puntaje obtenido para cada apartado de la TV, donde puede verse que ambos municipios obtuvieron valores bajos en el grado de cumplimiento. Para los SDF de Villa del Carbón y de Zumpango de Ocampo, EdoMéx, los responsables del manejo de los RSU en sus respectivos municipios comentaron que se contaba con lo solicitado en el punto 6.3 de la NOM-083-SEMARNAT-2003, sin embargo no mostraron los estudios y en los documentos revisados de 2016 a 2021 de Bandos Municipales y Planes de desarrollo y Actas de cabildo publicadas, no se localizó evidencia (Ayuntamiento Constitucional de Zumpango, 2021; GCVC, 2019; H. Ayuntamiento de Villa del Carbón, 2016, 2020; H. Ayuntamiento de Zumpango, 2019a, 2020). En cuanto al punto 6.4, se consideraron los estudios de caracterización de RSU in situ, realizados entre 2016 y 2017 mediante el proyecto SEMARNAT-2015-263315 (Hernández-Berriel et al., 2017) y para el apartado 7 se tomó en cuenta el DBGIR-2020, el cual reporta que ambos SDF carecen de las características de infraestructura, pero si tienen las características de operación: Control de acceso, Control de admisión y, Compactación y cubrimiento de tierra (SEMARNAT, 2020).

De la información recabada en campo, se tiene conocimiento que el SDF de Zumpango de Ocampo cuenta con dos pozos de venteo, canales pluviales, un rustico sistema para lixiviados, así como control parcial de dispersión de materiales ligeros y fauna nociva. Cabe mencionar que el apartado 8 denominado “Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME”, no se consideró pues es exclusivo para SDF tipo D. En cuanto al punto 9, si bien en las fotografías satelitales se puede ver el cubrimiento con tierra, éste no ha sido para clausura del SDF de Zumpango de Ocampo; mientras que para el SDF de Villa del Carbón se localizó el documento de la Primera Sesión Ordinaria 2019 del Consejo para el Desarrollo Metropolitano del Valle de México (CDMVMéx), realizada el 27 de marzo 2019, donde se consideró el financiamiento con \$50'000,000.00 (Cincuenta millones de pesos 00/100 MXN) para la “Clausura y Saneamiento del sitio no controlado del Municipio de Villa del Carbón...”, lo cual coincide con la reducción del área afectada que muestra la figura 3 (CDMVMéx, 2019; DOF, 2004).

Tabla 2. Evaluación de la NOM-083-SEMARNAT-2003 con la TV

APARTADOS DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003	PUNTUAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN/NIVEL DE CUMPLIMIENTO	PUNTUAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN/NIVEL DE CUMPLIMIENTO
Subcategoría del SDF	Villa del Carbón	C (*20 t/día)	Zumpango de Ocampo	B (*79 t/día)
6. Especificaciones para la selección del sitio				
6.1 Restricción para ubicación del sitio (7 Puntaje Máximo)	4	57.0 %	6	85.7 %
6.3 Estudios y análisis en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final (6 Puntaje Máximo)	0	0.0%	0	0.0%
6.4 Estudios de generación y composición (2 Puntaje Máximo)	1	50.0%	1	50.0%
7. Características constructivas y operativas del sitio (41 Puntaje Máximo)	3	7.3%	10	24.4%
9. Clausura del sitio (8 Puntaje Máximo)	4	50.0%	0	0.0%
Evaluación global del cumplimiento (64 Puntaje Máximo)	12	18.8 %	17	26.6 %

Fuente: Hernández-Berriel et al., 2021; * SEMARNAT, 2020

3.3 Evaluación preliminar

De acuerdo con el DBGIR-2020, 13 de los 17 municipios de la periferia del EdoMéx que integran la región noreste, cinco SDF tienen categoría A, uno de categoría B, cuatro de categoría C y tres de categoría D, además de 2 plantas de transferencia (SEMARNAT, 2020). En la tabla 1 se puede observar para los SDF de Villa del Carbón y de Zumpango de Ocampo que cuando el área de impacto es mayúscula, se realizan actividades de cubrimiento con tierra, con el fin de mitigar la afectación; sin embargo, el trabajo de saneamiento solo se detectó en las últimas administraciones municipales de ambos ayuntamientos (CDMVMéx, 2019; H. Ayuntamiento de Zumpango, 2020).

La tabla 2 muestra el puntaje de cumplimiento de la TV y las áreas de oportunidad del SDF de Villa del Carbón, donde en la subcategoría 6.1 se incumplieron tres criterios, los cuales son de suma importancia, debido a que corresponden a Áreas Naturales Protegidas, Cuerpos de agua y Mancha urbana. Se obtuvo incumplimiento en la subcategoría 6.3 y cumple parcialmente en la subcategoría 6.4 y en la categoría 9 de la NOM-083-SEMARNAT-2003. El nivel de cumplimiento general fue del 18.8 %, por lo que se recomienda atender las áreas de oportunidad detectadas y clausurar para dejar de afectar al ambiente y a la salud de poblaciones cercanas. Esto último se corrobora en lo emitido en el Capítulo 7 de la XVI Sesión de Cabildo del H. Ayuntamiento de Villa del Carbón (22 de abril 2016) y en lo detectado en el documento del CDMVMex (CDMVMex, 2019; DOF, 2004; H. Ayuntamiento de Villa del Carbón, 2016).

Se detectó en el PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL DEL AYUNTAMIENTO DE VILLA DEL CARBÓN 2019 – 2021, que uno de sus Programas presupuestarios es “Gestión integral de residuos sólidos”, que tiene por Objetivo “Conjunto articulado e interrelacionado de acciones, para el manejo integral de residuos sólidos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y la aceptación social para la separación de los mismos, proporcionando una mejor calidad de vida de la población” (GCVC, 2019); lo cual se ha promovido y se ratifica en el Bando Municipal 2020, donde en el Artículo 150bis se establece la eliminación de plásticos de un solo uso y en el Artículo 151 se indica que el Ayuntamiento está facultado para concesionar la disposición final y el reciclaje de residuos valorizables (H. Ayuntamiento de Villa del Carbón, 2020).

Para el SDF de Zumpango de Ocampo, el DBGIR-2020 indica que recibe solo 79 t/día de RSU, mientras que el INEGI (2021) reporta una población de 280,455 hab para 2020, de manera que si se considera una generación per cápita de 0.939 kg/hab-día (INEGI, 2021; SEMARNAT, 2020), se puede estimar que la generación de RSU asciende a 263.3 t/día; lo que es indicio que este SDF bien podría ser tipo A, o que los RSU generados se están disponiendo en otros sitios no oficiales, como se menciona en el PROGRAMA OPERATIVO DE PROTECCIÓN CIVIL PARA AGENTES PERTURBADORES DE ORIGEN SANITARIO 2019-2021 (H. Ayuntamiento de Zumpango, 2019b).

La tabla 2, el trabajo de campo, la investigación documental y el uso de SIG evidenciaron que el SDF de Zumpango de Ocampo carece de geomembrana, no cuenta con área de emergencia, no se realiza en él la compactación adecuada, ni el cubrimiento diario de RSU

(INEGI, 2021; Google 2021a, 2021b, 2021c; Hernández-Berriel et al., 2021; SEMARNAT, 2020). Además, en el Artículo 140 del BANDO MUNICIPAL DE ZUMPANGO 2021, se descubrió que la “Jefatura del Sitio de Disposición de Residuos Sólidos Urbanos” tiene el deber de reducir la generación de RSU y promover la entrega diferenciada en la recolección, su reuso y reciclaje, para minimizar la disposición (Ayuntamiento Constitucional de Zumpango, 2021).

Cabe mencionar que para minimizar el impacto al ambiente y a la salud, es recomendable la implementación de barreras naturales, debido a que existen rancherías a distancias menores a 500 m de ambos SDF evaluados; construir y mantener canales para desviar los escurrimientos pluviales de las celdas de disposición, con el fin de evitar la sobresaturación de humedad en los RSU y la generación de lixiviados; dar cumplimiento al subapartado 6.3 y al apartado 9 de la NOM-083-SEMARNAT-2003; considerar los informes proporcionados mediante el proyecto SEMARNAT-2015-1-263315 para el punto 6.4; y atender el apartado 7 en cuanto a la determinación del coeficiente de conductividad hidráulica; la extracción, captación, conducción y quemado del biogás; la captación, extracción y recirculación de lixiviados; el control total de la dispersión de materiales ligeros; el área de emergencia; la compactación y cobertura diaria de RSU; el control total de fauna nociva; el registro total en la entrada de la cantidad de RSU que reciben; el grado de estabilización de los residuos y la elaboración del manual de procedimiento de operación (DOF, 2004).

4. Conclusiones

El análisis histórico de áreas afectadas de ambos SDF evaluados y la falta de estudios previos para su implantación, evidencian que son relativamente jóvenes, que iniciaron de manera clandestina y que solo las últimas administraciones municipales han mostrado interés en reducir las áreas afectadas.

Se logró el objetivo de este trabajo, debido a que el uso de herramientas como el SIGMIRSU, Mapa Digital de INEGI, Google Earth y Google Maps, facilitó la ubicación de SDF y su análisis bajo los criterios del subapartado 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003.

La Tabla de Verificación permitió concentrar información, detectar áreas de oportunidad de fácil implementación para reducir la afectación a la salud de las poblaciones cercanas y corroborar que los SDF evaluados conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003, deben ser clausurados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca por el apoyo brindado mediante el proyecto de Investigación clave 10312.21-P “Evaluación para clausura o rehabilitación de dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en el Estado de México”; así como al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por el financiamiento, mediante el Proyecto de investigación SEMARNAT-2015-1-263315.

Referencias bibliográficas

Ager Ingenieros. (2015). Los sistemas de información geográfica. Características y aplicaciones generales. Ager Ingenieros, Ingeniería Rural y Civil. (Documento Web, último acceso: 13/Diciembre/2020). <http://www.ager.es/productos/gis/sig.pdf>.

Ayuntamiento Constitucional de Zumpango (2021). Bando Municipal de Zumpango 2021, Administración 2019-2021. Publicado el 6 de enero del 2021. (Documento WEB, último acceso 02/09/2021). <http://zumpango.gob.mx/wp-content/uploads/2021/03/BandoMunicipal2021.pdf>

BANOBRAS. (2019). Informe Anual de Actividades 2019. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. (BANOBRAS). (Documento WEB, último acceso 01/09/2021). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/607391/Informe_Anual_2019.pdf

BANOBRAS. (2020). Informe Anual de Actividades 2020. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. (BANOBRAS). (Documento WEB, ultimo acceso 01/09/2021). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/642794/informe2020_24mayo21_19_12PM_OK_vinculo_EstadosFinancieros.pdf

Bosque-Sendra J., Salado-García M., Moreno-Jiménez A., Oliveros-Escribano D., Olaya-Ferrero V. (2012). Sistemas de Información Geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos. 2ª Edición. Editorial Alfaomega y Ra-Ma. Madrid, España. ISBN: 978-607-707-539-4.

Buenrostro-Delgado O., Hernández-Berriel M.C., Hernández-Paniagua I.Y., Mañón-Salas M.C. (2019). Households as Sources Contributing the Most to Urban Solid Wastes Production: Implications for a Better Management and Disposal. Journal of Environmental Protection. Vol. 10, pp. 1072-1084, <https://doi.org/10.4236/jep.2019.108063>.

Buenrostro D.O., Mendoza M., Lopez G.E., Geneletti D. (2008). Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. Waste Management. Vol. 28, 1137-1146.

Castro-Frontana, D., Mata, F., López, K., Espejel, J. (2012). Environmental Geographic Information System for Solid Waste Management in Municipalities of Mexico, International Conference on Environmental Engineering and Applications. Dubai, 5-6 August 2012.

CDMVMéx. (2019). Primera Sesión Ordinaria 2019 del Consejo para el Desarrollo Metropolitano del Valle de México (CDMVMéx), realizada el 27 de marzo 2019. (Documento WEB, último acceso 07/09/2021). <https://www.transparencia.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5d2/602/08d/5d260208dcd a9023509682.pdf>

Cortinas de Nava C. (2018). Prevención y Gestión Integral de los Residuos para lograr un ambiente sano. (Documento Web, último acceso: 13/Agosto/2021). <https://cristinacortinas.org/sustentabilidad>

DOF. (2004). NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México, México, 20 de octubre de 2004. (Documento WEB, último acceso 07/08/2021). <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>

GEM. (2018). Decreto del Ejecutivo del Estado por el que se establecen las Regiones Ambientales del Estado de México. Publicado el 08 de octubre del 2018 en la Gaceta No. 68 del Gobierno del Estado de

México (GEM). (Documento Web, último acceso 31/Agosto/2021).
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2018/oct083.pdf>

Gemitzi, A., Tsihrintzis, A. V., Voudrias, E., Petalas C., Stravodimos, G. (2007). Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills. *Environmental Geology* 51. 797–811.

Giménez, V. M. & Cardozo C. R. (2012). Optimal location of sanitary landfill applying multicriteria techniques in geographic information systems (GIS) in the metropolitan area of the Alto Parana. VII Congreso de Medio Ambiente/AUGM. La Plata, Argentina.

GCVC. (2019). Plan de desarrollo Municipal de Villa del Carbón 2019–2021. Gaceta No 5, Publicado el 29 de marzo de 2021 por el Gobierno Constitucional de Villa del Carbón (GCVC). (Documento WEB, último acceso 07/09/2021).
https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo3/2019/43038/4/086066e244102f50b14a04aee293550d.pdf

Google. (2021a). Villa del Carbón en Google Maps. (Documento WEB, último acceso 02/09/2021).
<https://www.google.com/maps/place/19%C2%B044'46.0%22N+99%C2%B028'46.0%22W/@19.7457393,-99.4852392,1404m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1soxo:oxo!8m2!3d19.746111!4d-99.479444>

Google. (2021b). Zumpango en Google Maps. (Documento WEB, último acceso 02/09/2021).
https://www.google.com/maps/d/u/o/viewer?msa=0&mid=1kgJ4ZBnZdpP8Sh4_4fAnYros4ns&ll=17.653811000000026%2C-99.530811&z=17

Google. (2021c). Google Earth Pro V7.3. (Aplicación WEB)
<https://www.google.com/intl/es/earth/download/gep/agree.html>

H. Ayuntamiento de Villa del Carbón. (2016). Bando Municipal de Villa del Carbón 2016, Administración 2016–2018. Publicado el 28 de enero del 2016. (Documento WEB, último acceso 31/08/2021).
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/bdo/bdo116.pdf>

H. Ayuntamiento de Villa del Carbón. (2020). Bando Municipal del Villa del Carbón 2020, Administración 2019–2021. Publicado el 5 de febrero del 2020. (Documento WEB, último acceso 30/08/2021).
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/bdo/bdo2020/bdo116.pdf>

H. Ayuntamiento de Zumpango. (2019a). Bando Municipal de Zumpango 2019–2021. (Documento WEB, último acceso 13/05/2021).
zumpango.gob.mx/BANDO%20MUNICIPAL%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20ZUMPANGO%202019-2021.pdf?fbclid=IwAR2N43acQ15C5IrXQS86KaQH-Jjvd7kDiJpfdiOroIDqubSiUPqU4JDyx0A

H. Ayuntamiento de Zumpango. (2019b). Programa Operativo de Protección Civil para Agentes Perturbadores de Origen Sanitario. Zumpango de Ocampo. Estado de México. (Documento WEB, último acceso 02/09/2021).
http://zumpango.gob.mx/wp-content/uploads/2020/origen_sanitario.pdf

H. Ayuntamiento de Zumpango. (2020). Bando Municipal de Zumpango 2020. (Documento WEB, último acceso 13/08/2021).
<http://zumpango.gob.mx/wp-content/uploads/2020/bando2020.pdf>

Hernández-Berriel M.C., Carreño de León M.C., Mañón-Salas M.C., de la Rosa-Gómez I., Castro-Frontana D.G., Piña-Guzmán A.B., Robles-Martínez D., Buenrostro-Delgado O., Lobo-García de Cortázar A., Colomer Mendoza F.J., Gallardo-Izquierdo A. (2017). Ubicación de futuros rellenos sanitarios intermunicipales en el Estado de México y entidades aledañas. Primer Encuentro Científico y Técnico, Serie Avances de Investigación, Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT, realizado el 1 y 2 de junio de 2017, páginas 243-247.

Hernández-Berriel M.C., López-Gasca S.O., García-Cortázar A.L., Mañón-Salas M.C., Colomer-Mendoza F.J. y Buenrostro-Delgado O. (2021). Metodología ágil para clausurar o regularizar sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos. Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT. En proceso de impresión.

INEGI. (2017). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (Documento Web, último acceso: 10/Enero/2021). https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/cngmd/2017/doc/CNGMD_2017_Resultados.pdf

INEGI. (2021) Mapa Digital de México V6.3.0. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (Documento WEB, último acceso 26/08/2021). <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0b0JlE1NzZ0LWxvbjotOTkuNDE1NzksejoxNSxsOnRjMTExc2VydmljaW9zfGMxMDB8YzEwMlXjc2RmLA>

Lobo-García de Cortázar, A., Szantó Narea, M., Llamas, S. (2016). Cierre, Sellado y Reinserción de Antiguos Vertederos. Experiencias en Iberoamérica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32, 123-139. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.09>

Olusina J.O. & Shyllon D. O. (2014). Suitability Analysis in Determining Optimal Landfill Location Using Multi-Criteria Evaluation (MCE), GIS and Remote Sensing. International Journal of Computational Engineering Research (IJCER). 4. (6). ISSN (e):2250-3005.

Ortiz-Conde R. y Hernández-Barrios C. (2012). Manual de rehabilitación, clausura y saneamiento de sitios de disposición final. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (Documento WEB, último acceso 23/03/2021) <https://es.slideshare.net/IvanSoto4/manual-derehabilitacion-clausuraysaneamientodesitiosdedisposicionfinal>

Sánchez-Gil S. (2017). Optimización de la ubicación de instalaciones de eliminación de Residuos Municipales (RM) mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Tesis de Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Santander, España.

SEMARNAT. (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Primera edición, mayo 2020. (Documento Web, último acceso 02/Enero/2021). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

Silva J. T., Estrada F., Ochoa S., Cruz G. (2006). Propuesta metodológica para la ubicación de áreas de disposición de residuos sólidos urbanos. Revista internacional de contaminación ambiental, 22(4), 147-156.

TAAF Consultoría Ambiental. (2012) Manifestación de impacto ambiental modalidad particular para el cambio de uso de suelo para Relleno Sanitario tipo C en el municipio de El Espinal, Estado de Oaxaca. (Documento WEB, último acceso 29/08/2021). <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/oax/estudios/2012/200A2012F0017.pdf>

Wehenpohl G., Heredia-Cantillana P., Hernández-Barrios C. P., de Buen-Richkard B. H. (2004). Guía de Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos

Naturales (SEMARNAT) y Agencia de Cooperación Alemana (GTZ). (Documento WEB, último acceso 28/08/2021).

http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_Cumplimiento_NOM_083.pdf

Análisis de la ubicación de Sitios de Disposición Final y su relación con factores sociales y económicos a través de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio: Papantla, Tecolutla y Gutiérrez Zamora, Veracruz. México.

¹Alejandra Vallejo Marín, ¹María Yolanda Leonor Ordaz Guillén.

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Calle 30 de junio de 1520 s/n, Col. La Laguna Ticomán, C.P. 07340, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, 555 729 60 00, ext. 52734, mordazg@ipn.mx

Resumen

En los últimos años en las ciudades del mundo, los residuos y su disposición final han generado problemáticas ambientales y sanitarias, si bien en los centros urbanos y grandes ciudades es en donde se genera una mayor cantidad de residuos. Éstos son usualmente enviados a zonas periurbanas y rurales, en donde las personas que habitan ahí perciben de manera directa los efectos negativos de la presencia de rellenos sanitarios o sitios no controlados.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es analizar y relacionar factores sociales y económicos como grado de marginación, grado de rezago social, población ocupada en actividades económicas y grado promedio de estudios, con la ubicación de los sitios de disposición final o estaciones de transferencia de los municipios de Tecolutla, Papantla y Gutiérrez Zamora ubicados en el estado de Veracruz, a partir de una metodología cuantitativa que incluye la descarga, visualización y análisis de bases de datos a través del uso de software de información geográfica.

A partir de las condiciones socioeconómicas analizadas en las localidades cercanas a la infraestructura de residuos, se encontraron contrastes en comparación con las de las cabeceras municipales, lo cual muestra que la gestión de residuos sólidos urbanos de la Subcuenca Río Tecolutla obedece al modelo centro-periferia, llevando usos de suelo indeseables a zonas vulnerables.

Palabras Clave: *Estación de transferencia, residuos, tiraderos a cielo abierto.*

1. Introducción

A partir de la industrialización, las ciudades han crecido, no sólo en tamaño, sino en número; sin embargo, la definición de “ciudad” resulta complicada, ya que depende de diversos factores que van más allá del número de habitantes, industrias, rascacielos o edificios. Las ciudades son resultado de la urbanización, que es un fenómeno sociológico complejo y consiste en el crecimiento de la población, la intensificación de la división del trabajo, el aumento de la industria y el comercio, la evolución social, entre otros; sin

embargo, a grandes rasgos, una ciudad es una comunidad de asentamiento base en donde habitan hombres y mujeres que realizan actividades y atenciones básicas para ellos. (Castro, et. al., 2003).

A partir del concepto de ciudad y sus componentes sociológicos, es posible vincular la desigualdad con el espacio urbano, ya que éste es un producto de las relaciones sociales y sus efectos, por lo tanto, éstas serán diferentes dependiendo de la época, contexto social y económico de la región en que la ciudad se ubique.

Como se mencionó anteriormente, el componente temporal juega un papel importante en las ciudades, ya que sus dinámicas se transforman con el paso del tiempo. En las ciudades latinoamericanas, durante los años 70 se construyó un modelo en el que resaltaban características como la informalidad laboral y habitacional, además de la polarización social entre espacios urbanos, centros consolidados y periferias pobres.

Posterior a la liberación económica y globalización de la región, se observó además un proceso de reestructuración de las ciudades y como consecuencia la desregulación del uso del suelo y centralización del capital, debido a procesos controlados por estrategias empresariales con tendencia a la privatización (Segura, 2014).

También, existía -y continúa existiendo- una reacción pública negativa acerca de algunos usos de suelo catalogados como no deseables, entre los cuales se encuentran plantas químicas y Sitios de Disposición Final (SDF), entre otros. Lo anterior, debido a que los habitantes que viven en los alrededores de estos sitios usualmente perciben que la carga negativa de dichas actividades cae directa y únicamente sobre ellos, mientras el resto de la sociedad sólo recibe los beneficios (Bosque, et. al., 2000). El presente trabajo se enfocará en los SDF, es importante mencionar que la percepción negativa que se desprende de cualquier tipo de infraestructura relacionada a los residuos contiene un componente político y territorial. Estos sitios deben ser ubicados en algún lugar y esta decisión es usualmente, un factor de desigualdad debido a la forma irregular en la que los efectos negativos se distribuyen en el territorio y estos perjudican principalmente a las poblaciones cercanas (Bosque, et. al., 2000).

De acuerdo con Gómez y Conejero (2017), estos usos de suelo indeseados han sido llevados, en su mayoría, a zonas en las que habitan personas con bajos recursos, zonas de migrantes y con un bajo acceso a la infraestructura pública como parques, escuelas, transporte público, servicios básicos y de salud.

En el caso de los SDF e infraestructura de residuos, resulta interesante que los RSU y los efectos negativos que su disposición final genera, sean transportados lejos de los centros económicos ya que se ha encontrado una estrecha correlación entre la cantidad de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generada y los centros de poder económico (ONU, 2018). Esto resulta contrario a los objetivos de desarrollo sostenible, en especial al objetivo 11 ciudades y comunidades sostenibles, algunas de las metas de este objetivo incluyen mejorar los barrios marginales, así como reducir el impacto ambiental negativo que deriva del manejo de los RSU (ONU, 2019).

Como en la mayor parte de los países, en México existe un claro ejemplo de la desigualdad que se vive entre los centros de poder económico y sus periferias en cuestión de la ubicación

de infraestructura de residuos, este es la Ciudad de México (CDMX), ya que el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en 2020 reporta que la CDMX es la segunda entidad federativa que más RSU genera, con aproximadamente 9,552 toneladas de residuos al día, sin embargo, de acuerdo a la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México (SOBSE), (2021), los cinco SDF que brindan servicio a la ciudad se encuentran ubicados fuera de su territorio; cuatro en el Estado de México y uno en Cuautla, Morelos.

Lo anterior, sucede de manera similar a nivel estatal y municipal; en el estado de Veracruz se generan aproximadamente 7,813 toneladas de residuos al día, tomando la quinta posición a nivel nacional como generador de RSU, sin embargo, presenta una cobertura de servicio de limpia de 78 %, cuenta con seis estaciones de transferencia, una planta de tratamiento de residuos y 150 SDF, ubicados en 140 de sus 212 municipios (SEMARNAT, 2020); de estos 150 SDF, 146 corresponden a Sitios No Controlados (SNC) y cuatro a Rellenos Sanitarios (RS) (INEGI, 2019).

En los municipios de Tecolutla, Papantla y Gutiérrez Zamora se encuentra infraestructura de transporte (Estación de Transferencia (ET)) y disposición final de residuos de la siguiente manera:

- Papantla: Un SNC con clausura inadecuada y una ET operada anualmente por el gobierno municipal.
- Gutiérrez Zamora: Un SNC con clausura inadecuada y un RS operado por una empresa privada.
- Tecolutla: Un SDF en transición, de SNC a RS, sin embargo, por el momento únicamente funciona como ET.

El objetivo del presente trabajo es analizar y relacionar factores sociales y económicos como grado de marginación, grado de rezago social, Población Ocupada en Actividades Económicas (PEA) y Grado Promedio de Estudios (GPE), con la ubicación de los SDF o ET de los municipios de Tecolutla, Papantla y Gutiérrez Zamora, ubicados en el norte del estado de Veracruz, haciendo usos de sistemas de información geográfica para conocer si en la Subcuenca Río Tecolutla la disposición final de los RSU obedece el modelo centro-periferia de las ciudades.

2. Metodología

Se realizó una investigación descriptiva, con un método cuantitativo para conocer la correlación de factores sociales y económicos como grado de marginación, grado de rezago social, población ocupada en actividades económicas y grado promedio de educación con la ubicación de los SDF o ET, al compararlos con los encontrados en las cabeceras municipales.

Se llevó a cabo en las etapas siguientes:

- **Primera:** Se efectuó la investigación bibliográfica del tema a desarrollar.
- **Segunda:** Se realizó la búsqueda y descarga de las variables a analizar en bases de datos.

- **Tercera:** Los datos fueron procesados y visualizados con el software ArcMap 10.8, haciendo uso de un área de influencia de 2 km a la redonda de la infraestructura de residuos y la cabecera municipal de cada municipio.
- **Cuarta:** Se analizaron los resultados y se elaboraron las discusiones del trabajo.

Las variables analizadas se definen en la tabla 1.

Tabla 1. Definición de las variables analizadas

Variable	Definición
Grado Promedio de Estudios (GPE)	Es el resultado de los grados escolares aprobados por personas de 15 a 130 años de edad, entre la cantidad de personas del mismo grupo de edad.
Población Económicamente Activa (PEA) ¹	Personas entre 12 años y más que trabajaron o tenían trabajo en el momento del censo.
Grado de Marginación (GM)	El índice de marginación es un resumen que permite diferenciar a las localidades censales del país, según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes. Es un insumo para diagnosticar las desigualdades socioeconómicas y espaciales que existen en el país.
Índice de Rezago Social (IRS)	El Índice de rezago social, es una medida que permite ordenar las entidades federativas, municipios y localidades de mayor a menor grado de rezago social en un momento dado. Toma en cuenta las siguientes variables: 1) rezago educativo; 2) acceso a los servicios de salud; 3) acceso a los servicios básicos, de calidad y espacios en la vivienda, y 4) activos en el hogar.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa, 2014.

3. Resultados y discusión

3.1 Papantla

El SNC actualmente clausurado de Papantla cuenta con un área aproximada de 6.5 hectáreas y se encuentra a 4 km de la cabecera municipal. Durante su operación la contención de lixiviados era realizada con el uso de lagunas de lixiviados sin impermeabilizar, no se contaba con un control de biogás y a sus alrededores se realizan actividades agrícolas de cítricos y ganadería. Este SNC provocaba una percepción negativa a los habitantes a su alrededor (Vallejo y Ordaz, 2020).

¹ Se utilizará la PEA como indicador únicamente para localizar el centro de poder económico dentro del municipio.

A partir de su clausura en el año 2020, se limitó el acceso al SNC por parte de la Secretaría de Medio Ambiente del estado de Veracruz y meses después, el gobierno municipal inauguró una ET a la que actualmente llegan aproximadamente 15 toneladas de RSU al día. Esta ET cuenta con un área aproximada de 0.3 hectáreas, se encuentra rodeada de zonas agrícolas de temporal y permanente. En cuanto a quienes laboran ahí, la totalidad se encuentra contratada por el gobierno municipal.

Grado promedio de estudios

Como se puede observar en la figura 1, alrededor del SNC se encuentra el GPE más bajo, situado dentro de su área de influencia, mientras que el más alto se ubica en la población cercana a la cabecera municipal.

En promedio, alrededor de la infraestructura de residuos los habitantes de 15 a 130 años estudiaron 6.52 años, mientras que quienes viven en zonas cercanas a la cabecera municipal cursaron en promedio 7.89 grados escolares.

Población económicamente activa

En la figura 2 es posible observar las diferencias entre la PEA entre las áreas de influencia cercanas tanto al SNC como a la ET, ya que en éstas dos se encuentra al menor número de personas con actividad económica, alrededor de la ET cuatro personas y alrededor del SNC cinco personas, en contraste con las 22,575 personas en las localidades de la cabecera municipal.

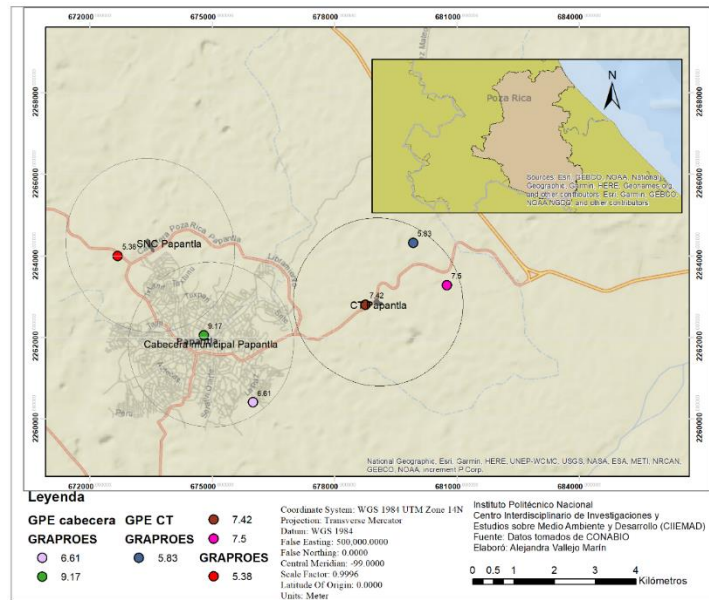
Grado de marginación

En el municipio de Papantla, dentro de las tres áreas de influencia es posible ver que las localidades de estas zonas viven importantes grados de desigualdad socioeconómica.

En las áreas de influencia cercanas al SNC y a la ET el GM va de alto a muy alto, mientras que en la zona más cercana a la cabecera municipal el GM es medio, sin embargo, es importante resaltar que en la zona limítrofe del área de influencia se localiza una localidad con GM muy alto. Lo anterior puede observarse en la figura 3.

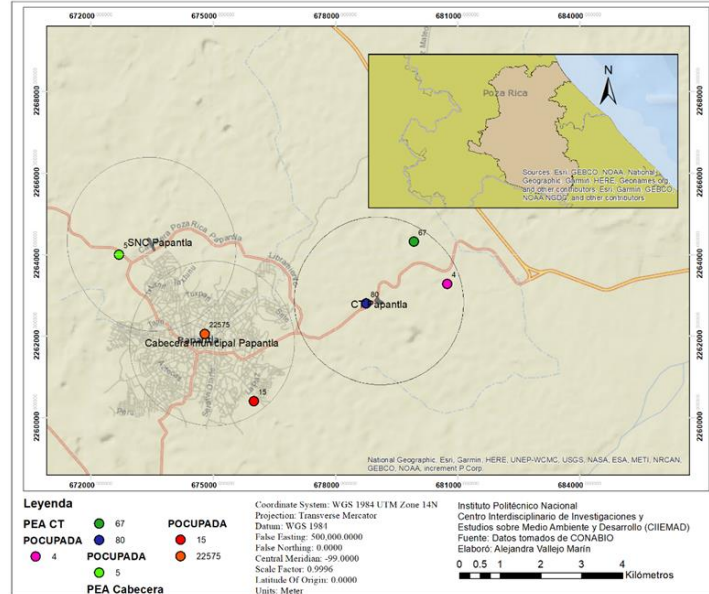
Grado de rezago social

En cuanto al IRS, la figura 4 ilustra el acceso de la población a servicios básicos y servicios de salud; los IRS altos se pueden observar en el área de influencia del SNC y en la zona limítrofe del área de influencia de la cabecera municipal. El IRS más bajo se encuentra cercano a la cabecera municipal.



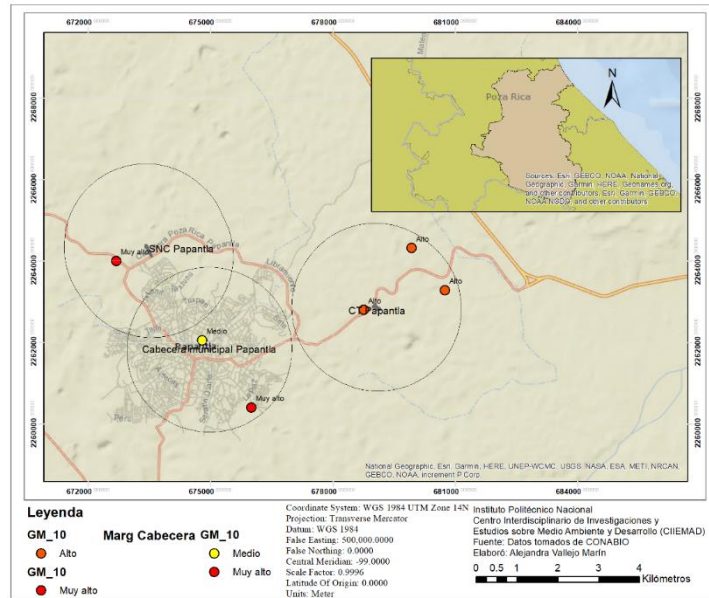
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 1. Comparativa del grado promedio de estudios en el municipio de Papantla, alrededor del sitio no controlado, la estación de transferencia y la cabecera municipal



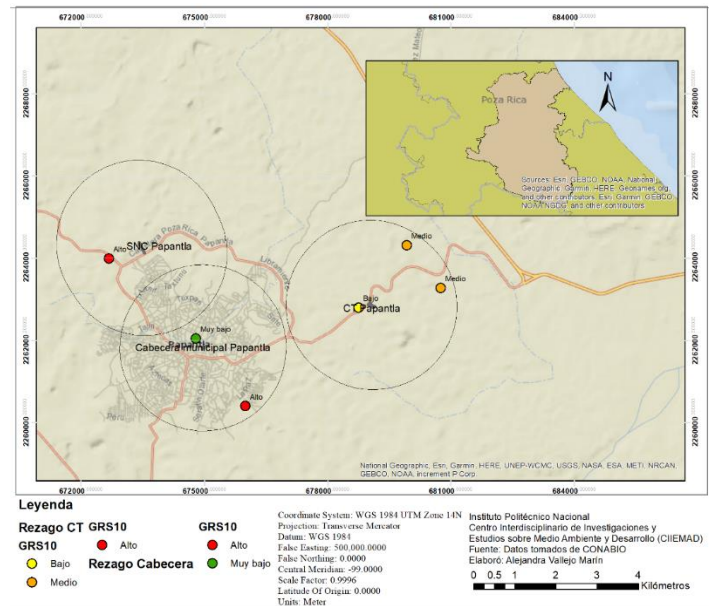
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 2. Comparativa de la población económicamente activa en el municipio de Papantla, alrededor del sitio no controlado, la estación de transferencia y la cabecera municipal



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 3. Comparativa del grado de marginación en el municipio de Papantla, alrededor del sitio no controlado, la estación de transferencia y la cabecera municipal



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 3. Comparativa del grado de rezago social en el municipio de Papantla, alrededor del sitio no controlado, la estación de transferencia y la cabecera municipal

3.2 Gutiérrez Zamora

En Gutiérrez Zamora al igual que en Papantla, hay un SNC clausurado en el año 2020, que operó durante 15 años. Tiene un área aproximada de tres hectáreas y a sus alrededores se encuentran tres asentamientos, una congregación y la Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora (Vallejo y Ordaz, 2020).

En el mes de julio de 2020, se firma el dictamen de procedencia para iniciar operaciones en el RS, concesionado a la empresa Packing Soluciones Ecológicas, S.A. de C.V., para el servicio de recolección, confinamiento y destino final de residuos sólidos urbanos y residuos especiales generados en el municipio de Gutiérrez Zamora, el contrato es válido por 15 años y el Municipio paga \$98,000 pesos M.N. mensualmente a la empresa mencionada (H. Ayuntamiento de Gutiérrez Zamora, 2020). A este RS llegan aproximadamente 21,000 kg diarios de RSU (INEGI, 2017).

Grado promedio de estudios

Como es posible observar en la figura 5, en el municipio de Gutiérrez Zamora, tanto el GPE más bajo como el más alto se observan en el área de influencia de la cabecera municipal, sin embargo, en las áreas de influencia que corresponden a los SDF el promedio de grados escolares es de 6.85, mientras que en la de la cabecera municipal es de 7.52.

Población económicamente activa

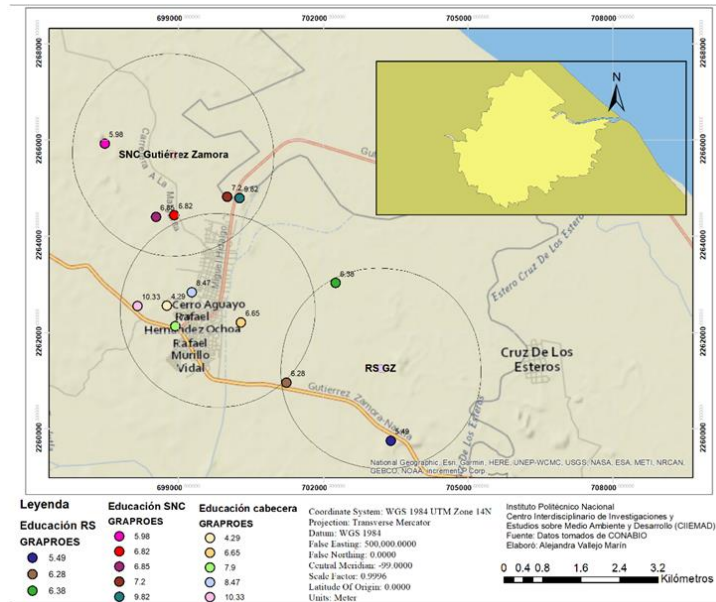
Contrario al grado promedio de estudios, existe una gran diferencia en la PEA; ya que en el área de influencia de la cabecera municipal se encuentra la localidad con un mayor número de personas económicamente activas, como se puede observar en la figura 6.

Grado de marginación

El GM en las áreas de influencia de los SDF es similar (figura 7), ya que, de ocho localidades identificadas, seis tienen un GM alto, mientras que las dos restantes tienen un GM medio, en contraste con las localidades cercanas a la cabecera municipal, en donde de las cinco localidades, dos tienen un GM bajo; una, medio y dos, alto.

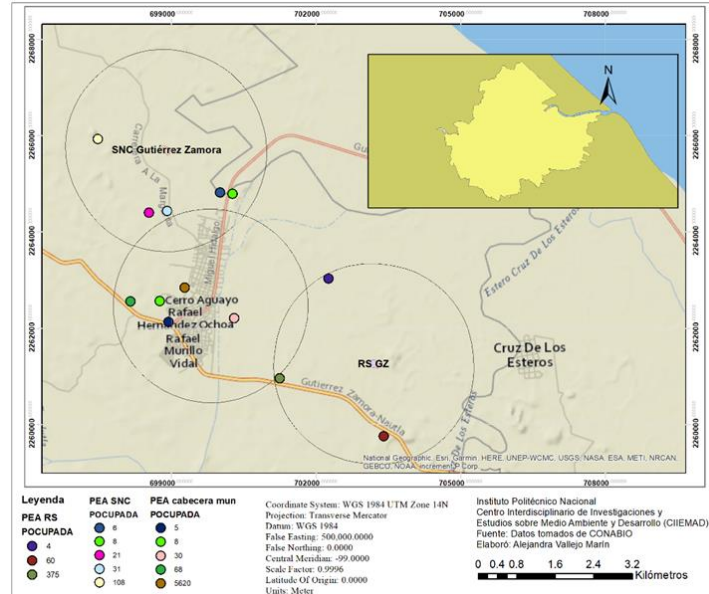
Grado de rezago social

En la figura 8 se aprecian los IRS en las tres áreas de influencia, en las localidades cercanas al SNC se encuentran dos con IRS medio, dos con medio y una con bajo, mientras que en las que rodean al RS hay dos con IRS medio y una con alto, finalmente, alrededor de la cabecera municipal, hay tres localidades con grado de IRS, y una con medio y alto. Lo que quiere decir, que las localidades con mayor acceso servicios básicos y de salud, así como menor rezago educativo, se encuentran cercanas al centro del municipio.



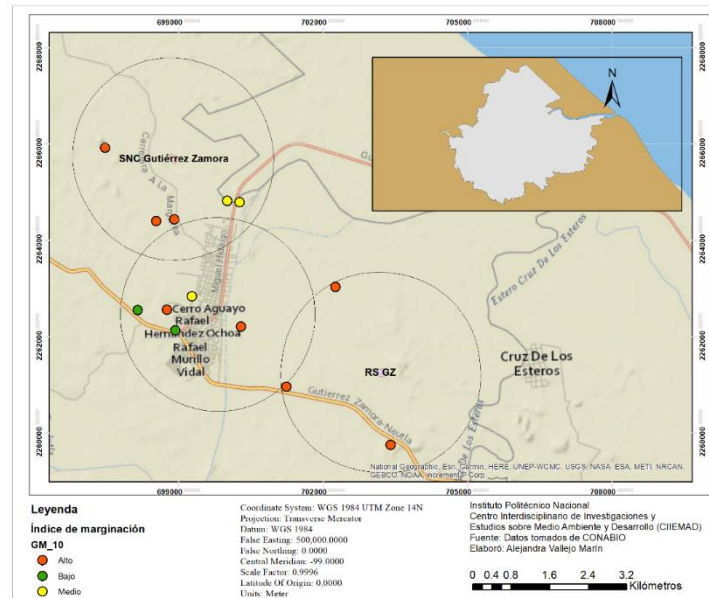
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 5. Comparativa del grado promedio de estudios en el municipio de Gutiérrez Zamora, alrededor del sitio no controlado, el Relleno Sanitario y la cabecera municipal



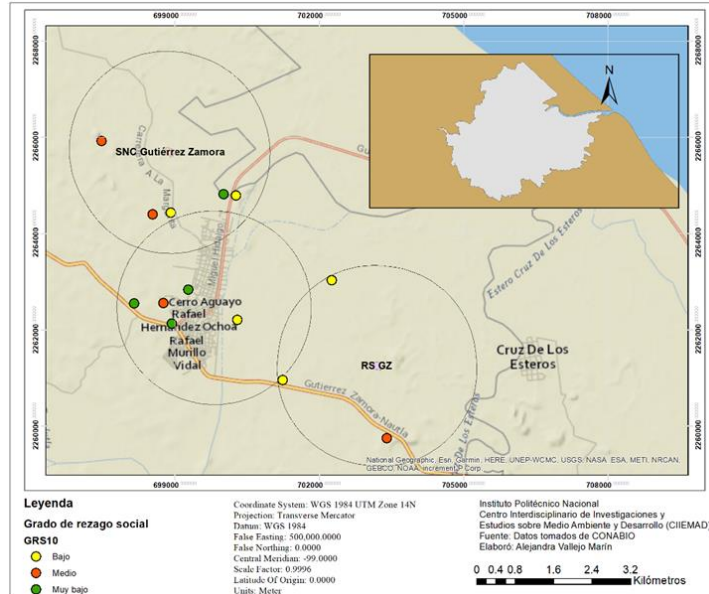
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 6. Comparativa de la población económicamente activa en el municipio de Gutiérrez Zamora, alrededor del sitio no controlado, el Relleno Sanitario y la cabecera municipal



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 7. Comparativa del índice de marginación en el municipio de Gutiérrez Zamora, alrededor del sitio no controlado, el Relleno Sanitario y la cabecera municipal



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 8. Comparativa del grado de rezago social en el municipio de Gutiérrez Zamora, alrededor del sitio no controlado, el Relleno Sanitario y la cabecera municipal

3.3 Tecolutla

El SNC del municipio, después de 12 años de operación como tal, se encuentra en transición hacia un RS, por lo que actualmente funciona sólo como ET, el sitio está alejado de la cabecera municipal, pero cerca de pequeñas localidades y de cultivos citrícolas (Vallejo y Ordaz, 2020).

Previo a la transición del sitio, el municipio realizó un cierre voluntario, ya que en todo el estado fueron clausurados varios SNC por la Secretaría de Medio Ambiente de Veracruz. Una vez cerrado el sitio, se inició su limpieza, se llevaron los RSU que ahí se encontraban al RS de Tuxpan y se comenzó la construcción de la infraestructura de lo que será el RS, actualmente se encuentra construida la primera celda (F. Simbrón, comunicación personal, 26 de marzo de 2021).

Grado promedio de estudios

La figura 9 ilustra el GPE de las localidades en las áreas de influencia del NDF y de la cabecera municipal, siendo la última que cuenta con el grado más alto con 7.99 grados de estudio, mientras que en las localidades cercanas al sitio el grado promedio mínimo es de 4.38 grados escolares y el más alto de 6.5.

Población económicamente activa

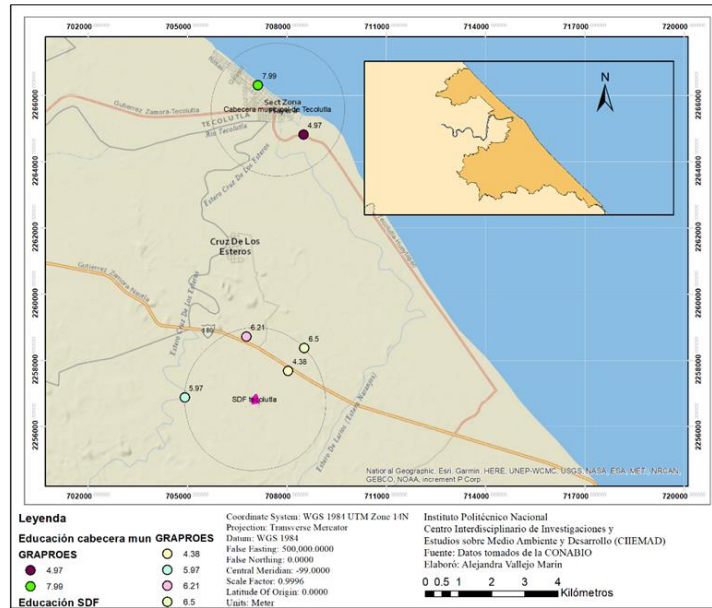
En cuanto a la PEA, se puede observar en la figura 10, que dentro del área de influencia de la cabecera municipal se encuentra el número más alto de personas con actividades económicas, mientras que en la del SDF el número de personas que realizan actividades económicas es significativamente menor.

Grado de marginación

En el GM de las zonas de influencia, no hay una diferencia grande, como se puede observar en la figura 11, ya que en ambas los grados van de altos a muy altos, lo cual significa que los habitantes de estas localidades pueden percibir la desigualdad socioeconómica aún en el centro del municipio y la zona turística.

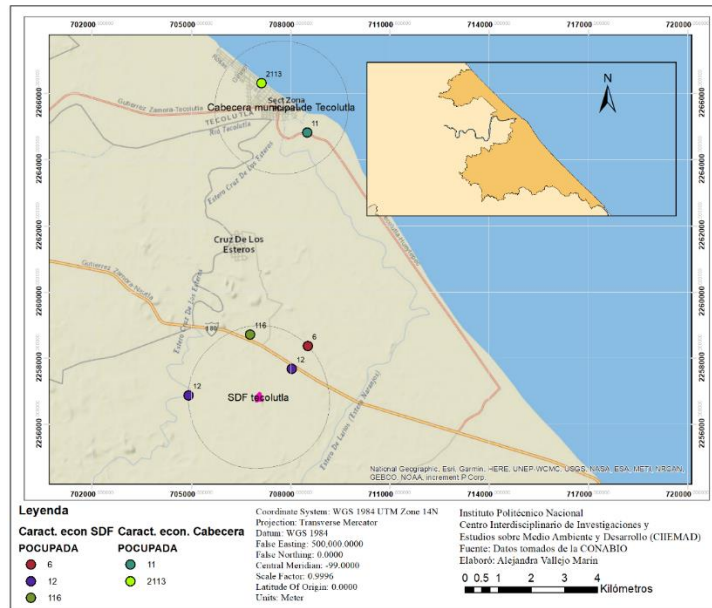
Grado de rezago social

En Tecolutla, el IRS dentro del área de influencia de la cabecera municipal resalta la desigualdad que se vive en el municipio, como se observa en la figura 12, ya que la localidad que se encuentra dentro de la zona turística tiene un IRS muy bajo, mientras que la que se encuentra a tan sólo unos kilómetros, tiene un IRS alto. De las localidades cercanas al SDF dos tienen IRS bajo y dos, alto.



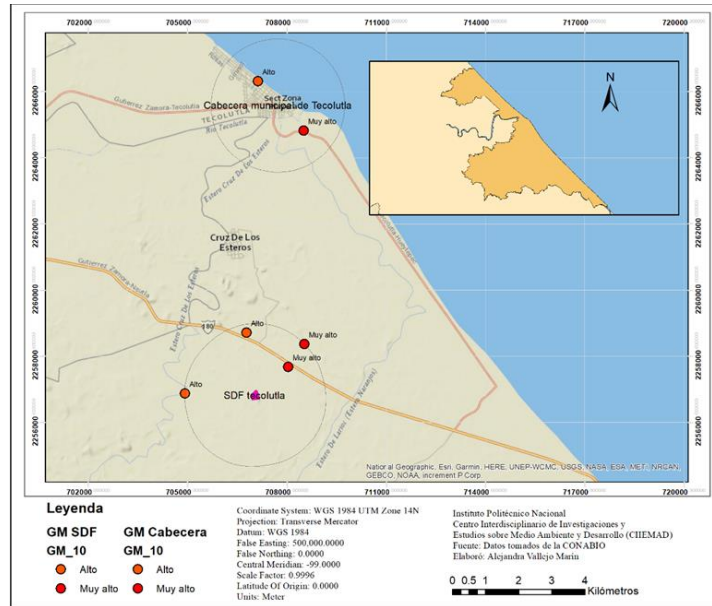
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 9. Comparativa del grado promedio de estudios en el municipio de Tecolutla, alrededor del sitio de disposición final y la cabecera municipal



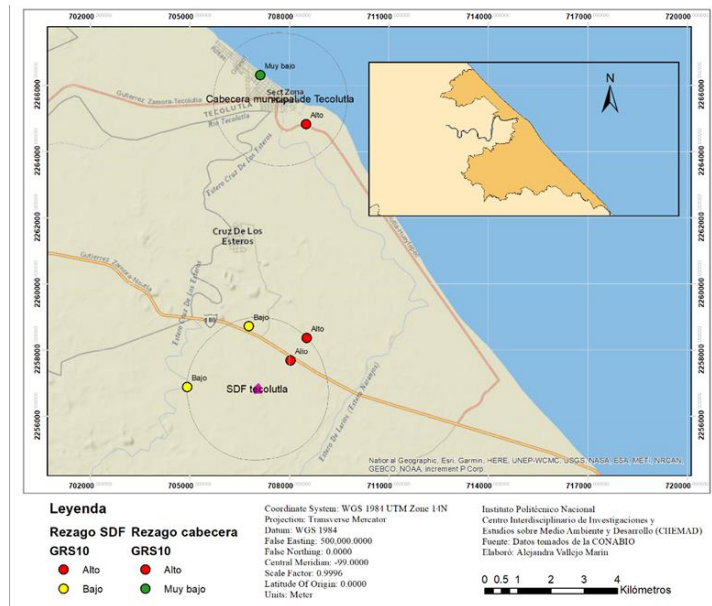
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 10. Comparativa de la población económicamente activa en el municipio de Tecolutla, alrededor del sitio de disposición final y la cabecera municipal



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 11. Comparativa del grado de marginación en el municipio de Tecolutla, alrededor del sitio de disposición final y la cabecera municipal



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CONABIOa (2014)

Figura 12. Comparativa del grado de rezago social en el municipio de Tecolutla, alrededor del sitio de disposición final y la cabecera municipal

3.4 Análisis de resultados y discusión

En la tabla 2, se resumen los datos arrojados por los mapas, los datos numéricos se dividen en SDF/ET, que engloba RS, ET, SNC y CM, es decir, Cabecera Municipal; a los datos numéricos se llegó de la siguiente manera, haciendo uso de Excel:

- GPE: Promedio del GPE.
- PEA: Suma de las PEA.
- GM: Se dio un valor a cada grado de marginación; Bajo: 1, Medio: 2, Alto: 3, Muy Alto 4. Posteriormente, se realizó un promedio de estas puntuaciones.
- IRS: Se dio un valor a cada grado de RS; Muy bajo: 1, Bajo: 2, Medio: 3, Alto: 4. Posteriormente, se realizó un promedio de estas puntuaciones.

Tabla 2. Resumen de los resultados obtenidos

Municipio	GPE		PEA		GM		IRS	
	SDF/ET	CM	SD/ET	CM	SD/ET	CM	SD/ET	CM
Papantla	6.52	7.89	156	22,590	3.25	3	3	2.5
Gutiérrez Zamora	6.85	7.52	613	5,731	2.75	2	2.25	1.6
Tecolutla	5.76	6.49	146	2,124	3.5	3.5	3	2.5

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados presentados anteriormente, es posible observar que los centros de poder económico se ubican en las áreas de influencia de las cabeceras municipales de los tres municipios, ya que es ahí, que se concentra la mayor parte de la PEA, mientras que alrededor de la infraestructura de residuos es menor, es importante resaltar que la población que habita en estas localidades es menor, debido a que en su mayoría son localidades rurales.

Algo similar sucede en cuanto al GPE, el mayor grado se encuentra ubicado dentro de las localidades ubicadas en el área de influencia de las cabeceras municipales van de 7.99 a 10.33 grados estudiados por personas de 15 a 130 años, es importante resaltar en este punto que el GPE se encuentra relacionado con el GM y el IRS de las localidades, ya que en estos se mide, entre otros, la falta de acceso a la educación y el rezago educativo, respectivamente.

Los GM permiten visualizar las desigualdades socioeconómicas, en Papantla y en Gutiérrez Zamora, los grados promedios de marginación son más altos en las comunidades cercanas a los SDF y ET, ya que cuentan con menor acceso a la educación y la vivienda que en las cabeceras municipales de los mismos. En Tecolutla, sin embargo, el GM promedio de las localidades ubicadas alrededor del SDF y la cabecera municipal son iguales, lo que refleja que, a pesar de ser un municipio turístico, las necesidades de sus habitantes no son cubiertas por el Estado.

Finalmente, el IRS da pie no sólo al rezago educativo y PEA en cada hogar, sino que, es posible saber si se cuenta con acceso a servicios básico y a la salud pública. En los tres municipios, el grado de rezago promedio en las zonas de influencia de los SDF, ET o RS es mayor que en las cabeceras municipales, lo que sugiere la falta de infraestructura no sólo educativa y recreativa, sino también de salud.

Es posible observar que en los municipios de Papantla, Tecolutla y Gutiérrez Zamora la infraestructura de residuos se encuentra en áreas de bajos recursos, con altos GM y rezago educativo, como lo mencionan Gómez y Conejero (2017) y lejanos a los centros de poder económico, en estos casos, las cabeceras municipales.

Es importante resaltar que en los casos de los SNC (actualmente clausurados o en transición), no se contó durante su operación con las medidas de protección ambiental necesarias para evitar la contaminación, lo cual resulta en aún mayores molestias y riesgos para las localidades que habitan a su alrededor, de lo cual surge la pregunta, si uno de los objetivos de desarrollo sostenible son las ciudades y comunidades sostenibles, ¿por qué se propicia la existencia de SDF o infraestructura de residuos con un impacto ambiental negativo en las zonas vulnerables?

Se considera recomendable realizar análisis acerca del acceso a la infraestructura de salud pública de las localidades cercanas a los SDF, SNC y ET de los municipios estudiados en el presente trabajo.

4. Conclusiones

Finalmente, se concluye que los tres municipios obedecen el modelo centro-periferia de las ciudades, que llevan la infraestructura -no deseable- de residuos lejos del centro de poder económico y usualmente a zonas vulnerables; lo anterior es mucho más claro en los municipios de Papantla y Gutiérrez Zamora, debido a la diferencia en todos los indicadores. Tecolutla, presenta un GM igual en ambas áreas de influencia, sin embargo, la PEA es útil para conocer el centro de poder económico.

Agradecimientos

Se agradece de la manera más atenta al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para la realización de los estudios de posgrado.

Cabe hacer mención que los resultados presentados forman parte de los proyectos SIP 20201414 y 20211246 del Instituto Politécnico Nacional.

Referencias bibliográficas

Bosque, J., Díaz, M., Rodríguez y Salado, M. (2000). La componente geográfica en la percepción pública de las actividades no deseadas: las instalaciones para el tratamiento de residuos en el área metropolitana de Madrid. *Lecturas geográficas. Homenaje a José Estébanez Álvarez*. https://www.researchgate.net/profile/Joaquin-Bosque-Sendra/publication/267415735_LA_COMPONENTE_GEOGRAFICA_EN_LA_PERCEPCION_PUBLI

CA_DE_LAS_ACTIVIDADES_NO_DESEADAS_LAS_INSTALACIONES_PARA_EL_TRATAMIENTO_DE_RESIDUOS_EN_EL AREA_METROPOLITANA_DE_MADRID/links/54afca5a0cf253690boaa b30/LA-COMPONENTE-GEOGRAFICA-EN-LA-PERCEPCION-PUBLICA-DE-LAS-ACTIVIDADES-NO-DESEADAS-LAS-INSTALACIONES-PARA-EL-TRATAMIENTO-DE-RESIDUOS-EN-EL-AREA-METROPOLITANA-DE-MADRID.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIOa). (2014). Características educativas por localidad, 2010. [Shape]. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIOb). (2014). Características económicas por localidad, 2010. [Shape]. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIOc). (2014). Grado de marginación a nivel localidad, 2010. [Shape]. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIOd). (2014). Grado de rezago social por localidad, 2010. [Shape]. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Gómez, M. y Conejero, J. (2017). Territorio y discriminación ambiental: conflictos distributivos por ubicación de vertederos e incineradoras. [Trabajo en extenso]. Ecología política de la basura, pensado los residuos desde el Sur. Quito, Ecuador. Pp. 267- 288.

H. Ayuntamiento de Gutiérrez Zamora. (2020). Dictamen de procedencia. https://0201.nccdn.net/4_2/000/000/009/40c/dictamen-de-procedencia-.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017) Residuos Sólidos. [Archivo Excel]. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegaciones 2017. Datos tabulados. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2017/default.html#Tabulados>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Residuos. [Archivo Excel]. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegaciones 2019: Datos tabulados. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2019/#Tabulados>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2018). Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe, Programa de Naciones Unidad para el Medio Ambiente.

Secretaría de Obras y Servicios (SOBSE). (2021). Manejo de residuos sólidos en la Ciudad de México. <https://www.obras.cdmx.gob.mx/storage/app/media/RSU/RSU%20CDMX%20.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Editorial Lucart Estudio. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

Segura, R. (2014). El espacio urbano y la (re)producción de desigualdades sociales. *desiguALdades Working Paper Series*. 65(2014), pp. (1-29). <https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/22077/65-WP-Segura-Online.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vallejo, A. y Ordaz, Y. (2020). El manejo de los residuos sólidos urbanos y las actividades del sector informal que contribuyen a su recuperación. Caso de Estudio: Subcuenca Río Tecolutla. Tecolutla [Trabajo en extenso]. Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos, Ciudad de México.

Residuos de Manejo Especial

Destino de los envases vacíos de plaguicidas en la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz, México

¹Diana Ailed Domínguez León, ²María Yolanda Leonor Ordaz Guillén

¹Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Instituto Politécnico Nacional, ²Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, mordazg@ipn.mx

Resumen

En la gestión de los plaguicidas el manejo correcto de sus envases repercute en la disminución del riesgo que estas sustancias pueden generar al ambiente y la salud humana, y debido a que la agricultura es la actividad económica que más consume estas sustancias, es necesario que la disposición de dichos contenedores esté sujeta a un Plan de Manejo. Esta investigación identifica el manejo de envases vacíos de plaguicidas en la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz, región con alta actividad agrícola convencional en México. El trabajo es de carácter mixto, aborda antecedentes respecto al manejo de los envases de plaguicidas como residuos y la problemática respecto a su disposición. Mediante el análisis de encuestas aplicadas del 2016 al 2018 a agricultores de la zona y la aplicación de encuestas a citricultores comprendidas del año 2019 al 2021, se confirmó y se obtuvo más información sobre las prácticas que dichos usuarios realizan con los envases vacíos. Los agricultores pueden llevar a cabo varias actividades con los envases, la práctica más común es la quema, seguida de su desecho con los residuos sólidos urbanos. Sin embargo, el porcentaje de usuarios que practican el triple lavado previo a alguna otra actividad ha aumentado en el 2021 con respecto a los años anteriores. Los agricultores de la Subcuenca requieren capacitación y programas de recolección para que dispongan de los envases de forma adecuada, existen propuestas para esto, pero la difusión y sensibilización respecto al tema, es aún insuficiente.

Palabras Clave: *Residuos de Manejo Especial, Legislación, Residuos peligrosos.*

1. Introducción

Una de las actividades económicas más importantes en México es la agricultura, cerca del 10.5% de la superficie total del país es destinada a dicha práctica; los volúmenes son tales que México es el 12º productor y el 7º exportador de alimentos a nivel mundial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2020)

El desarrollo de actividades agrícolas depende del uso de agroquímicos para asegurar los rendimientos de las cosechas; fertilizantes y plaguicidas sintéticos se manejan desde hace décadas para la obtención de alimentos y otros productos de origen vegetal, sin embargo, con el paso del tiempo, el uso continuo de estas sustancias ha generado dependencia, en especial a los plaguicidas, insumos que mejoran el rendimiento de cultivos, al atacar plagas que los afectan.

Un plaguicida es un “insumo fitosanitario destinado a prevenir, repeler, combatir y destruir a los organismos biológicos nocivos a los vegetales, sus productos o subproductos” (Ley Federal de Sanidad Vegetal, 1994, p. 5). La disponibilidad de estas sustancias es muy amplia, comúnmente se clasifican por el tipo de plaga a la que atacan, por lo que los plaguicidas suelen ser etiquetados como: herbicidas, insecticidas, acaricidas, roenticida u otros (NOM-232-SSA1-2009).

La característica principal de los plaguicidas es la toxicidad, por lo que su aplicación constante derivó en repercusiones ambientales y a la salud humana, tales como erosión y acumulación en el suelo, persistencia en cuerpos acuíferos, daño a la biota (Carvalho, 2017), intoxicaciones, desarrollo de enfermedades degenerativas y cáncer (OMS, 2018).

El desarrollo de los plaguicidas alcanzó su pico máximo al término de la Segunda Guerra Mundial, el fenómeno conocido como la Revolución Verde, periodo caracterizado por el uso de la ciencia para la obtención de alimentos, exacerbó la formulación y el uso de plaguicidas sintéticos en la agricultura (Cecon, 2008). Por lo que se debe procurar un manejo correcto de estos a lo largo de su ciclo de vida.

La alta variedad de plaguicidas, así como el riesgo al ambiente y a la salud que puede originar, motivó a la comunidad internacional a establecer una gestión estricta para estas sustancias. Leyes y regulaciones tanto nacionales como internacionales, se encargan del control de los plaguicidas y sus envases.

Uno de los ejemplos más claros de regulación de gran relevancia en materia de plaguicidas es el Convenio de Estocolmo (2001), tratado que establece el control sobre los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP), sustancias químicas capaces de persistir en el ambiente, transferirse entre matrices y acumularse en tejidos grasos de los seres vivos. El Convenio fue creado debido a los efectos adversos ocasionados por los plaguicidas tras la Revolución Verde, hecho sustentado por varias investigaciones, de las cuales el pionero fue el libro “Primavera Silenciosa” de la Dra. Rachel Carson (Bejarano, 2004). El Convenio de Estocolmo prohíbe o restringe el uso y fabricación de los COP, el tratado comenzó con el control de 12 sustancias y actualmente son 35, 18 de estas son plaguicidas, de los cuales 16 están sujetos a una prohibición (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2009).

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (2021), el manejo integral de los envases vacíos de plaguicidas (EVP) coincide con dos puntos importantes a alcanzar en el 2030, los cuales son: a) Ciudades y Comunidades Sostenibles, b) Producción y Consumo Responsables.

El manejo de EVP en México es un tema complejo debido a prácticas inadecuadas en su disposición final. Como residuo los plaguicidas cuentan con la característica propia de la

sustancia, la toxicidad, por lo que estos son catalogados como residuos peligrosos (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [LGPGIR], 2003). Sin embargo, sus envases están sujetos a otro tipo de clasificación y control. Por normatividad los EVP provenientes de actividades agropecuarias o forestales se catalogan como Residuos de Manejo Especial (RME) (NOM-161-SEMARNAT-2011), residuos que no tienen las características para ser clasificados como Residuos Sólidos Urbanos o Residuos Peligrosos, bajo la condición de no contener remanentes de plaguicidas, ya que esto les adjudica un carácter de Residuo Peligroso, por lo que, al sujetarse a lo establecido por la NOM-161-SEMARNAT-2011, los EVP como RME están sujetos a Planes de Manejo.

México tiene retos a superar en materia de manejo EVP, debido a la falta de infraestructura apropiada para llevar a cabo su disposición correcta, que permita disminuir los riesgos por exposición a plaguicidas o la liberación de compuestos peligrosos producto de la incineración de EVP. Por ello, el objetivo de esta investigación es conocer las prácticas que los agricultores llevan a cabo con los EVP en la Subcuenca Río Tecolutla, para en su caso, fundamentar la adhesión a estrategias que permitan el destino adecuado de estos.

1.1 Envases vacíos de plaguicidas y planes de manejo en México

Acorde con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (2003), un Plan de manejo es:

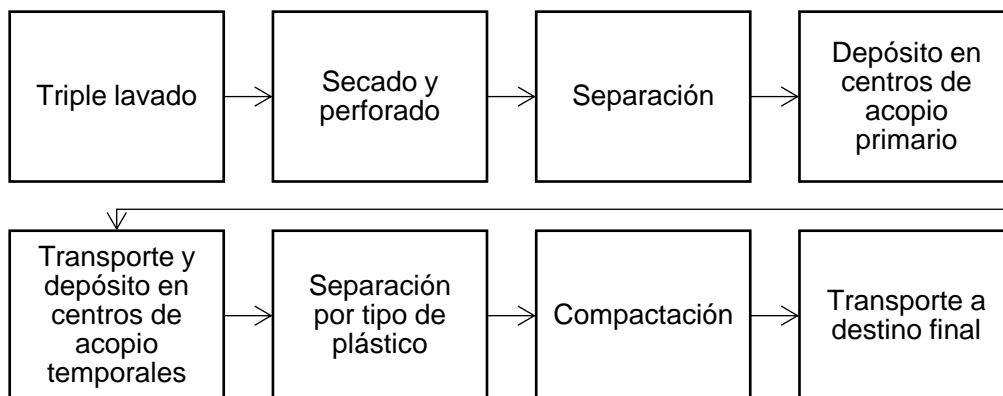
“Instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno”.

Debido a que los EVP son RME, su disposición es regulada por los Gobiernos Estatales; y los sujetos obligados a formular y ejecutar un Plan de Manejo para estos, son de acuerdo con el artículo 28, apartado III de la LGPGIR (2003):

“Los grandes generadores y los productores, importadores, exportadores y distribuidores de los productos que al desecharse se convierten en residuos sólidos urbanos o de manejo especial que se incluyan en los listados de residuos sujetos a planes de manejo de conformidad con las normas oficiales mexicanas correspondientes”.

Uno de los programas más importantes en la disposición final de EVP, es “Campo Limpio”, dirigido por la Asociación Civil Amocali (Amocali, 2021), conformada por “38 empresas formuladoras, 14 distribuidoras, tres importadoras y una maquiladora”. El Programa Campo Limpio coordina el manejo integral de EVP en muchos puntos del país, Amocali se encarga desde la difusión del triple lavado, hasta el destino final de los EVP. El Programa

Campo Limpio considera varias etapas para el Plan de Manejo de EVP, como se puede observar en la Figura 1.

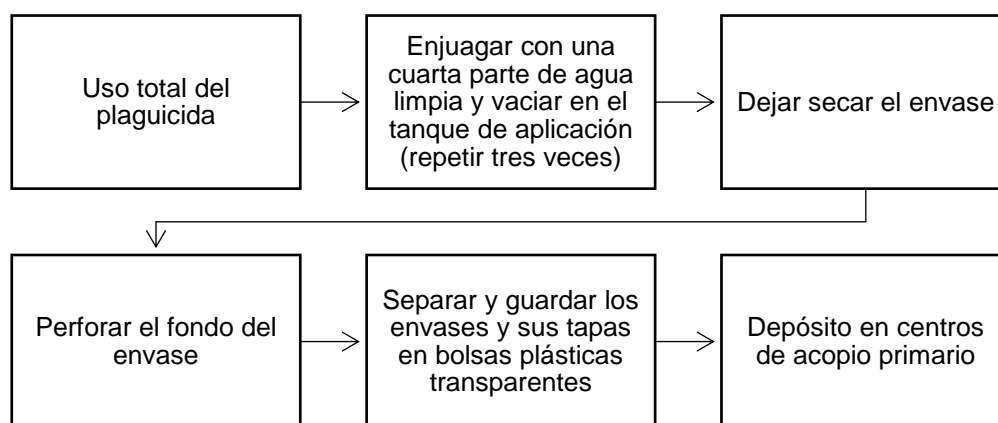


Fuente: Adaptado de Juárez y Quiroz (2018) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (s.f.)

Figura 1. Etapas de un Plan de Manejo para envases de plaguicidas en el Programa Campo Limpio

El Programa Campo Limpio cuenta con centros de acopio temporales en toda la República para el depósito de EVP, y el destino final para los envases depende del tipo de material del cual está formulado, por lo que puede llevarse a cabo el reciclado tradicional, incineración, co-procesamiento, o fundición (Amocali, 2021).

Una parte fundamental para que los EVP se puedan disponer apropiadamente como RME, es el tratamiento que le dan los usuarios, el cual debe seguir lo indicado en la Figura 2.



Fuente: Adaptado de Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2006), Juárez y Quiroz (2018), Amocali (2021)

Figura 2. Proceso para la disposición de envases de plaguicidas por parte de agricultores

1.2 Zona de estudio

Un generador importante de EVP es el estado de Veracruz, zona con actividad agrícola alta caracterizada por la producción de cítricos, como la naranja (SADER, 2020). Una de las regiones más destacada en producción de cítricos es la Subcuenca Río Tecolutla, zona compuesta por tres municipios, Papantla de Olarte, Gutiérrez Zamora y Tecolutla.

En la Subcuenca los citricultores llevan a cabo prácticas inadecuadas con los EVP, algunas de estas son la quema, abandono, y desecho mezclado con la basura doméstica, etc. La mayor parte de los citricultores no se han adherido a un plan de manejo para gestionar sus EVP y por esto los envases se disponen acorde a lo descrito.

Algunas investigaciones en la zona de estudio evidencian las prácticas inadecuadas en la manipulación de los EVP, entre ellas se encuentran los trabajos de Morales (2016), Carrillo (2016) y Rangel (2017), los cuales abordan el tipo de actividades que realizan los agricultores con los envases de herbicidas, mientras que Juárez y Quiroz (2018) proponen un Plan de Manejo para envases de insecticidas.

2. Metodología

La investigación fue documental, y cuantitativa. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica en materia de prácticas con EVP, se aplicaron encuestas a citricultores de naranjas. Se analizaron trabajos previos en la zona de estudio, los cuales abordan el tipo de destino que daban los agricultores a los EVP, y estas se ubican dentro de los años 2016-2018. Posteriormente, por medio de encuestas enfocadas a citricultores, se identificaron las prácticas realizadas con los EVP producto de sus actividades, se consideró el periodo 2019-2021 para la recopilación de información y en las encuestas se utilizaron variables basadas en los trabajos previos antes mencionados, para definir las actividades realizadas por los citricultores, en este tema.

El área de estudio fue seleccionada debido a la alta actividad agrícola de la zona y a la existencia de trabajos, realizados por el Grupo de Investigación del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), enfocados en plaguicidas, los cuales abordan el uso de estas sustancias, su detección en matrices ambientales y el destino de sus envases, por lo que la investigación en principio es de carácter descriptivo y se complementó con trabajo de campo con la aplicación de encuestas.

3. Resultados y discusión

3.1 Manejo de envases en la Subcuenca

Las principales actividades realizadas con EVP, detectadas en investigaciones previas en la Subcuenca Río Tecolutla, se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1. Prácticas con envases vacíos de plaguicidas realizadas por agricultores en la Subcuenca Río Tecolutla del 2016 al 2018

Autor	Número de encuestas	Zona	Tipo de plaguicida	Prácticas
Morales (2016)	34	Gutiérrez Zamora y Tecolutla	Herbicida	Quema Abandono en campo Almacenamiento Reúso Entierro Triple lavado
Carrillo (2016)	210	Subcuenca Río Tecolutla	Los más frecuentemente utilizados en la zona	Quema Abandono en campo Basura Reúso Entierro
Rangel (2017)	28	Papantla de Olarte	Herbicida	Quema Recolección privada Abandono en campo Almacenamiento Reúso Entierro Lavado
Juárez y Quiroz (2018)	211	Subcuenca Río Tecolutla	Insecticida	Almacenamiento Quema Entierro Abandono en campo Basura Recolección privada

Nota 1. La práctica indicada como Basura, corresponde al desecho de los EVP con Residuos Sólidos Urbanos

Nota 2. La recolección privada refiere al depósito de los envases en sitios destinados para EVP

Nota 3. La investigación de Rangel es la única en indicar que los agricultores que llevan a cabo un lavado de envases no compatible con el Triple Lavado

La diferencia entre el número de encuestas se debe al carácter de las investigaciones, mientras que Carrillo (2016) y Juárez y Quiroz (2018) realizaron una investigación referente a prácticas en el manejo de plaguicidas; Morales (2016) y Rangel (2017), enfocaron su investigación a la detección de herbicidas en matrices ambientales, complementaron sus respectivos trabajos con la identificación del destino de los EVP generados por los agricultores.

Los trabajos antes mencionados coinciden en que la quema es la actividad más común realizada por agricultores, Morales (2016) reportó que 28.57 % de los encuestados realizaban esta práctica, Carrillo (2016) 39 %, Rangel (2017) 38.71 % y Juárez y Quiroz (2018) 47 %, la alta incidencia de dicha práctica supone un riesgo considerable para los usuarios y el ambiente, lo cual podría ser agudizado por la evidencia de que los agricultores no llevan a cabo el Triple Lavado de los EVP, por lo que en la quema de estos, existen remanentes de dichas sustancias.

Las encuestas realizadas del 2019 al 2021 en los municipios Papantla, Gutiérrez Zamora y Tecolutla, coinciden con los trabajos previos, respecto a las prácticas realizadas con los EVP. La variación en el número de encuestas se debe al desarrollo de la investigación, en 2019 correspondió a un piloto, en 2020 solo se llevó una estadía de campo en lugar de las dos planeadas debido a las condiciones sociales originadas por la presencia del virus SARS-COV-2, y en el 2021 solo se contabiliza una de las estadías de campo. Bajo la premisa anterior, la Tabla 2 enlista los resultados recabados en las encuestas. Esta expone las actividades realizadas por citricultores en orden de frecuencia.

Tabla 2. Prácticas realizadas por los citricultores con los EVP en la Subcuenca Río Tecolutla entre 2019-2021

Año	Número de encuestas	Prácticas	Porcentaje respecto al número total de encuestas
2019	12	Quema	16.7 %
		Triple lavado	16.7 %
		Basura	16.7 %
		Entierro	8.3 %
2020	14	Quema	28.6 %
		Basura	28.6 %
		Abandono	28.6 %
		Almacenamiento	14.28 %
		Triple lavado	14.28 %
		Reúso	7.1 %
2021	23	Quema	43.5 %
		Almacenamiento	26.1 %
		Triple lavado	26.1 %
		Basura	17.4 %
		Reúso	8.7 %
		Entierro	4.3 %

Nota 1. Un agricultor puede realizar varias de las prácticas mencionadas

Nota 2. La práctica indicada como Basura, corresponde al desecho de los EVP con Residuos Sólidos Urbanos

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en Trabajo de Campo. Veracruz, 2019-2021

A diferencia de los resultados de las investigaciones mostradas en la Tabla 1, el triple lavado y la recolección privada han ganado relevancia con un 26% en el último año, como práctica entre los agricultores, ya que su realización solo es reportada por Morales (2016), donde solo el 3.7 % de los agricultores indicaron llevar a cabo dicha actividad, Rangel (2017) hace referencia a un lavado simple y Carrillo (2016) y Juárez y Quiroz (2018) no reportan su realización.

Cabe destacar que la quema prevalece como una actividad común entre usuarios de plaguicidas, esto es alarmante debido a los peligros de dicha actividad, ya que está comprobado que la incineración de EVP puede liberar a la atmósfera sustancias conocidas como dioxinas y furanos, COP de alta toxicidad (Naciones Unidas, 2016; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización Mundial de la Salud, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1996), y con respecto a la

capacitación de los usuarios, estos no cuentan con información suficiente respecto a disposición final, centro de acopio o programa para los EVP.

El Programa Campo Limpio cuenta con Centros de Acopio Temporales (CAT) para el almacenaje de EVP previo a su disposición final, sin embargo, para la zona de estudio, y acorde con la página web de Amocali, el CAT más cercano se encuentra a 200 km aproximadamente de la Subcuenca (Amocali, 2021), contiguo a la ciudad de Veracruz, además no se cuenta con un sistema de recolección de EVP, hechos que influyen el destino que los usuarios le dan a los EVP.

Por los porcentajes expuestos en las Tablas, respecto a las prácticas realizadas con los EVP por parte de los agricultores, se denota un mejor manejo de estos. Sin embargo, actividades riesgosas como la quema de envases continua en una proporción considerable por lo que la capacitación de los agricultores para una correcta gestión es fundamental.

4. Conclusiones

Las actividades de desecho de EVP son inadecuadas en su mayoría, la quema es una actividad riesgosa recurrente entre los agricultores que no ha disminuido significativamente.

La situación de los EVP en la Subcuenca requiere de un Plan de Manejo al cual se puedan adherir los agricultores para disminuir los riesgos derivados del uso de plaguicidas la zona.

Por los resultados de las encuestas a los citricultores, se observa que han aumentado las prácticas propias de un Plan de Manejo de EVP, realizadas de forma voluntaria.

Se requiere de la sinergia entre los gobiernos municipales, agricultores y los sujetos obligados a la formulación y aplicación de Planes de Manejo para EVP, para disminuir los efectos que su uso inadecuado tiene sobre la salud humana y el ambiente.

Agradecimientos

Se agradece de la manera más atenta al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo para poder llevar a cabo esta investigación a través del financiamiento de la beca de posgrado.

Cabe hacer mención que los resultados presentados forman parte del proyecto SIP 20201414 y del proyecto SIP 20211246 del Instituto Politécnico Nacional.

Referencias bibliográficas

Amocali, A.C. (2021). Campo Limpio. <https://campolimpio.org.mx/actividades/blog/270-amhpac-y-Amocali-a-c-firman-convenio-de-colaboracion>

Bejarano, F. (2004). Guía ciudadana para la aplicación del Convenio de Estocolmo [PDF].

https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2015/12/GCCE_capitulo1-ARCHIVO-1.pdf

Carrillo, C. (2016). Uso de herbicidas y su distribución espacial en la subcuenca río Tecolutla. (municipios: Tecolutla, Gutiérrez Zamora y Papantla). [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional].

Carvalho, F. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security* ; 6(2): 48–60.

Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias*, 1(91), 21–29.

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (2021). Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR. <http://siipris03.cofevpris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>

Juárez, M., Quiroz, L. (2018). [Proyecto de Investigación de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional].

Ley Federal de Sanidad Vegetal de 1994. 5 de enero de 1994

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1988). 28 de enero de 1988.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003). 8 de octubre de 2003.

Morales, A. (2016). Análisis del comportamiento ambiental de los herbicidas de mayor uso en la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]

Naciones Unidas (2015). Objetivos de Desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Organización Mundial de la Salud (19 de febrero de 2018). Residuos de plaguicidas en los alimentos. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>

Organización Mundial de la Salud (4 de octubre de 2016). Las dioxinas y sus efectos en la salud humana. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2019). All POPs listed in the Stockholm Convention. <http://www.pops.int/TheConvention/TheVPOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización Mundial de la Salud, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1996). Eliminación de Grandes Cantidades de Plaguicidas en Desuso en los Países en Desarrollo - Colección FAO: Eliminación de Plaguicidas. <http://www.fao.org/3/w1604s/w1604s00.htm#Contents>

Rangel, P. (2017). Determinación de herbicidas en las matrices ambientales: suelo y agua, en Papantla, Veracruz [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional].

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2006). 30 de noviembre de 2006.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). Panorama Agroalimentario 2020. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2011). NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de estos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2011). Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-160-SEMARNAT-2011, Que establece los elementos y procedimientos para formular los planes de manejo de residuos peligrosos. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4466/semarnat/semarnat.htm>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). Consumo aparente de plaguicidas. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores16/conjuntob/indicador/02_agua/2_2_5.html

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021b). Generación estimada de residuos peligrosos según categoría de generador. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RESIDUOP01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021c). Generación estimada de residuos peligrosos según tipo de industria. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RESIDUOP01_22&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*&NOMBREANIO=*

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (s.f). Situación Actual de los Envases Vacíos de Plaguicidas [PDF]. <https://siiba.conadesuca.gob.mx/frmLogin.aspx>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2021a). Generación estimada de residuos peligrosos según clasificación de residuos. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RESIDUOP01_20&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce

Secretaría de Salud (2009). NORMA Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009, Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5139018&fecha=13/04/2010

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2016). ¡Conservemos un campo limpio! <https://www.gob.mx/senasica/articulos/conservemos-un-campo-limpio-41699?idiom=es>

Residuos sanitarios

Características, eficiencia e impactos al ambiente de los cubrebocas dentro del contexto de la emergencia sanitaria

Tecorralco Bobadilla, Ana L.¹; Sotelo Navarro, Perla X.²; Vázquez Morillas, Alethia¹, González Cardoso, Griselda¹

¹Área de Investigación Tecnologías Sustentables, Universidad Autónoma Metropolitana, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02200, México,

al2203802502@azc.uam.mx

²Cátedra CONACyT – CINVESTAV –DCTS, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, Gustavo A. Madero, 07360 Ciudad de México, CDMX

Resumen

Debido a la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2 se ha generado un incremento en el uso de cubrebocas, ya que son parte del equipo de protección personal recomendado por la Organización Mundial de la Salud. Por ello, existe una gran variedad de este tipo de productos en el mercado. El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión de la información respecto a los cubrebocas de un solo uso y reutilizables, así como de sus impactos ambientales. En general pueden ser clasificados en desechables, elaborados principalmente de polipropileno, o reutilizables, que pueden ser de algodón, celulosa, poliéster, seda, entre otros materiales. Cada uno tiene diferente eficiencia de filtración, por lo que algunos son recomendados para trabajadores de la salud y otros para el público general. En promedio se generan 81,227,634 cubrebocas/día como residuo, de los cuales aproximadamente el 90 % se manejan con los residuos sólidos urbanos, por lo que es necesaria una gestión adecuada de los mismos, con el fin de evitar daños al ambiente o a los trabajadores que se encargan de su gestión. Aunque los cubrebocas reutilizables generan menores impactos negativos al ambiente, tienen menores eficiencias de filtración, por lo que debe evaluarse su uso en función del riesgo que conllevan las actividades personales, de forma que se garantice la protección a la salud.

Palabras Clave: *desechable, reutilizable, impacto ambiental, COVID-19, eficiencia de filtración.*

1. Introducción

En diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, China, se identificó por primera vez una enfermedad respiratoria provocada por un virus denominado SARS-CoV-2 y causante de la enfermedad COVID-19 (OMS 2020a). La propagación de este virus alcanzó países como

Japón, Estados Unidos e Italia, por lo que el 11 de marzo de 2021 la Organización Mundial de la Salud (OMS) la declaró pandemia, lo que llevó a la implementación de nuevas medidas sanitarias para la protección personal (OMS 2020b). La OMS hizo públicas acciones para prevenir el contagio del virus, como el distanciamiento social, el lavado periódico de manos con gel hidroalcohólico o agua y jabón, evitar tocarse ojos, nariz y boca, y el uso de cubrebocas, entre otras (OMS 2020c).

Los cubrebocas o mascarillas son un equipo de protección personal (EPP) que presenta capacidad de filtración, con adecuada respiración y con resistencia a la penetración de partículas (UNE 2019), por ello la OMS recomienda su uso como parte de un conjunto de medidas para la prevención, control y, por lo tanto, evitar la propagación de enfermedades respiratorias causadas por virus; pueden ser clasificados en cubrebocas de un solo uso o desechable y reutilizables (OMS 2020d).

Se ha observado un incremento en la generación de residuos de cubrebocas, se estima que a nivel mundial se desechan 3,378,451,702 piezas, siendo el continente asiático el principal generador (55.5 %); China tiene una contribución global del 20.8 %, posicionado en el primer sitio, mientras que México ocupa la posición número ocho (Benson, Bassey, y Palanisami 2021). Debido a este gran volumen de uso, es necesario realizar una gestión adecuada de los cubrebocas al ser desechados, para evitar que su disposición final genere afectaciones a los ecosistemas.

El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión de la información respecto a los cubrebocas de un solo uso y los reutilizables durante la emergencia sanitaria por el virus SARS-CoV-2, así como de sus impactos ambientales.

2. Metodología

Se realizó una investigación documental, dónde se llevó a cabo un proceso de recolección organización, análisis e interpretación de información o datos en torno al objetivo establecido.

Se llevó a cabo la búsqueda de información en:

- Páginas oficiales de la OMS, Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), Organización de las Naciones Unidas (ONU), Gobierno de México y Organización Panamericana de la Salud (OPS), con las palabras clave: cubrebocas, cubrebocas desechables, cubrebocas de tela, SARS-CoV-19, COVID-19, EPP, eficiencia de filtración y masks.
- Revisión de artículos científicos en las bases de datos Science Direct Freedom Collection 2020 y Scopus con las palabras masks, mask efficiency, filtration, cloth mask.
- Búsqueda en el mercado local, en la zona conurbada de la Ciudad de México, de las opciones de cubrebocas disponibles para el público en general.

La información recabada se procesó para conocer características, eficiencia e impactos al ambiente del uso de cubrebocas dentro del contexto de la emergencia sanitaria.

3. Resultados y discusión

Actualmente el uso de cubrebocas es una práctica cotidiana en la población mundial, ya que es recomendado por la OMS como parte del EPP para prevenir el contagio por COVID-19 durante el desarrollo de las actividades cotidianas (ONU 2020).

3.1 Características generales de un cubrebocas

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), con el fin de garantizar la calidad de los cubrebocas publicó un documento donde se establecen los lineamientos temporales para su manufactura durante la emergencia sanitaria, sin restricción específica del material que se debe utilizarse, siempre y cuando se cumpla con las siguientes características (Minsalud 2020):

- Estructura adecuada para cobertura de nariz y boca.
- Eficiencia de filtración bacteriana $\geq 90\%$.
- Respirabilidad ≤ 60 Pa/cm².
- Resistencia a salpicaduras.

Además del material filtrante, tela o polímero y derivados, durante el proceso de fabricación de cubrebocas son necesarios otros elementos como cintas elásticas, hilos, embalaje, y otros materiales opcionales, como cintas metálicas y/o filtros (CICEG 2020).

En general los cubrebocas pueden clasificarse como desechables o de un solo uso, y reutilizables. Con el fin de garantizar la calidad de los cubrebocas que se utilizan, ya sean de un solo uso o reutilizables, es indispensable que el empaque en el que se comercializan incluya información básica, como se muestra en la Figura 1.

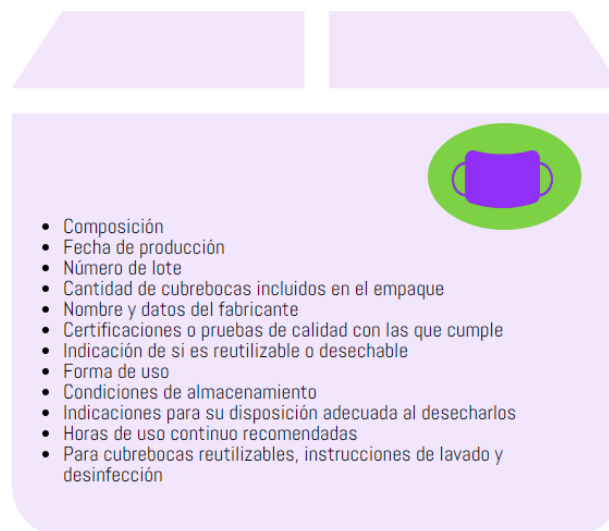


Figura 1. Información que debe incluirse en los empaques de cubrebocas. Adaptado de (Minsalud 2020)



3.2 Cubrebocas de un solo uso o desechables

Los cubrebocas de un solo uso pueden tener una o más capas de distintos materiales, lo que determinará su eficiencia de filtración (CDC 2021a). En la Tabla 1 se muestran algunos tipos de cubrebocas y sus principales características.

Tabla 1. Cubrebocas de un solo uso y sus características

Cubrebocas	Características	Referencia
<p>KN95</p> 	<p>Tienen cinco capas de polipropileno no tejido y su eficiencia de filtración es de al menos 98 % para partículas de 1 a 5 μm y posee una banda metálica de ajuste a la nariz. No es recomendable usar en combinación con otro tipo de cubrebocas ya que puede dificultar la respiración.</p>	<p>CDC 2021b; Illés y Gordon 2021</p>
<p>N95/FFP2</p> 	<p>Elaborado con al menos cuatro capas de filtro, elaboradas de polipropileno, adaptador de nariz de aluminio y bandas de goma sintética. Apto para filtración de aerosoles y gotas de partículas de 0.3 μm, con eficiencia de filtrado de al menos 92 %. Recomendada para el personal de la salud.</p>	<p>Ministerio de Salud de Perú 2020; OMS 2020d; Rodríguez et al., 2021</p>
<p>Tricapa plisado o quirúrgico</p> 	<p>Material filtrante de tres capas de polipropileno, bandas de algodón y adaptador. Alta resistencia a los fluidos que garantiza 100 % de eficiencia de filtración para partículas de hasta 3 μm de diámetro; para partículas de menor tamaño disminuye su eficiencia.</p>	<p>Rodríguez et al., 2021; Teesing et al., 2020</p>

Tabla 1. Cubrebocas de un solo uso y sus características (Continuación)

Cubrebocas	Características	Referencia
<p style="text-align: center;">Sencillo</p> 	<p>Cubrebocas trilaminado de material no tejido de polipropileno fundido de tipo Spunbond / Melt-blown / Spunbond (SMS). Su eficiencia de filtración varía entre 60 y 90 %, en el caso de filtración bacteriana tiene eficiencia del 90 %, que corresponde a un tamaño de partícula medio de 3 μm.</p>	<p>Mendoza 2020; Parker-Pope 2020; UNE 2019</p>
<p style="text-align: center;">N95/FFP2 con filtro</p> 	<p>Elaborado con una capa filtrante de polipropileno, espuma de poliuretano, un adaptador de nariz de aluminio, bandas de goma sintética y una válvula de polipropileno. Filtración de aerosoles y gotas de partículas de 0.3 μm, con eficiencia de filtrado de al menos 92 %.</p>	<p>Gobierno de la Rioja 2020; Rodríguez et al., 2021</p>

Los cubrebocas de un solo uso no son recomendables para su reutilización, es necesario desecharlos como residuos de higiene, para lo que el gobierno de México ha recomendado (SEMARNAT 2020):

- i. Ser rociados con solución de agua con cloro o etanol.
- ii. Almacenar en bolsas independientes, amarrar o cerrar y rotular el contenido de la bolsa.
- iii. Entregar al camión recolector de residuos.

3.3 Cubrebocas reutilizables

Los cubrebocas reutilizables deben ser lavados después de cada uso con jabón o detergente, y preferentemente con agua caliente. La OMS recomienda utilizar cubrebocas caseros elaborados con tres capas, cada una con diferente función (OMS 2020e):

- i. Capa interna de material hidrofílico o absorbente, como el algodón.
- ii. intermedia hidrofóbica o no absorbente, que mejora la filtración o retención de gotas, como el polipropileno, que es el tipo de textil utilizado en las “bolsas ecológicas” y en la tela conocida como peyón, de tejido cerrado.
- iii. Capa más externa de material hidrofóbico, como poliéster o algún otro tipo de textil que lo contenga.

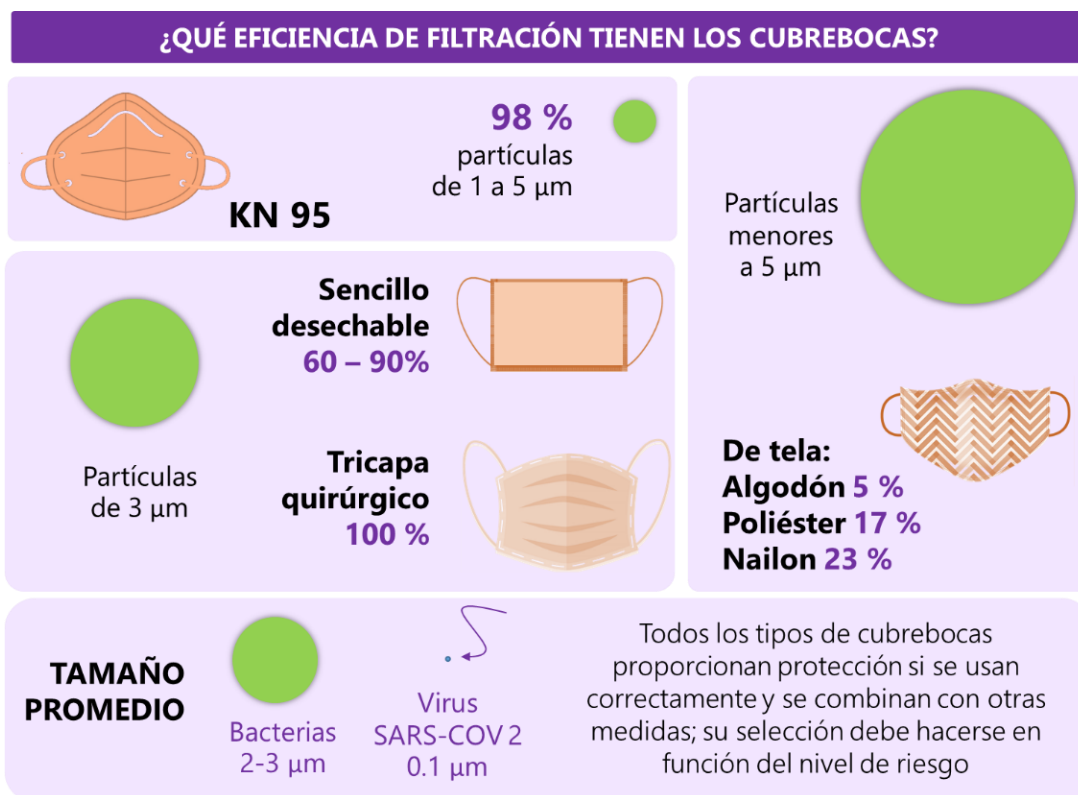
Se indica, además, que no es aconsejable utilizar válvulas de exhalación, y que debe evitarse el uso de cubrebocas de una sola capa de tela o de tela delgada. La eficiencia de filtración de distintos tipos de textiles usados en la fabricación de cubrebocas se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de materiales con los que se elabora un cubrebocas reutilizable

Material	Fuente	Estructura	Eficiencia inicial de filtración de partículas < 5 µm de diámetro (%)
Polipropileno	Material de interfaz, como es adquirido	Tela no tejida	6
Algodón	Ropa (camiseta)	Tejido	5
		De punto	21
Poliéster	Tela (manta de niño)	De punto	17
Celulosa	Pañuelo desechable	Fusionado	20
	Toalla de papel		10
Seda	Servilleta	Tejido	4
Nailon	Ropa (pantalón para hacer ejercicio)	Tejido	23

Fuente: OMS 2020d

Es posible utilizar dos cubrebocas de tela de manera simultánea, o un cubrebocas desechable debajo de uno de tela, pero es importante que ambos tengan un ajuste adecuado a los extremos de la cara y cubran completamente nariz y boca (CDC 2021a). Algunos datos indican que una bufanda gruesa de lana filtra solo 21 % de partículas, mientras que un pañuelo de algodón muestra una eficiencia del 18.2 % (Parker-Pope 2020); con ello se comprueba como varía la eficiencia de filtración de acuerdo con las características antes mencionadas. La Figura 2 muestra una comparación de la eficiencia de distintos tipos de cubrebocas.



Fuente: Elaboración propia a partir de OMS 2020d; CDC 2021b; Illés y Gordon 2021; Rodríguez et al., 2021; Teasing et al., 2020; Mendoza 2020; Parker-Pope 2020; UNE 2019; Bar-On et al., 2020

Figura 2. Comparación de eficiencia de filtración de distintos tipos de cubrebocas

3.4 Impactos ambientales asociados a residuos de cubrebocas

De acuerdo con Benson y colaboradores (2021) se estima que a nivel global diariamente se desechan 3,378,451,702 cubrebocas, y de ellos, aproximadamente 81,227,634 son generados en México. En el caso de los desechables, este nivel de uso representa un riesgo potencial al ambiente por la característica de no biodegradabilidad que poseen; aproximadamente 90 % de esos residuos son desechados en rellenos sanitarios, lo que representa un riesgo a la salud de los trabajadores del sistema de gestión de residuos y al ambiente, ya que pueden provocar contaminación del agua, emisión de gases tóxicos y de efecto invernadero durante su proceso de degradación y, al mezclarse con otros compuestos en su disposición final, contaminación de suelo y las respectivas consecuencias en sectores relacionados con estos ecosistemas (Garduño 2020).

Investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) manifiestan que el manejo inadecuado de residuos de cubrebocas se puede convertir en una fuente de contagio del virus, principalmente para los recolectores de residuos (Valdez y Castillo-Berthier 2020). Esta situación repercute en el servicio de recolección de residuos, tal como se demostró en un estudio realizado por investigadores de la Universidad Autónoma

Metropolitana (UAM) donde aproximadamente 53 % de los trabajadores de este servicio manifestaron sentir miedo o preocupación de enfermarse como consecuencia de su actividad laboral (Tecorralco et al., 2020).

Con respecto a los impactos ambientales, Bondaroff y Cooke (2020), colaboradores de Oceans Asia, informaron sobre la presencia de cubrebocas de diferentes tipos y colores en el océano de Hong Kong, lo cual representa un problema para el ecosistema, mientras que, en una playa brasileña el Instituto Argonauta encontró el cuerpo de un pingüino cuya muerte se relacionó con un cubrebocas N95 enredado al interior de su estómago (Srikanth 2020).

Otro problema que se relaciona con la presencia de cubrebocas en los ecosistemas marinos es su degradación o fragmentación, ya que pueden convertirse en una nueva fuente de microplásticos y/o microfibras, principalmente de materiales como el polipropileno y el polietileno (Fadare y Okoffo 2020). Dichos fragmentos pueden confundirse con alimento y ser consumidos por la fauna marina, además, por su composición, los cubrebocas son propensos al crecimiento de algas sobre su superficie (Pfaller et al., 2020).

En la literatura se encontraron dos artículos relacionados con medir los impactos ambientales a través de un análisis de ciclo de vida (ACV), los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Estudios de caso de Análisis de Ciclo de Vida de cubrebocas

Referencia	Resultados
Wei et al., 2021	Desarrollaron el ACV de los cubrebocas quirúrgicos de un solo uso y los cubrebocas reutilizables de capa de filtración insertable, encontraron aproximadamente 30 % menos de impacto ambiental en los cubrebocas reutilizables que en los de un solo uso; evaluando cada etapa se determinó que la mayor cantidad de emisiones es durante la extracción de la materia prima y la etapa de uso fue identificada como el principal contribuyente a los residuos sólidos.
Rodríguez et al., 2021	Realizaron el ACV de cinco tipos de cubrebocas; impresos en 3D con filtros intercambiables, quirúrgicos, tipo FFP2 con válvula, FFP2 sin válvula y lavable. Utilizando una metodología compatible con ISO 14040:2006, determinaron que los cubrebocas con mayor impacto ambiental fueron los de un solo uso, es decir, quirúrgicos, tipo FFP2 con válvula y FFP2 sin válvula. En general el tipo FFP2 es el menos sostenible, al requerir gran cantidad de materia prima, que representa mayor impacto en comparación al número de cubrebocas necesarios en un periodo de tiempo. Los cubrebocas lavables fueron los que mostraron menor impacto ambiental, seguidos de los 3D con filtro intercambiable, los cuales pueden ser mejorados al modificar su área filtrante.

4. Conclusiones

La actual emergencia sanitaria ha incrementado el uso de cubrebocas, por lo que existe una gran variedad de cubrebocas desechables y reutilizables de tela en el mercado. Su eficiencia

de filtración depende del o los materiales con el que se elaboran, así como del número de capas que los conforman.

La gestión adecuada de residuos de cubrebocas es de suma importancia para evitar contagios entre los trabajadores del servicio de recolección, así como evitar la propagación de agentes patógenos en el ambiente. Es indispensable evitar que lleguen a entornos naturales, como cuerpos de agua, lo que podría provocar su fragmentación a un tamaño tal que pueda ingresar a la cadena trófica y todos los ecosistemas interrelacionados.

De acuerdo con los estudios de ACV analizados, genera menos impactos utilizar cubrebocas reutilizables, principalmente debido al uso de recursos para la fabricación de nuevos cubrebocas. Sin embargo, es esencial mencionar que al momento de seleccionar un cubrebocas es necesario buscar un equilibrio entre los impactos ambientales y la protección de la salud personal, tomando en cuenta el nivel de riesgo asociado a las actividades que se desempeñan.

Actualmente la información sobre ACV de cubrebocas de un solo uso y reutilizables es escasa, por lo que no es posible conocer un panorama actual de los impactos potenciales al ambiente provocados generados por su uso, por lo tanto, es un campo nuevo de investigación.

Referencias bibliográficas

Bar-On, Yinon M., Avi Flamholz, Rob Phillips, and Ron Milo. 2020. SARS-CoV-2 (Covid-19) by the numbers.

Benson, Nsikak U., Basse E., David, and Palanisami Thavamani. 2021. "Covid pollution: impact of covid-19 pandemic on global plastic waste footprint." *Heliyon* 7(2):9. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06343.

Bondaroff, T. P., and Cooke S. 2020. "Masks on the beach: the impact of Covid-19 on marine plastic pollution." *Oceansasia* 1-79.

CDC, Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. 2021a. "Tipos de mascarillas." Retrieved (<https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/types-of-masks.html>). Consultado el 1 de septiembre de 2021.

CDC, Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. 2021b. "Improve how your mask protects you." Retrieved (<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/your-health/effective-masks.html>). Consultado el 1 de septiembre de 2021.

CICEG, Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato. 2020. Propuesta técnica. protocolo para la manufactura de cubrebocas.

Fadare, O. O., and Okoffo E. D. 2020. "Covid-19 face masks: a potential source of microplastic fibers in the environment." *Science of the Total Environment* 737:140279. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140279.

Garduño, M. 2020. "Cubrebocas: una nueva forma de contaminación mundial" *Forbes*. Retrieved (<https://www.forbes.com.mx/noticias-mascarillas-nueva-forma-contaminacion-mundial/>). Consultado el 2 de septiembre de 2021.

Gobierno de la Rioja. 2020. "Protección respiratoria: mascarillas quirúrgicas y mascarillas de protección." *Rioja Salud* 2.

Illés, B., and Gordon P. 2021. "Filtering efficiency measurement of respirators by laser-based particle counting method." *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 176:109173. doi: 10.1016/j.measurement.2021.109173.

Mendoza, M. de J. C. 2020. "Tela no tejida de polipropileno." *Biosmann*. Retrieved (<https://biossmann.com/tela-no-tejida-de-polipropileno.html>). Consultado el 1 de septiembre de 2021.

Ministerio de Salud de Perú. 2020. "Recomendaciones para el uso apropiado de mascarillas y respiradores por el personal de salud." 17.

Minsalud, Ministerio de Salud y Protección Social. 2020. "Lineamientos mínimos para la fabricación de tapabocas y otros insumos en el marco de la emergencia sanitaria por enfermedad Covid-19." OPS, Organización Panamericana de La Salud. Retrieved (<https://covid19-evidence.paho.org/handle/20.500.12663/1280?locale-attribute=en>). Consultado el 31 de agosto de 2021.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020a. "Coronavirus disease (Covid-19) pandemic." Retrieved August 9, 2021 (https://www.who.int/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=CjwKCAjwi9-HBhACEiwAPzUhhNtSjtDPgG94wMkGIY8FVnHpRwlMfXh_52jTxkM6shRhZ-D2XLxgeRoCQQoQAvD_BwE). Consultado el 31 de agosto de 2021. Consultado el 31 de agosto de 2021.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020b. "Listings of WHO's response to Covid-19." Retrieved (<https://www.who.int/es/news-room/detail/29-06-2020-covidtimeline>). Consultado el 31 de agosto de 2021.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020c. "Modes of transmission of virus causing Covid-19: implications for ipc precaution recommendations." Retrieved (<https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>). Consultado el 31 de agosto de 2021.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020d. Recomendaciones sobre el uso de mascarillas en el contexto de la Covid-19. P. 11.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020e. Mask use in the context of Covid-19. Vol. 1.

ONU, Organización de Naciones Unidas. 2020. "La nueva guía de la OMS sobre el uso de mascarillas contra el Covid-19." Retrieved (<https://news.un.org/es/story/2020/12/1485002>). Consultado el 31 de agosto de 2021.

Parker-Pope, T. 2020. "¿Cuál es el mejor material para un cubrebocas?" *The New York Times*, August 12. Consultado el 31 de agosto de 2021.

Pfaller, J. B., Goforth K. M., Gil M. A., Savoca M. S., and Lohmann K. J. 2020. "Odors from marine plastic debris elicit foraging behavior in sea turtles." *Current Biology* 30(5):R213-14. doi: 10.1016/j.cub.2020.01.071.

Rodríguez, N. B., Formentini G., Favi C., and Marconi M. 2021. "Environmental implication of personal protection equipment in the pandemic era: lca comparison of face masks typologies." *Procedia CIRP* 98:306-11. doi: 10.1016/j.procir.2021.01.108.

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2020. "Cartilla para mejores prácticas para la prevención del Covid-19 en el manejo de residuos sólidos urbanos (RSU)." 634.

Srikanth, A. 2020. "Penguin found dead on beach after swallowing face mask." *Changing America*. Retrieved (<https://thehill.com/changing-america/sustainability/environment/517857-penguin-found-dead-on-beach-after-swallowing-face>). Consultado el 1 de septiembre de 2021.

Tecorralco, Ana L. B., Pérez Beatriz A., Vázquez Alethia M., Espinosa Rosa M. V., Velasco Maribel P., and Cruz Arely A. S. 2020. "Prácticas de seguridad e higiene en la recolección de residuos en el contexto del Covid-19: un ensayo de ciencia ciudadana." *Gestión Integral de Residuos* 378–85.

Teasing, G. R., B. van Straten, P. de Man, and T. Horeman-Franse. 2020. "Is there an adequate alternative to commercially manufactured face masks? a comparison of various materials and forms." *Journal of Hospital Infection* 106(2):246–53. doi: 10.1016/j.jhin.2020.07.024.

UNE, Asociación Española de Normalización. 2019. "UNE-EN 14683:2019+AC:2019. Mascarillas quirúrgicas requisitos y métodos de ensayo."

Valdez, Rocio, and Castillo-Berthier Héctor. 2020. "Manejo Inadecuado de Insumos Como Cubrebocas, Riesgoso Para Trabajadores de Limpia." UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México *Boletín UNAM-DGCS*-581.

Wei, A., Lee L., Ren E., Neo K., Khoo Z., Yeo Z., Tan Y. S., Chng S., Yan W., Lok B. K., Sze J., and Low C. 2021. "Life cycle assessment of single-use surgical and embedded filtration layer (efl) reusable face mask." *Resources, Conservation & Recycling* 170(September 2020):12. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105580.

Manejo de residuos de equipos de protección personal derivados de la pandemia de COVID-19 en la Ciudad de México

Torralva Chicas Liliana y Velasco Pérez Maribel*

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Área de Tecnologías Sustentables, Av. San Pablo Xalpa No 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, México, CP. 02200. Correo electrónico*:.mvp@azc.uam.mx

Resumen

La pandemia debido a la enfermedad COVID-19 ha ocasionado una afectación significativa a los sistemas de gestión de residuos, como el incremento en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en casas-habitación, la presencia del virus en los materiales que se desechan (incluyendo los equipos de protección personal) y un aumento sustancial de residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI) en hospitales. La gestión adecuada de estos residuos sirve para la prevención de contagios, por lo que debe ser una de las prioridades en esta emergencia sanitaria. En este trabajo se investigó la gestión de RPBI en once hospitales de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México y de los RSU en casas-habitación de esta entidad. La información de los hospitales se obtuvo mediante solicitudes de información y la de casas-habitación por una encuesta en un formulario de Google (n=104). Se encontró que la clasificación, almacenamiento, recolección y tratamiento de los RPBI en estos hospitales cumple con la normatividad vigente (NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002). En los hospitales estudiados la generación de RPBI aumentó de 81.0 t en el periodo marzo 2019 - febrero 2020 a 296.5 t en marzo 2021 - febrero 2021. El público general que respondió la encuesta en su mayoría era menor de 40 años (89.4 %), con estudios de licenciatura (71.2 %) y empleados(as) (48 %). La mayoría reportó haber recibido información de la pandemia por redes sociales (69.2%) y televisión o radio (64.4 %), solamente el 27.9 % de los encuestados separó durante la pandemia sus RSU de acuerdo con la norma NADF-024-AMBT-2013 (comparado con 31.7 % antes de la pandemia) y 25.9% desechó los residuos COVID correctamente. Es necesario fortalecer el manejo de los RSU y de los residuos potencialmente contaminados con COVID-19 en casas habitación.

Palabras Clave: *cubre bocas, emergencia sanitaria, equipo de protección personal, mascarillas, residuos peligrosos biológico infecciosos.*

1. Introducción

La pandemia mundial por el coronavirus SARS-CoV-2, que causa la enfermedad conocida como COVID-19, comenzó en diciembre de 2019 en Wuhan, China (INECC, 2020). Uno de los efectos de ésta es el aumento en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI), generados en hospitales y casas habitación, que están potencialmente contaminados con el virus.

El confinamiento social y las medidas de protección han incrementado el consumo de equipos de protección personal (EPP), productos de limpieza, productos desechables de los sistemas de entrega de comida a domicilio y embalajes de las compras en línea, entre otros. La International Solid Waste Management Association estimó un aumento entre 30 y 50 % en la generación de RSU (ISWA, 2020). En México se han reportado incrementos de 10 % en San Luis Potosí (Notimex, 2020), 10 - 15% en Baja California (Cadena noticias, 2020), 20 % en Hidalgo (Islas, 2020), 23 % en la Ciudad de México (Cruz Flores, 2020) y 30 % en el municipio de Tampico (Monsiváis, 2020). Además, se estima que se generan como residuo 3 400 millones de cubrebocas desechables cada día en el mundo (Benson et al., 2021). Aunque no existe una estimación de la proporción de residuos de EPP en los RSU.

Los RSU provenientes de hogares con uno o más casos de contagio de COVID-19 ameritan una gestión diferenciada. La Cartilla de Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos establece que en un hogar con personas contagiadas todos los residuos deben tratarse como residuos COVID-19, se debe suspender temporalmente la separación de residuos valorizables, rociarlos con solución anti-COVID (4 cucharaditas de cloro por litro de agua), deben ser almacenados en doble bolsa, cerrar la bolsa exterior herméticamente, identificarlos claramente con un rótulo COVID-19 y aislarlos hasta su recolección en un recinto alejado y ventilado (SEMARNAT et al., 2020).

Los RPBI se definen en México como los desechos producto de los servicios de atención médica, potencialmente peligrosos al contener agentes biológicos infecciosos y pueden ocasionar efectos perniciosos al ecosistema y la salud (SEMARNAT 2002). La generación de residuos sanitarios de COVID-19 en hospitales se estiman en 2.85 kg/cama/día en Tailandia, 2.23 kg/cama/día en Indonesia y 2.2 kg/cama/día en México (UNEP e IGES, 2020). Los residuos contaminados con el virus SARS-CoV-2 se consideran como RPBI y deben de ser gestionados conforme la norma oficial mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 para prevenir contagios (SEMARNAT, 2002).

Este trabajo propone la evaluación del manejo de residuos hospitalarios y sólidos urbanos en el contexto de la pandemia por COVID-19.

2. Metodología

Esta investigación se llevó a cabo en cuatro etapas principales. Primero, la aplicación de una encuesta en hospitales públicos de la CDMX para investigar el manejo y generación de RPBI de pacientes con COVID-19. Después, la elaboración y difusión de una encuesta al público general en la CDMX para conocer el manejo de los residuos generados en casa-habitación. La identificación de la legislación federal y local para la gestión de estos residuos. Finalmente, la elaboración de un diagnóstico del manejo de estos residuos y recomendaciones generales. Estas etapas se describen con más detalle en las siguientes secciones.

2.1 Manejo de residuos peligrosos biológico infecciosos en hospitales de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México

En este estudio se incluyeron solamente los 11 hospitales adscritos a la Secretaría de Salud de la Ciudad de México (SEDESA) (Figura 1). Se realizaron solicitudes de información a la SEDESA a través del Instituto de Transparencia, Acceso a la Información Pública, Protección de Datos Personales y Rendición de Cuentas de la Ciudad de México. Los datos requeridos incluían información sobre el almacenamiento, recolección y tratamiento de los RPBI, así como su generación antes de y durante la pandemia.

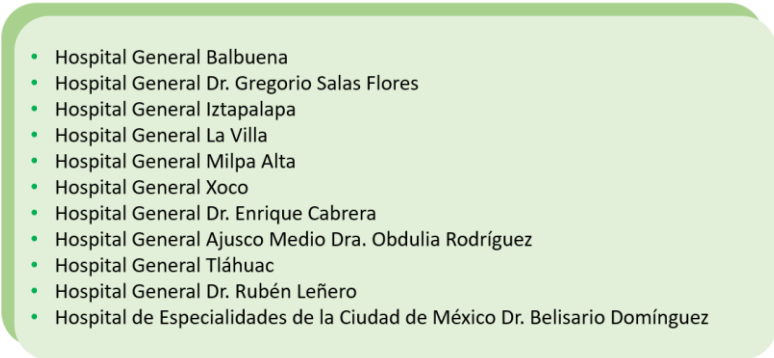
- 
- Hospital General Balbuena
 - Hospital General Dr. Gregorio Salas Flores
 - Hospital General Iztapalapa
 - Hospital General La Villa
 - Hospital General Milpa Alta
 - Hospital General Xoco
 - Hospital General Dr. Enrique Cabrera
 - Hospital General Ajusco Medio Dra. Obdulia Rodríguez
 - Hospital General Tláhuac
 - Hospital General Dr. Rubén Leñero
 - Hospital de Especialidades de la Ciudad de México Dr. Belisario Domínguez

Figura 1. Hospitales de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México incluidos en el estudio

2.2 Manejo de residuos sólidos urbanos en casas-habitación

Para identificar el manejo de estos residuos se elaboró una encuesta dirigida al público general, mayor de 18 años, que habita en la CDMX. La encuesta se realizó mediante un formulario en Google y estuvo disponible del 3 al 17 de mayo de 2021. Se difundió a través de las aplicaciones Facebook y WhatsApp.

2.3 Identificación de la legislación federal y de la Ciudad de México

Se realizó una búsqueda bibliográfica para identificar la legislación federal y local aplicable a los residuos de EPP derivados de la pandemia por COVID-19.

2.4 Diagnóstico del manejo de residuos y recomendaciones generales

Se analizaron los datos obtenidos del manejo de residuos en hospitales y en casas-habitación, se verificó el cumplimiento de la legislación y con base en este análisis se emitieron recomendaciones generales para mejorar su manejo.

3. Resultados y discusión

3.1 Manejo de residuos peligrosos biológico infecciosos en hospitales de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México

La SEDESA informó que los residuos de equipos de protección personal como cubrebocas, guantes, caretas, gorros y batas son considerados como RPBI, por lo que se manejan de acuerdo con la norma oficial NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (SEMARNAT, 2002).

De acuerdo con información de la SEDESA todos los hospitales incluidos en este estudio cuentan con un área de almacenamiento temporal y con contenedores identificados para RPBI. Tanto el almacén como los contenedores cumplen con la norma oficial mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (SEMARNAT, 2002). Los RPBI se almacenan durante tres días en los hospitales y se tratan ex situ. La empresa ASECA S.A de C.V. está contratada para la recolección y tratamiento de los RPBI de estos hospitales y cuenta con las autorizaciones correspondientes. El destino final de estos RPBI es la incineración. El personal del hospital está capacitado para el manejo de RPBI.

La Figura 2 presenta la generación de RPBI en los hospitales de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México de marzo de 2020 a febrero de 2021. La generación total varió entre 4.4 t/mes y 43.81 t/mes, con un incremento sustancial en la generación de residuos a partir de agosto 2020. En el periodo estudiado en la Ciudad de México enero de 2021 tuvo el mayor número de hospitalizaciones con 6 898 personas, (Gobierno de la Ciudad de México, 2021).

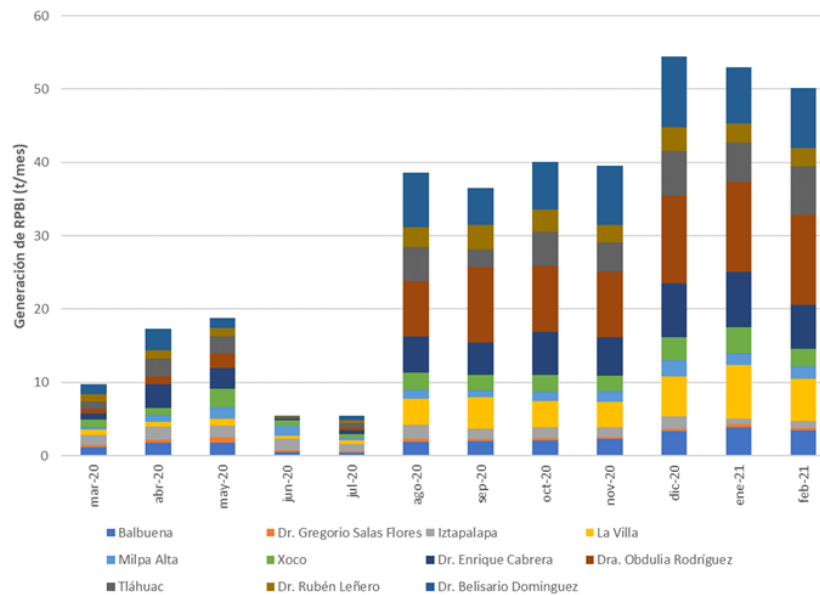


Figura 2. Generación de RPBI en los hospitales de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México de marzo de 2020 a febrero de 2021 (SEDESA, 2021a)

Para estimar la generación de RPBI derivados del COVID-19 en hospitales se realizó una comparación entre los periodos prepandemia (marzo 2019 a febrero 2020) y durante la pandemia (marzo 2020 a febrero 2021), la Figura 3 presenta estos datos, con excepción de los hospitales Dr. Enrique Cabrera y Dr. Rubén Leñero, cuyos datos para el periodo prepandemia proporcionados en la respuesta a la solicitud de información eran ilegibles. En la mayor parte de los hospitales hubo un aumento sustancial de RPBI (Figura 3). Por ejemplo, en el Hospital General Dra. Obdulia Rodríguez la generación aumentó de 9.9 t a 76.6 t, es decir la cantidad de residuos incrementó 7.7 veces durante la pandemia. El exceso de RPBI en todos los hospitales estudiados fue de 215.6 t, que se pueden atribuir a la atención de pacientes con COVID-19.

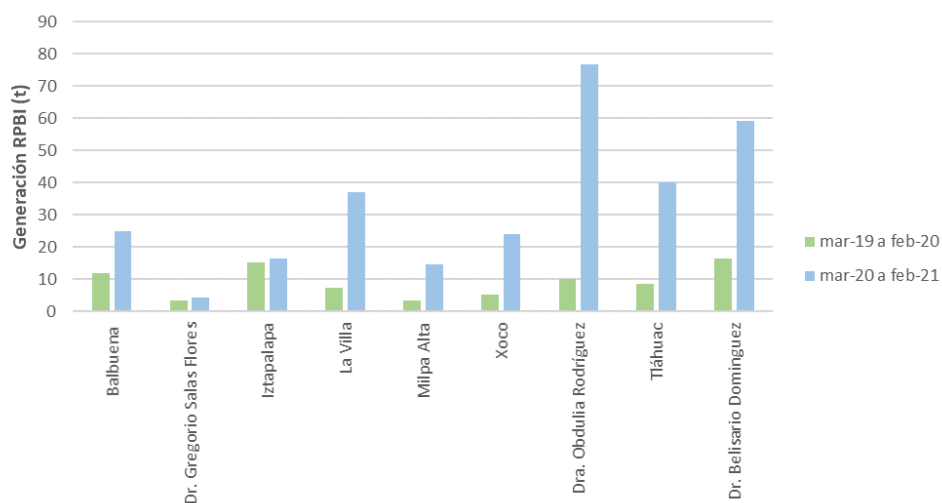


Figura 3. Comparación de la generación de RPBI en hospitales de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México de marzo de 2019 - febrero de 2020 (prepandemia) a marzo de 2020 - febrero de 2021 (durante la pandemia). No se incluyen los datos de los hospitales Dr. Enrique Cabrera y Dr. Rubén Leñero (SEDESA, 2021a)

Este trabajo incluyó solamente a los hospitales de la SEDESA, que representan una proporción relativamente pequeña de todos los hospitales públicos en la CDMX. Por ejemplo, el 31 de marzo de 2021 había en la CDMX 7 918 camas (incluyendo disponibles y en uso), de las cuales 957 correspondían a la SEDESA y 3 218 al Instituto Mexicano del Seguro Social (SEDESA, 2021b). Aunque la investigación no cuenta con los datos de generación de residuos en todos los hospitales, sirve como indicador de la magnitud del aumento de generación de RPBI derivados de la pandemia por COVID-19.

Sin duda alguna el incremento sustancial de RPBI en hospitales es un reto no sólo para su manejo de acuerdo con la normatividad vigente, sino también en el aspecto económico. El tratamiento de estos residuos debe hacerse a través de una empresa especializada con autorización de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

3.2 Manejo de residuos sólidos urbanos en casas-habitación

La encuesta fue respondida por 168 personas, de las cuales el 61.9 % (104 personas) vive en la Ciudad de México. En el análisis de resultados solamente se tomaron en cuenta las respuestas de las personas que habitan en esta entidad. La mayor parte de las personas que respondieron la encuesta tienen entre 21 y 30 años (64.4 %) y 31 y 40 años (20.20 %); tienen como máximo grado de estudios licenciatura (71.2 %) y bachillerato (16.3 %); y son empleados(as) (48%) y estudiantes (35 %), como se muestra en la Figura 4. Le encuesta presenta cierto sesgo, pues la gran mayoría de los y las que la respondieron son jóvenes menores de 40 años con estudios de licenciatura. En la CDMX la mitad de la población tiene 35 años o menos y de la población mayor a 15 años 27.6% cuenta con educación media básica y 34.6% con educación superior (INEGI, 2020).

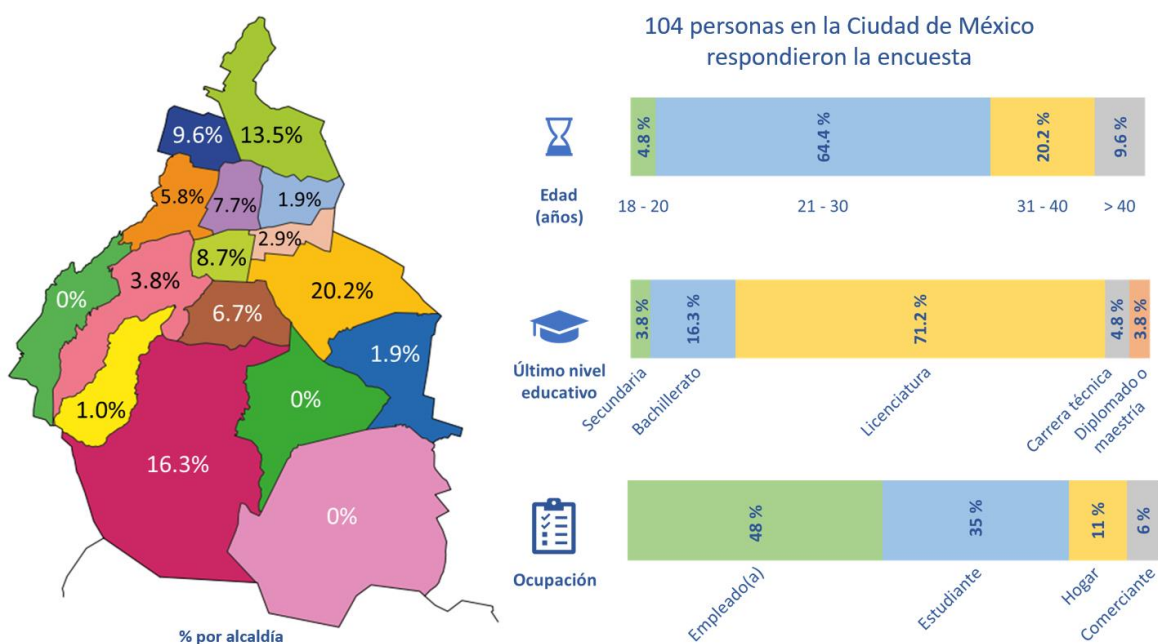


Figura 4. Características generales de las personas que respondieron la encuesta

El 71.2 % dijo no haber recibido información sobre el manejo y disposición de residuos sólidos por parte de su alcaldía. Antes de la pandemia, solamente el 31.7 % separaba los residuos conforme a la norma NADF-024-AMBT-2013 y 50.0 % lo hacía parcialmente. Entre las razones para no separar los residuos están la falta de espacio en el hogar (51.0 %) y desconocimiento de la forma de realizar la separación (48.1 %), Figura 5. Esta información es congruente con la separación de residuos orgánicos en la Ciudad de México, 54.1% (SEDEMA, 2020).

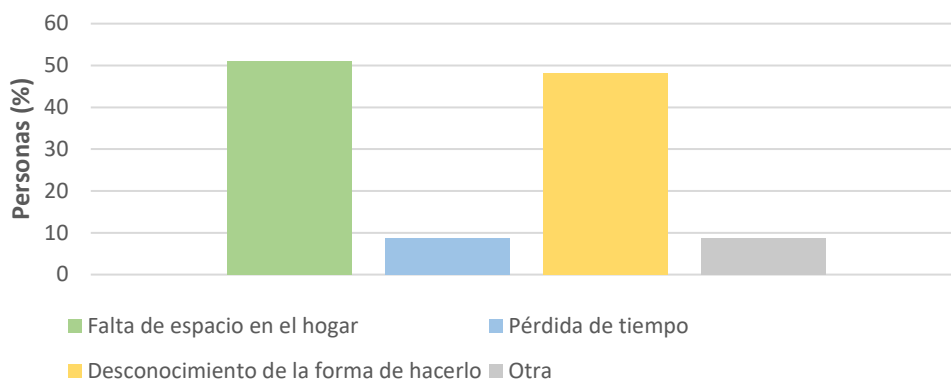


Figura 5. Razones que dificultan la separación de los residuos sólidos urbanos de acuerdo con la norma NADF-024-AMBT-2013

Respecto a la enfermedad COVID-19, el 92.3 % reportó haber recibido información respecto a ésta, principalmente mediante redes sociales (69.2 %) y televisión o radio (64.4 %). El 62 % informó que en sus casas no ha habido personas enfermas de COVID-19, mientras que 36 % han sufrido algún contagio. Llama la atención que la fuente principal de información sean las redes sociales, lo cual se puede explicar por la edad de los encuestados (más del 80% tenía menos de 40 años al momento de responder). Es evidente la necesidad de verificar la veracidad y calidad de la información difundida por estos medios.

La Figura 6 presenta los EPP más utilizados durante la emergencia sanitaria, destacan los cubrebocas reutilizables (72.1 %) y desechables (63.5 %) y las mascarillas N-95 (62.5 %).

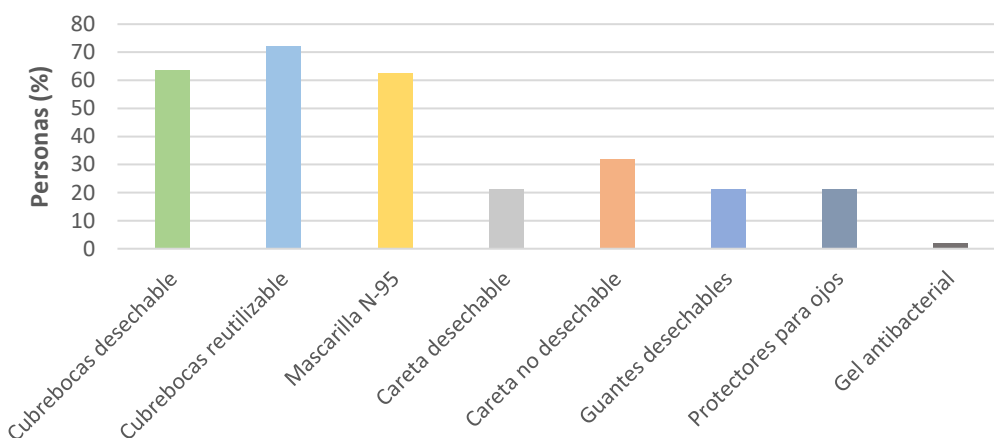


Figura 6. Equipo de protección personal más utilizado durante la pandemia por COVID-19

De los EPP desechables, el 44.2 % de los encuestados los tira después de un uso y sólo el 24.0 % dispone de los residuos de EPP en doble bolsa de plástico y rociando la bolsa con

solución anti-COVID (Figura 7). En las casas-habitación donde ha habido personas enfermas de COVID-19 que no requirieron hospitalización solamente el 25.9% desechó los residuos correctamente (en doble bolsa rociándolos con solución anti-COVID), 59.1% los desechó en una sola bolsa de plástico y 15.2% en un contenedor de plástico.

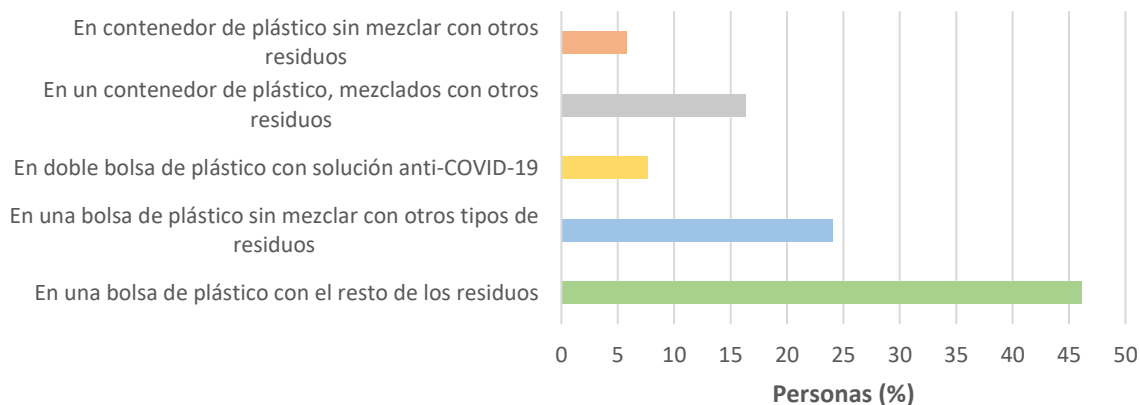


Figura 7. Método de disposición de los residuos de equipos de protección personal

Durante la pandemia por COVID-19 el 27.9 % de los encuestados reportó seguir con la separación de sus residuos de acuerdo con la norma NADF-024-AMBT-2013, entre las razones para no realizar la separación destacan nuevas medidas de recolección (8.7 %), falta de tiempo (15.4 %) y miedo al contagio de COVID-19 (8.7 %).

3.1 Identificación de la legislación federal y de la Ciudad de México

La Tabla 1 presenta la legislación más relevante para la gestión de los residuos en hospitales y casas-habitación durante la pandemia por COVID-19.

Tabla 1. Identificación de la legislación federal y de la Ciudad de México

Legislación	Nivel de aplicación	Descripción general
Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (LEGEEPA, 2021)	Federal	Garantiza el derecho de toda persona a vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar, definiendo los principios de la política ambiental e instrumentos para su aplicación Atribuye las competencias para los tres niveles de gobierno

Tabla 1. Identificación de la legislación federal y de la Ciudad de México (Continuación)

Legislación	Nivel de aplicación	Descripción general
Ley general para la prevención y gestión de los residuos (LGPGIR, 2021)	Federal	Garantiza el derecho de toda persona al ambiente sano y propicia el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial
Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (SEMARNAT, 2005)	Federal	Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos
Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (SEMARNAT, 2002)	Federal	Establece la clasificación de los residuos peligrosos biológico infecciosos así como las especificaciones para su manejo
Ley de residuos sólidos del Distrito Federal (LRSDF, 2015)	Estatad (Ciudad de México)	Regula la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia
Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013 (SEDEMA, 2013)	Estatad (Ciudad de México)	Establece los criterios y especificaciones técnicas bajo las cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento para el aprovechamiento y valorización de los residuos

3.1 Diagnóstico del manejo de residuos y recomendaciones generales

De acuerdo con la información proporcionada en los hospitales de la SEDESA para los residuos de EPP la clasificación (RPBI), almacenamiento temporal (tres días) y tratamiento se realiza de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (SEMARNAT, 2002).

En las casas-habitación los encuestados reportaron una baja separación de los RSU conforme a la norma ambiental NADF-024-AMBT-2013, antes de la pandemia el 31.7 % separaba sus residuos y este porcentaje disminuyó ligeramente (27.9 %) durante la pandemia. La recolección se lleva a cabo de forma mixta, contrario a lo que indica la norma. Además, solamente un pequeño porcentaje (25.7% de los hogares con casos activos de COVID-19) desechó los residuos de forma correcta para evitar contagios debido a su manejo.

Para mejorar la gestión de los residuos de COVID-19 en las casas-habitación se recomienda:

- Desarrollar medidas de difusión de información con base en las preferencias de la población objetivo. Por ejemplo, las redes sociales para población joven
- Desarrollar un mecanismo que permita que la población tenga acceso a información verificada por medio de las redes sociales

4. Conclusiones

En este estudio solamente se consideraron los hospitales pertenecientes a la SEDESA, que representan una pequeña proporción de los de la CDMX, pero los resultados sirven para observar el dramático aumento en la generación de RPBI en unidades médicas. Otra limitación es que las encuestas a la población general incluyen sólo una muestra pequeña de la población y hay un sesgo por el nivel educativo de las y los encuestados.

Se puede concluir que la gestión adecuada de los residuos potencialmente contaminados por COVID-19 es de vital importancia, pues previene la transmisión y contagio por este medio. A pesar del rápido crecimiento de estos residuos, los hospitales de la SEDESA los han gestionado de acuerdo con la legislación vigente. Sin embargo, el manejo de los residuos en las casas-habitación no es del todo correcto y la implementación de medidas para mejorarlo es compleja pues depende de muchos factores. Ejemplo de esto es que la eficiencia de separación de residuos orgánicos en la CDMX apenas supera el 50 % a pesar de haber sido establecida en 2003 (LRSDF,2015). Para fortalecer la separación de RSU valorizables y la gestión de residuos COVID-19 se considera relevante mejorar la difusión de información clara y verídica por los medios adecuados para la población.

Referencias bibliográficas

Benson N U, Bassey D E, Palanisami T (2021). COVID pollution: impact of COVID-19 pandemic on global plastic waste footprint. *Heliyon*. 7(e06363): 1-9 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06343>

Cadena noticias (2020) Compras de pánico por Covid-19 aumentarán generación de residuos en la frontera. Disponible en: <https://cadenanoticias.com/regional/2020/03/compras-de-panico-por-covid-19-aumentaran-generacion-de-residuos-en-la-frontera> 15 de marzo de 2020

Gobierno de la Ciudad de México (2021) Personas hospitalizadas en hospitales de la ZMVM. Portal de datos abiertos de la Ciudad de México. Disponible en: <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/personas-hospitalizadas-en-hospitales-de-zmvm> Último acceso: 1/09/2021

Cruz Flores, A (2020) Por confinamiento, generan capitalinos 3 mil toneladas más de desechos sólidos. *La Jornada*. Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/ultimas/capital/2020/04/30/por-el-confinamiento-generan-capitalinos-3-mil-toneladas-mas-de-desechos-solidos-5135.html> 30 de abril de 2020

INECC (2020) Panorama de la generación y manejo de residuos sólidos y médicos durante la emergencia sanitaria por COVID-19. México D.F.

Islas, M. A. (2020). Durante cuarentena ciudadanos producen hasta 20% más basura. *Criterio*. Disponible en: <https://criteriohidalgo.com/regiones/durante-cuarentena-ciudadanosproducen-hasta-20-mas-basura> 1 de abril de 2020

ISWA (2020) Waste Management During the COVID-19 Pandemic. Disponible en: https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/0001_COVID/ISWA_Waste_Management_During_COVID-19 Último acceso: 20 de julio de 2021

INEGI (2020) Censo de Población y Vivienda 2020. Panorama sociodemográfico de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <https://www.issea.gob.mx/Docs/Censo%20INEGI%202021/Panorama%20Sociodemogr%C3%A1fico%20de%20M%C3%A9xico%20y%20Aguascalientes.pdf> Último acceso: 2/09/2021

LGPGIR (2021) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Última reforma publicada en el DOF el 18 de enero de 2021.

LGEEPA (2021) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última reforma publicada en el DOF el 18 de enero de 2021.

LRSDF (2015) Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Última reforma publicada en el DOF el 18 de noviembre de 2015.

Monsiváis, P (2020) Aumenta en un 30% generación de basura en Madero por “receso” de COVID-19. El sol de Tampico. Disponible en: <https://www.elsoldetampico.com.mx/local/aumenta-en-un-30-generacion-de-basura-en-madero-por-receso-de-covid-19-5000251.html> 21 de marzo de 2020

Notimex (2020) Aumenta generación de residuos sólidos en SLP. Notimex. Disponible en: <http://www.notimex.gob.mx/ntxnotaLibre/749424/aumenta-generacion-de-residuos-solidos-en-slp-por-covid-19> 26 de marzo de 2020

SEDEMA (2013). Norma ambiental NADF-024-AMBT-2013. Que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal. Publicada en la gaceta oficial del Distrito Federal el 8 de julio de 2015.

SEDEMA (2020) Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México 2019. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. Disponible en: https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/InventarioDeResiduosSolidosDeLaCiudadDeMexico_2019.pdf Último acceso: 2/09/2021

SEDESA (2021a) Solicitud de acceso a la información

SEDESA (2021b) Reporte 31 de marzo de 2021. Informe diario sobre COVID-19. Disponible en: <https://covid19.cdmx.gob.mx/comunicacion/tipo/Reporte%20diario%20sobre%20COVID-19> Último acceso: 31/03/2021

SEMARNAT (2002) NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección Ambiental – Salud Ambiental – Residuos peligrosos biológico – infeccioso – Clasificación y especificaciones de manejo. Publicada en el DOF del 17 de febrero de 2003

SEMARNAT (2005). NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Publicada en el DOF el 23 de junio de 2006.

SEMARNAT, Secretaría de Salud y CONACyT (2020) Cartilla de Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/545891/Cartilla_de_Mejores_Practicas_para_la_Prevencion_del_COVID-19.pdf Último acceso: 3/09/2021

UNEP e IGES (2020) Waste Management during the COVID-19 Pandemic, from response to recovery. United Nations Environment Programme e Institute for Global Environmental Strategies. Disponible en: <https://www.unep.org/resources/report/waste-management-during-covid-19-pandemic-response-recovery> Último acceso: 2/09/2021

Valorización

Recuperación informal de residuos electrónicos como estrategia de supervivencia

Samantha E. Cruz-Sotelo¹, Sara Ojeda-Benitez², Néstor Santillán-Soto², Eunice Ojeda Benitez³
Ismael Mendoza Muñoz¹ y Mildrend Ivett Montoya Reyes¹

Facultad de Ingeniería¹, Instituto de Ingeniería², Facultad de Ciencias Administrativas, Universidad Autónoma de Baja California³

samantha.cruz@uabc.edu.mx

Resumen

La segregación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) es una fuente de empleo y de ingresos para el sector informal. Unos de los actores que participan activamente en la recuperación de residuos electrónicos son los que pertenecen al sector informal, en este grupo están los pepenadores. Sin embargo el manejo que realizan no está encaminado hacia un desarrollo sostenible, debido a que se están generando impactos negativos al ambiente y a la salud. Por ello es importante identificar a este sector y dimensionar el papel que juegan en la cadena de valor de los RAEE. En este artículo se presentan los resultados de una investigación que se realizó con los pepenadores que hacen la actividad in situ, en el sitio de disposición final ubicado en el valle de Mexicali. Se incluyen los datos demográficos, se analiza el flujo de los electrónicos que segregan para conocer composición, ingreso por la venta, así como las prácticas de manejo. También se incluye información sobre las herramientas que utilizan para recuperar los componentes con valor. Los resultados muestran que los pepenadores participan en la cadena de valor de los RAEE, segregando, desmantelando, vendiendo, reparando y recuperando de manera parcial materiales y componentes valiosos, como cables, tarjetas de circuitos, metales y plásticos de estos residuos.

Palabras Clave: *Cadena de valor, segregación, pepenadores, residuos electrónicos.*

1. Introducción

Los sistemas de manejo de residuos sólidos en países en desarrollo son generalmente ineficientes, carecen de la debida gestión administrativa y financiera, regulaciones e infraestructura adecuada, así como de recursos económicos, por lo que la recolección de residuos con valor es realizada por los recicladores informales, siendo una solución parcial

a estos problemas, a pesar de que esta actividad tiene una percepción social negativa (Navarrete P. y Navarrete N., 2018).

Los segregadores informales conforman un grupo que está inmerso en la problemática social del manejo cotidiano de los residuos sólidos, juegan un papel central en la recuperación de residuos con valor. En México, los pepenadores pertenecen a este grupo, éstos recuperan materiales valiosos que luego venden a los intermediarios para su comercialización. Forman parte de un sector de la población que vive de los materiales que segregan en las calles y sitios disposición final.

Los pepenadores, pertenecen a la economía informal, requieren atención, por lo que es importante buscar estrategias para dignificar su trabajo e identificar las prácticas que realizan. En este artículo se presenta un diagnóstico sobre el papel que juegan los pepenadores en la recuperación de residuos electrónicos que son segregados en un sitio de disposición final en la ciudad de Mexicali.

La segregación de residuos en sitios de disposición final, es una forma de trabajo realizada por personas que en su mayoría se encuentran en el nivel informal de la economía (Borges et al., 2019 y Asim, Batool y Chaudhry 2012), ven en los residuos una fuente de ingreso y subsistencia (Oguntoyinbo, 2012).

De acuerdo a Kasinjay (2018), 20 millones de personas en todo el mundo dependen de la recolección de residuos como medio de vida, mientras que miles más dependen del reciclaje de materiales de los desechos para su sustento. En América Latina entre 500 000 y 4 millones de personas buscan en la basura para vivir (Marello y Helwege, 2018). La mayoría son pobres, social y políticamente marginados.

A los pepenadores les es difícil tener un empleo en la economía formal, por lo que se ganan la vida recolectando todo tipo de materiales para su reutilización o posterior reciclaje (Besiou, Georgiadis y Van Wassenhove, 2012). Este grupo recibe diferentes nombres según el lugar donde trabajan, los materiales que recogen, el idioma local y el país en el que realizan la actividad, en México se les conoce comúnmente como pepenadores y cartoneros; en Colombia basurieros, traperos y chatarrereros; en Ecuador chamberos; en Costa Rica buzos; en Argentina cirujas; en Brasil catadores y triadores (Medina, 2000; Downs y Medina, 2000; Wilson, Velis, Cheesema, 2006; De Carmo, Puppim, 2010; Marello, Helwege, 2018). Una característica importante de este grupo es que forman el primer eslabón, en el circuito de recuperación de los residuos sólidos urbanos, esta tarea la realizan tanto en las calles como en los basureros.

La actividad informal ha desempeñado un papel poco reconocido, pero sustancial en la gestión de residuos sólidos, especialmente en los países en desarrollo. En particular, la actividad informal es importante en el sector de los residuos electrónicos, cuyo volumen e impactos han crecido rápidamente en las últimas décadas.

2. Metodología

Esta investigación se realizó en la ciudad de Mexicali, en el sitio de disposición final con los pepenadores que segregan directamente en el lugar. Se contactó al líder y se le pidió el

apoyo para que los pepenadores contestaran las preguntas incluidas en el instrumento que se describe más adelante. Se solicitó a cada pepenador participar, y si aceptaban, eran encuestados.

El instrumento que se aplicó, se organizó en tres secciones; en la primera, se incluyeron datos generales del pepenador para identificar los datos demográficos de la población encuestada e información sobre el tipo de materiales que segregan, para verificar que estuvieran separando electrónicos, así como el tiempo que tienen dedicándose a dicha actividad y horas de trabajo.

En la segunda sección, se incluyeron preguntas sobre el flujo de los electrónicos que recolectan en el sitio, para conocer composición, volumen, ingresos por venta, identificar las prácticas de manejo y a los compradores de los componentes que venden.

En la tercera, se incluyeron preguntas sobre seguridad y procedimientos, para identificar las herramientas que utilizan, si usan algún equipo para protegerse y sobre los accidentes que han tenido al realizar esta actividad.

3. Resultados

En Mexicali la corriente de residuos sólidos urbanos se dispone en un tiradero de tierra controlado, ubicado en el ejido Hipólito Rentería, el cual no cumple con la normatividad.

Algunos de los datos demográficos recolectados de los pepenadores que desarrollan sus actividades en el sitio de disposición final, corresponden a la escolaridad y edad. La escolaridad que predomina es el nivel de secundaria y la edad de los pepenadores está en el rango de los 40 y 45 años. Con relación a la población joven tiene un nivel educativo mayor, un poco más del 7% cursaron preparatoria y es el grupo más joven de pepenadores en el sitio (Figura 1).

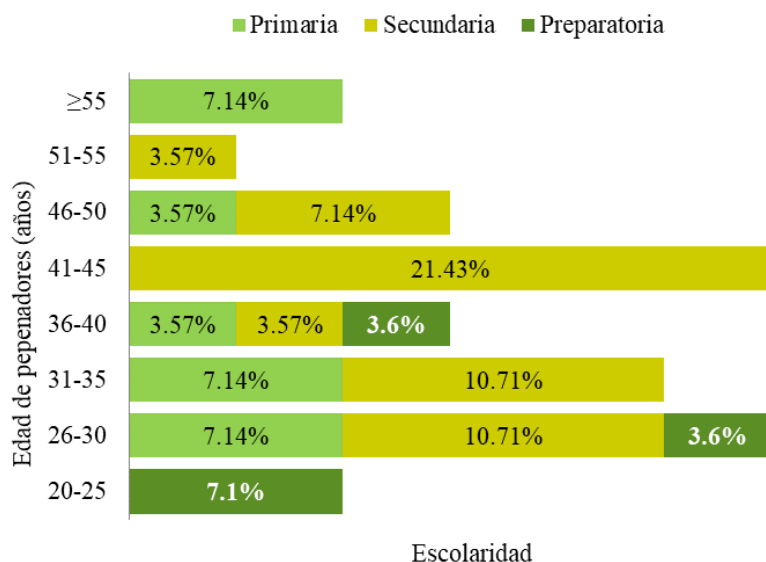


Figura 1. Escolaridad de los pepenadores que segregan en el sitio de disposición final

Otro dato demográfico que se incluyó fue el estado civil, el 31% de los hombres y el 12% de las mujeres reportaron que viven en unión libre.

3.1 Antigüedad y jornada de trabajo de pepenadores en sitio de disposición final.

El número de horas que trabajan los pepenadores en el sitio de disposición final varía, el 38% tiene jornadas de entre 4 y 6 h (Figura 2), es importante resaltar que el número de horas que permanecen en el sitio es mayor al que se dedican a segregar residuos.

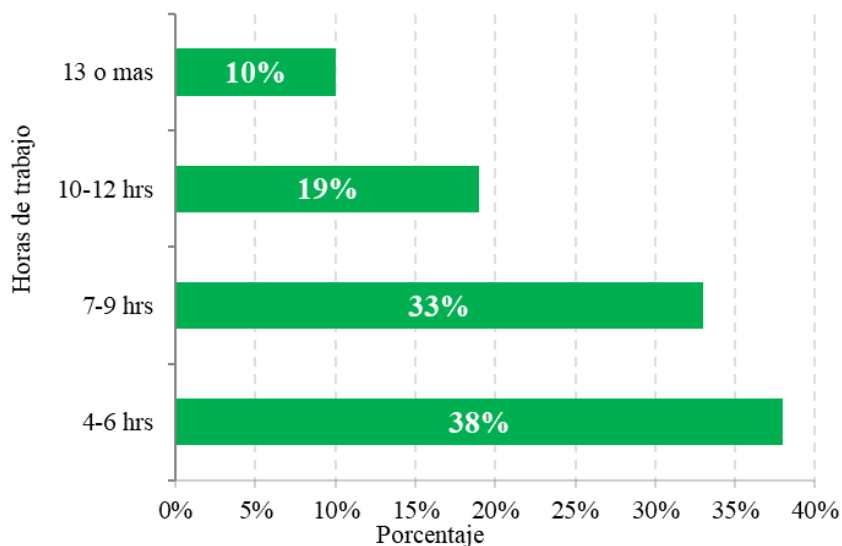


Figura 2. Jornada de trabajo de los pepenadores en el sitio de disposición final

En la Figura 3 se muestra la información sobre el tiempo que los pepenadores han trabajado en la segregación de residuos, el 19% reportó tener entre 4 y 6 años, el 15% entre 7 y 9 años, el 9% entre 19 y 21 años, otro 15% tiene menos de un año realizando esta actividad, este porcentaje corresponde a un grupo de pepenadores que se incorpora a esta actividad informal principalmente porque han perdido su fuente de ingresos o son migrantes.

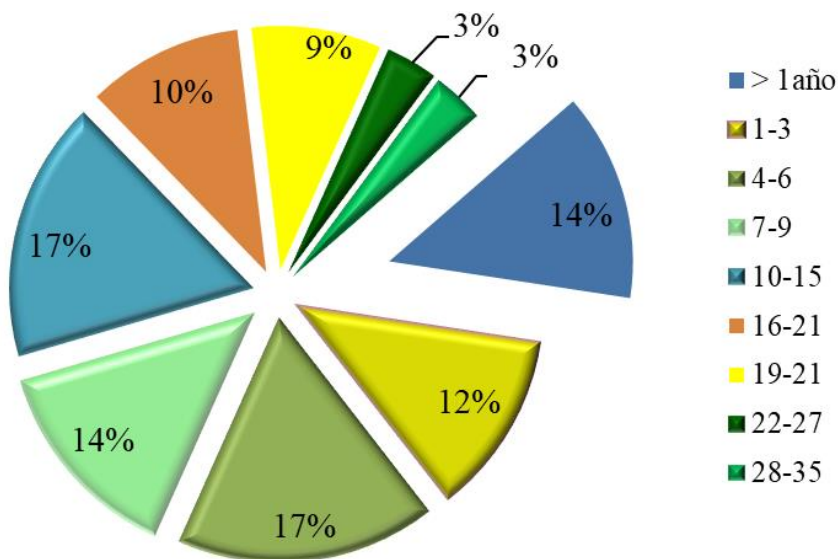


Figura 3. Años de antigüedad en actividad de los pepenadores en el sitio de disposición final

3.2 Manejo de residuos electrónicos en sitio de disposición final

Los residuos electrónicos tienen un gran potencial de valorización. Sin embargo, el desarrollo no controlado de los sistemas de manejo (segregación, acopio, desensamble, reuso, reciclaje y eliminación final) ha provocado que los materiales que poseen valor económico sean desechados en lugares inadecuados, y en algunos casos incluso sometidos a prácticas de manejo que impactan al ambiente y a la salud humana, como la quema informal, como es el caso de las prácticas de manejo que realiza el sector informal en sitios como el que se analiza en este artículo.

En la figura 4 se presenta el movimiento de los RAEE en el sitio de disposición final, el ingreso de éstos al sitio es en el flujo de los residuos sólidos urbanos, pueden llegar a través de un transfer (camión de 20 toneladas) de la estación de transferencia o directamente de la ruta de recolección. Se disponen los residuos en el frente de tiro, el pepenador segrega directamente en esa área y deposita los residuos acopiados en un saco, luego lo lleva al área donde realiza una segregación más fina y separa por material; ahí realiza la segregación de los electrónicos que recolectó, una de las prácticas que realiza es quemar algunas partes de los electrónicos para recuperar el cobre, posteriormente lleva los materiales a la venta en el sitio.



Figura 4. Flujo de residuos electrónicos en el proceso de segregación en disposición final. Fuente: Elaboración propia de registro fotográfico de trabajo en campo

La práctica más común entre los pepenadores, del sitio de disposición final, que segregan RAEE es venderlos, especialmente celulares, microondas y videojuegos. Pero, también existen algunos artículos que reparan: refrigeradores (8%), lavadoras (6%) y los pequeños aparatos eléctricos electrónicos (PAEE), como licuadoras, juguetes y planchas, entre otros (figura 5).

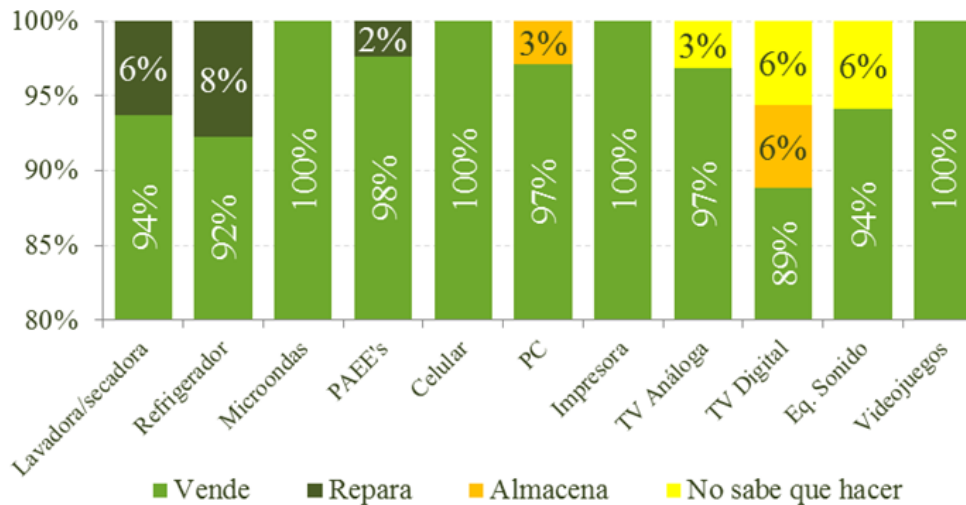


Figura 5. Flujo de los RAEE que no funcionan segregados en sitio de disposición final

Los materiales que tienen valor los venden completos o en partes: el 71% los vende por kg a la chatarrera, el 20% los desmantelan y vende en partes, el 3% los venden en una recicladora.

El precio que declararon los pepenadores, sobre la venta de los materiales de metal, de los electrónicos que recuperan; el 53% lo vende a 6.00 pesos mexicanos, mientras que el 38% a 5.00 pesos; el 21% de los pepenadores venden el material en el sitio.

Otro de los materiales que tienen valor en el mercado son las tarjetas de circuito impreso, éstas son comercializadas por intermediarios que las compran a los pepenadores por kg; los precios que reportaron fueron variados, al 39% se lo compran por kg a 50.00 pesos, el 27% a 35.00 pesos, el 19% a 25.00 pesos.

El equipo que usan para realizar la actividad son guantes para protegerse mientras realizan la segregación, por seguridad y por higiene. Para separar los residuos usan un gancho o una varilla, otros lo hacen directamente con la mano.

4. Conclusiones

El sector informal juega un papel importante en la comercialización de los residuos electrónicos y sus componentes, coexiste con el sector formal en la cadena de valor con actores que han hecho de los residuos electrónicos un negocio.

Las prácticas que realizan para segregar RAEE y comercializarlos no son las más eficientes ni amigables con el ambiente, reparan para vender y usar.

Los pepenadores no declararon abiertamente practicar la quema como una forma de recuperar metales de los electrónicos que segregan en el sitio, sin embargo las evidencias encontradas en el sitio de disposición final muestran que realizan la quema de electrónicos para recuperar algunos metales.

El problema que ocasionan los residuos electrónicos en la ciudad es complejo, la infraestructura que existe para el manejo es limitada, el sector informal participa activamente en la recuperación de materiales de los equipos electrónicos desechados como residuos, sin embargo las prácticas de manejo no son las adecuadas. Las actividades de segregación que realizan no son sustentables en términos sociales por las condiciones de trabajo, ni ambientales por los procesos que realizan por que implican riesgos para la salud y el ambiente.

El trabajo que realizan los pepenadores se caracteriza por ser a pequeña escala porque carecen de las condiciones laborales y tecnológicas para realizar su actividad en la cadena de valor. Las actividades de este sector no están reguladas y como resultado, se mantienen fuera de los esquemas formales de bienestar, se puede decir que las prácticas de segregación y comercialización de RAEE son azarosas y alejadas de la formalización e integración para lograr complementariedades sinérgicas. Por lo que es necesario buscar esquemas de inclusión.

Referencias bibliográficas

- Asim, M., Batool, S. A., Chaudhry, M. N. (2012). Scavengers and their role in the recycling of waste in Southwestern Lahore. *Resources, conservation and recycling*, 58, 152-162. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.10.013
- Besiou, M., Georgiadis, P., Van Wassenhove, L. N. (2012). Official recycling and scavengers: Symbiotic or conflicting?. *European Journal of Operational Research*, 218(2), 563-576 DOI: 10.1016/j.ejor.2011.11.030
- Borges, M. S., Cruvinel, V. R., de Lira, L. H. P., Martins, A. C. S., Ghosh, S. K. (2019). Socioeconomic and demographic profile of waste pickers in Brazil and India. In *Waste Management and Resource Efficiency* (pp. 263-273). Springer, Singapore. DOI; 10.1007/978-981-10-7290-1_23 OI:
- Do Carmo, M. S., de Oliveira, J. A. P. (2010). The Semantics of Garbage and the organization of the recyclers: Iplementation challenges for establishing recycling cooperatives in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1261-1268. DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.04.005
- Downs, M., Medina, M. (2000). A short history of scavenging. *Comparative Civilizations Review*, 42 (42), 4.
- Kasinja, C., Tilley, E. (2018). Formalization of informal waste pickers' cooperatives in Blantyre, Malawi: A feasibility assessment. *Sustainability*, 10 (4), 1149. DOI: 10.3390/su10041149
- Navarrete-Hernández, P., Navarrete-Hernández, N. (2018). Unleashing waste-pickers' potential: supporting recycling cooperatives in Santiago de Chile. *World Development*, 101, 293-310. DOI: 10.1016/j.worlddev.2017.08.016
- Marello, M., Helwege, A. (2018). Solid waste management and social inclusion of wastepickers: opportunities and challenges. *Latin American Perspectives*, 45 (1), 108-129. DOI: 10.1177/0094582X17726083
- Medina, M. (2000). Scavenger cooperatives in Asia and Latin America. *Resources, conservation and recycling*, 31(1), 51-69. 10.1016/S0921-3449(00)00071-9
- Oguntoyinbo, O. O. (2012). Informal waste management system in Nigeria and barriers to an inclusive modern waste management system: a review. *Public health*, 126(5), 441-447. DOI: 10.1016/j.puhe.2012.01.030
- Wilson, D. C., Velis, C., Cheeseman, C. (2006). Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat international*, 30(4), 797-808. DOI: 10.1016/j.habitatint.2005.09.005

Estudio comparativo de la degradación de azul brillante en un filtro empacado de carbón activado de cáscara de naranja y de borra de café mediante sistemas electro-Fenton, electro-oxidación

Nancy Felicia Vásquez Gómez¹, Luis Arturo Godínez Mora-Tovar², Irma Robles Gutiérrez*¹

¹Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. (CIDETEQ), Parque Tecnológico Querétaro, 76703 Sanfandila, Pedro Escobedo, Querétaro, México.

²Centro de Estudios Académicos sobre contaminación ambiental, CEACA, Facultad de Química. Centro Universitario, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas, s/n, Las Campanas, 76179, Santiago de Querétaro.

*E-mail: irobles@cideteq.mx

Resumen

En este trabajo se estudió el efecto de los procesos Fenton y electro-oxidación, en modo continuo y por lotes, se comparó su efecto en un filtro empacado con carbón activado, empleando el carbón de cáscara de naranja y el de borra de café. Los estudios experimentales se corroboraron mediante un análisis estadístico mediante un diseño factorial 2³.

Se pudo observar que el carbón activado de cáscara de naranja resultó en una mejor degradación del colorante modelo en comparación con el de borra de café. El proceso electro-Fenton no presentó una diferencia significativa en comparación con el proceso electro-oxidación, siendo el modo continuo el que presentó una mayor eficiencia.

El análisis estadístico permitió calcular los efectos estadísticos, conocer los factores que tienen una mayor influencia y finalmente se obtuvieron las ecuaciones que modelan los procesos de electro-oxidación y electro-Fenton. El proceso en modo continuo resultó ser la variable con mayor influencia comparado al modo por lotes, con una eficiencia del 40% de degradación en un tiempo de dos horas.

Palabras Clave: *Carbón activado, cáscara de naranja, borra de café, residuos agroindustriales, filtro electroquímico.*

1. Introducción

El carbón activado es un excelente captador de contaminantes por sus propiedades adsorptivas, por esta razón este material es ampliamente utilizado en sistemas de filtración. Por otro lado, el carbón activado posee una conductividad eléctrica que aunque limitada, es

otra ventaja que ha sido aprovechada en los llamados electrodos porosos en sistemas de degradación de contaminantes por métodos electroquímicos (Areir et al. 2017).

En este sentido, Robles y colaboradores, desarrollaron un sistema electroquímico empacado con carbón activado de origen comercial, con un arreglo por lotes que consistió en dirigir el flujo en ambos sentidos, con períodos alternados de imposición de polaridad y recirculación del caudal. Este dispositivo promueve la producción de peróxido de hidrógeno *in situ* por la reducción de oxígeno en el cátodo, que a su vez reacciona con hierro suministrado mediante resinas de intercambio iónico (Robles, et al., 2020). Esta es la conocida reacción de Fenton, un sistema que en ausencia de hierro se conoce como electro-oxidación pues el sistema recibe la imposición de potencial, así que el efecto de degradación se asocia únicamente a una oxidación electroquímica.

Existe una amplia variedad de carbones activados, pero destaca la creciente oportunidad de elaborarlo a partir de residuos agroindustriales. A nivel mundial México es líder agroindustrial en el procesado de café y naranja, de acuerdo con lo reportado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) en el 2015, en México se produjeron 4.5 millones de sacos de café y 4.6 millones de toneladas de naranja (Mejías-Brizuela et al. 2016). Sin embargo, estas agroindustrias se encuentran entre las que generan mayor cantidad de residuos debido a los bajos porcentajes de aprovechamiento de la materia prima (Mejías-Brizuela et al. 2016). En el caso del café sólo se aprovecha económicamente el grano, lo que corresponde un 10 % del peso del fruto fresco, en cuanto a la naranja, la agroindustria juguera sólo aprovecha el 40 %. Esto indica que el 90 % en el caso del café y 60 % en el caso de la naranja corresponde a residuo (Barragan et al. 2008). Debido a esto, han surgido alternativas y propuestas para el aprovechamiento y valorización de los residuos agroindustriales.

En el presente trabajo se utilizaron residuos agroindustriales: borra de café y cáscara de naranja como materia prima en la fabricación de carbones activados, debido a las biomásas lignocelulósicas que contienen, éstas tienen como particularidad alto contenido de compuestos orgánicos y bajos contenidos de cenizas, éstas son características sumamente aprovechables a la hora de someter los residuos a mecanismos de activación física o química durante la síntesis (Vidal et al. 2018). Los carbones activados obtenidos se emplearon de manera individual en un filtro de lecho empacado para evaluar la factibilidad de implementar carbones activados de origen agroindustrial en un sistema electroquímico para el tratamiento de agua, en este sentido se compararon dos sistemas de degradación y dos modos de operación, la eficiencia que presentaron los carbones de cáscara de naranja y de borra de café se validó mediante la degradación de azul brillante como colorante modelo. Esta comparación se fundamentó con un análisis estadístico.

2. Metodología

2.1 Preparación de carbones activados

Se prepararon dos tipos de carbón activado, utilizando como precursores residuos agroindustriales: cáscara de naranja y borra de café bajo las condiciones reportadas por Robles y colaboradores, y Tovar y colaboradores (Tovar et al. 2019; Robles et al. 2020b). Esos carbones activados fueron utilizados de manera individual en un filtro de lecho empacado, el cual se usó para el validar el funcionamiento de un proceso electro-Fenton y electro-oxidación, la eficiencia del sistema se evaluó mediante el seguimiento de la decoloración de azul brillante FCF ($C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$, P.M.: 792.8 g/mol, 800 mg/L), con respecto al tiempo, cada media hora, hasta completar dos horas.

Como etapa preliminar, se validó la capacidad de adsorción de los carbones activados agroindustriales.

2.2 Análisis estadístico

Con objeto de conocer las condiciones que permiten una mayor decoloración, se utilizó un diseño factorial 2³, cuyos factores, niveles y matriz experimental se describen en la Tabla 1. Los experimentos se realizaron por duplicado y en orden aleatorio (Montgomery 2004).

Tabla 1. Matriz experimental, donde se incluye la descripción de los niveles

Factores	Nivel bajo (-)	Nivel alto (+)
Proceso	Continuo	Lotes
Hierro	Sin (electro-oxidación)	Con (electro-Fenton)
Tipo de carbón activado	Cáscara de naranja	Borra de café
Matriz del diseño experimental		
Proceso	Hierro	Tipo CA
A	B	C
-	-	-
+	-	-
-	+	-
+	+	-
-	-	+
+	-	+
-	+	+
+	+	+

El desarrollo experimental se llevó a cabo en un sistema como el mostrado en la Figura 1. Finalmente, se utilizó el software Statgraphics VII para realizar un análisis estadístico (Tovar et al. 2019; Robles et al. 2020b).

El proceso por lotes consistió en dos pasos sucesivos, el primero de recirculación, y el segundo de polarización en modo estático, para posteriormente, invertir tanto el paso del flujo, como el de la polarización, con lo que se asegura la retención de iones de hierro dentro del sistema, como lo reportó Fernández y colaboradores, y Robles y colaboradores (Fernández et al. 2018; Robles et al. 2020c). Mientras que, por otro lado, el proceso en continuo consistió en llevar de manera continua la polarización y recirculación del sistema. Ambos experimentos se realizaron hasta completar dos horas. Se consideró el porcentaje de degradación, el pH y la conductividad, como variables de respuesta. Se suministró una cantidad de 12.15 g de resina cargada con iones de hierro, y una diferencia de potencial de 4 V.

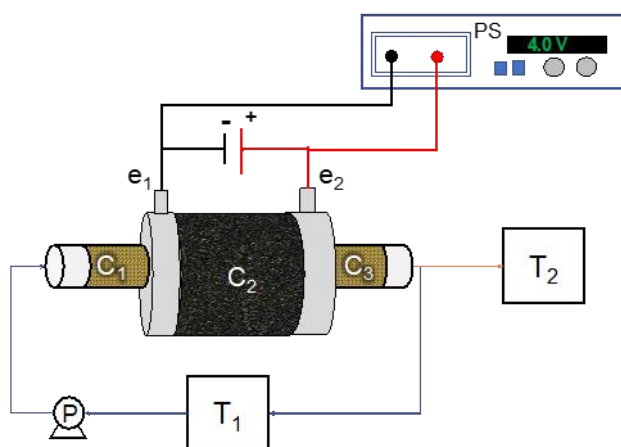


Figura 1. Diagrama representativo del sistema experimental empleado (Robles et al. 2020c). Donde T1 representa el tanque receptor en el modo continuo, y T2 representa el tanque receptor en el modo por lotes. Mientras que C1 y C3, representa compartimentos donde se colocó resina, C2, el compartimento del empaque de carbón activado, asimismo e, representa los electrodos de tela de grafito

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización electroquímica de los electrodos de EPCM

Como etapa preliminar, se validó la capacidad de adsorción de los carbones activados agroindustriales, sin embargo, la captación fue nula, por lo que se descartó algún efecto adsorptivo de los materiales, y así, el efecto de la disminución de color, considerado como degradación, se asocia en adelante al proceso electro-Fenton y/o electro-oxidación. Se considera el término degradación puesto que se asume que el sistema electroquímico propicia la degradación de la molécula de colorante, por efecto de reacciones químicas que ocurren dentro del filtro de lecho empacado.

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos en el proceso de degradación, donde se comparan el tipo de proceso en modo por lotes y continuo, en modalidades electro-Fenton

y electro-oxidación. Se observa con claridad que el proceso continuo promovió una mayor degradación del contaminante modelo en comparación con el proceso por lotes. Por otro lado, aunque electro-Fenton resultó en una ligera mejora, en ambos casos, aún así no se observó diferencia significativa entre los procesos Fenton y oxidación.

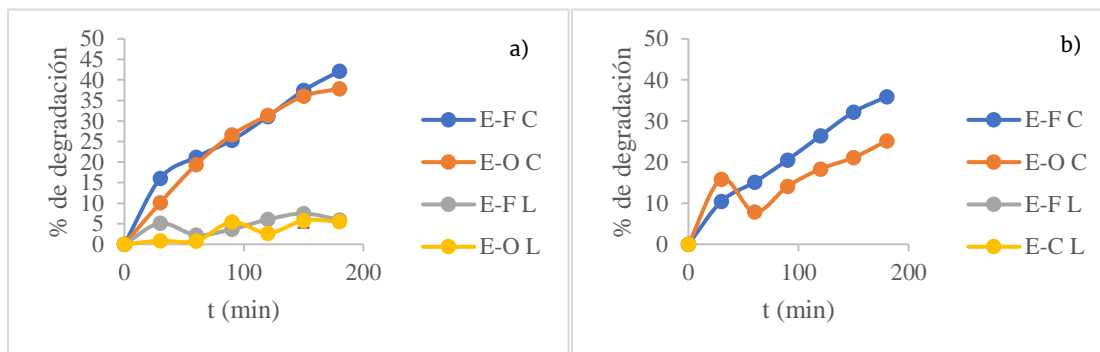


Figura 8. Comparativo del porcentaje de degradación durante el proceso de Electro-Fenton y Electro-oxidación en modo continuo (E-F C y E-O C), y por lotes (E-F L y E-O L), en filtro empacado de: a) carbón activado de cáscara de naranja, b) borra de café. Los resultados para borra de café en modo lotes resultaron en cero

Además de dar seguimiento al porcentaje de degradación, se siguió el efecto del pH y de la conductividad eléctrica, el comportamiento se puede ver en la Figura 3.

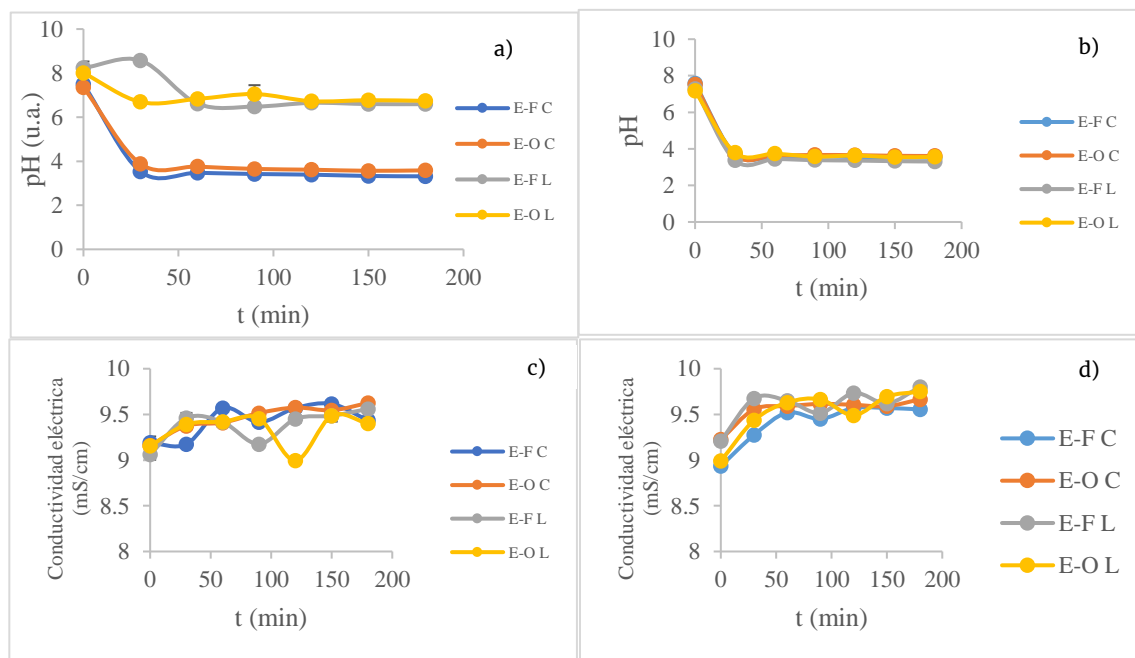


Figura 9. Comparativo pH (a y b) y conductividad eléctrica (c y d), durante el proceso de Electro-Fenton y Electro-oxidación en modo continuo (E-F C y E-O C), y por lotes (E-F L y E-O L), en filtro empacado de: carbón activado de cáscara de naranja (a y c), borra de café (b y d)

Se observa en la Figura 3, que en el filtro empacado con cáscara de naranja el pH sufre un cambio con respecto al proceso, lo que se relaciona con lo observado en la Figura 2, donde se vio que el proceso continuo presentó una mayor degradación; al comparar el comportamiento del pH entre ambos procesos se observa que el proceso continuo, que obedece a la recirculación del sistema durante dos horas, resultó en una disminución de pH a partir de 30 minutos, que se asocia al proceso electroquímico, en el que la dirección del flujo va hacia el ánodo, que por la reacción de oxidación se relaciona con la formación de un frente ácido; además de ello, el carbón activado puede liberar protones, puesto que fue previamente activado con ácido fosfórico (Tovar et al. 2019; Robles et al. 2020b). Se sabe de la literatura que un pH cercano a 3 ofrece mejores eficiencias del sistema electroquímico, pues el pH ácido facilita la transferencia de iones (Ameta and Ameta 2018). El mismo efecto se observó en el carbón activado de borra de café seguramente por una mayor facilidad para liberar protones al medio, dado por la previa activación química.

Por su parte, el proceso por lotes, mantiene constante el pH en un valor cercano a 4, con lo que se corrobora lo reportado por García y Robles (García-Espinoza et al. 2019; Robles et al. 2020c), que proponen que la inversión de flujo y polaridad ocasionan que los iones, tanto de hierro como los protones, se mantengan dentro del sistema. Sin embargo, aún así, no se logró una eficiencia elevada, lo que puede atribuirse al tiempo de tratamiento en primera instancia a la pendiente ligeramente creciente.

Con respecto a la conductividad, no se observó diferencia significativa, el ligero incremento se asocia a las reacciones electroquímicas que se dan en el sistema electroquímico (Bañuelos et al. 2015), que facilitan la transferencia de electrones. Sin embargo, se aprecia que existe una variación en el comportamiento del carbón activado de cáscara de naranja, Figura 3c, lo que sugiere una mayor actividad de iones en el sistema.

Posteriormente, se utilizó un análisis estadístico, realizado mediante el Software Statgraphics VII, con objeto de entender el efecto de los factores en el proceso.

La tabla 2 presenta el análisis de varianza, para el que se consideró un nivel de confianza del 95%. Como se puede apreciar, únicamente el factor A (proceso) tiene influencia, lo que se corrobora en el Diagrama de Pareto (ver Figura 4) para un efecto estandarizado de 2.2, calculado a partir del Software. Estas dos pruebas indican que el factor proceso influye en la eficiencia de degradación, mientras que los factores B y C, al no presentar diferencia significativa no influyen directamente en la eficiencia del proceso lo que se vio en la Figura 2.

Tabla 2. Análisis de Varianza del proceso de degradación de colorante, a un nivel de confianza de 95%

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
A:Proceso	3789.63	1	3789.63	126.56	0.0000
B:Fe	119.684	1	119.684	4.00	0.0857
C:Tipo CA	143.88	1	143.88	4.81	0.0645
AB	16.851	1	16.851	0.56	0.4776
AC	48.0249	1	48.0249	1.60	0.2459
BC	38.9376	1	38.9376	1.30	0.2917
ABC	0.046225	1	0.046225	0.00	0.9698

Tabla 2. Análisis de Varianza del proceso de degradación de colorante, a un nivel de confianza de 95% (Continuación)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Bloques	6.3001	1	6.3001	0.21	0.6604
Error total	209.604	7	29.9435		
Total (corr.)	4372.96	15			
R cuadrada		95.2%			
Error absoluto medio		2.72			

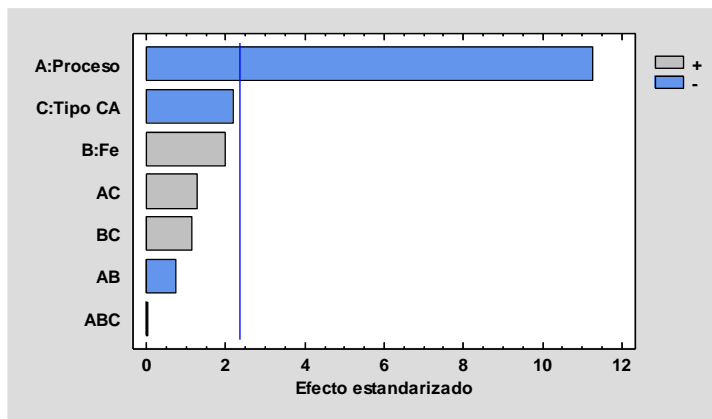


Figura 4. Diagrama de Pareto del proceso de degradación

Por otro lado, la Figura 5, muestra el comportamiento de la degradación, para el carbón activado, que fue el que presentó una pendiente más pronunciada, comparada con el carbón activado de café, lo que se asocia a que en esta región hay un máximo y por lo tanto una mayor degradación.

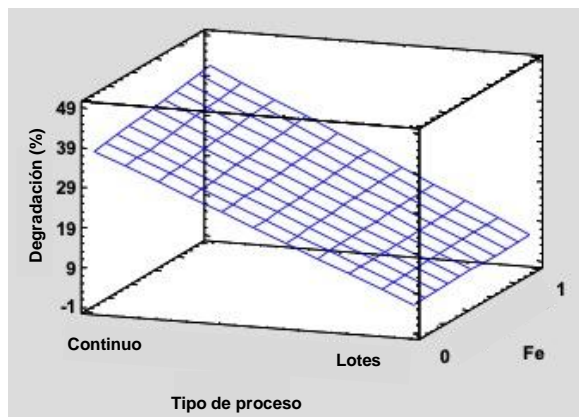


Figura 5. Diagrama de superficie de respuesta del proceso de degradación, para el Carbón activado de cáscara de naranja

4. Conclusiones

En este trabajo de investigación se comparó el efecto de un proceso Fenton y electro-oxidación, en modo continuo y por lotes, con lo que se estudió su efecto en un filtro empacado de carbón activado de cáscara de naranja o de borra de café. Los estudios experimentales corroboraron el análisis estadístico mediante un diseño factorial 2³.

Se pudo observar que el carbón de cáscara de naranja resultó en una mejor degradación en comparación con el de borra de café, este comportamiento se asocia a una mayor transferencia de iones dado por una mayor conductividad en este material. El proceso electro-oxidación (ausencia de hierro) en modo continuo presentaron una eficiencia mayor en la degradación del contaminante modelo.

El análisis estadístico permitió calcular los efectos estadísticos que destacan a los factores que influyen en el proceso.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CIDETEQ por las facilidades, también agradecen el financiamiento otorgado por el Proyecto 285309, Ciencia Básica, CONACYT CB-2016-01. Nancy Vásquez agradece al CONACYT por la beca de maestría otorgada también por CONACYT.

Referencias bibliográficas

Ameta SC, Ameta R (2018) Advanced oxidation processes for wastewater treatment: Emerging green chemical technology

Areir M, Xu Y, Zhang R, et al (2017) A study of 3D printed active carbon electrode for the manufacture of electric double-layer capacitors. *J Manuf Process* 25:351–356. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.12.020>

Bañuelos JA, García-Rodríguez O, Rodríguez-Valadez FJ, Godínez LA (2015) Electrochemically Prepared Iron-Modified Activated Carbon Electrodes for Their Application in Electro-Fenton and Photoelectro-Fenton Processes. *J Electrochem Soc* 162:E154–E159. <https://doi.org/10.1149/2.0581509jes>

Barragan B, Tellez-Díaz A, Laguna-Trinidad A (2008) UTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES. *Rev Sist Ambient* 2:44–50

Fernández D, Robles I, Rodríguez-Valadez FJ, Godínez LA (2018) Novel arrangement for an electro-Fenton reactor that does not require addition of iron, acid and a final neutralization stage. Towards the development of a cost-effective technology for the treatment of wastewater.

García-Espinoza JD, Robles I, Gil V, et al (2019) Electrochemical degradation of triclosan in aqueous solution. A study of the performance of an electro-Fenton reactor. *J Environ Chem Eng* 7:. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103228>

Mejías-Brizuela N, Orozco-Guillen E, Hernández NG (2016) Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Rev Ciencias Ambient y Recur Nat* 2:27–41

Montgomery D (2004) Diseño y análisis de experimentos

Robles I, Becerra E, Barrios JA, et al (2020a) Inactivation of helminth eggs in an electro-Fenton reactor: Towards full electrochemical disinfection of human waste using activated carbon. *Chemosphere* 250:. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126260>

Robles I, Espejel-Ayala F, Velasco G, et al (2020b) A statistical approach to study the valorization process of spent coffee ground. *Biomass Convers Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00854-3>

Robles I, Moreno-Rubio G, García-Espinoza JD, et al (2020c) Study of polarized activated carbon filters as simultaneous adsorbent and 3D-type electrode materials for electro-Fenton reactors. *J Environ Chem Eng* 8:. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104414>

Tovar AK, Godínez LA, Espejel F, et al (2019) Optimization of the integral valorization process for orange peel waste using a design of experiments approach: Production of high-quality pectin and activated carbon. *Waste Manag* 85:202–213. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.029>

Vidal M V, Suarez AR, Barrios KM, Pérez JO (2018) Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Sci Tech* 23:411–419. <https://doi.org/10.22517/23447214.17031>

Comparación de las propiedades superficiales de dos carbones activados de origen agroindustrial con afinidad por moléculas de origen iónico opuesto

Alina Zairén Vela Carrillo¹, Rodrigo J. Martínez¹, Irma Robles Gutiérrez*¹.

¹ Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. (CIDETEQ), Parque Tecnológico Querétaro, 76703 Sanfandila, Pedro Escobedo, Querétaro, México.

E-mail: irobles@cideteq.mx

Resumen

Este trabajo se enfocó en estudiar las propiedades estructurales y adsorptivas de dos carbones activados que fueron obtenidos a partir de la valorización de dos distintos residuos agroindustriales. Se compararon dos materiales que presentaron afinidad por un colorante aniónico y el otro catiónico, así como sus propiedades de adsorción. Se empleó como materia prima residuo cítrico (CR) y bagazo de caña (SB) para la elaboración de carbones activados. La relación C/O resultó en 0.8 para CR y 2.2 para SB, la proporción de grupos funcionales superficiales tuvo predominancia de grupos ácidos para SB y a grupos básicos para CR. El tiempo de equilibrio de SB fue cerca de las 4 horas, contrario a las más de 30 horas para CR. El carbón activado de CR presentó afinidad primordial por un colorante catiónico (23.35 mg/g, azul de metileno) y el carbón activado de SB por un colorante aniónico (32.71 mg/g, naranja de metilo). Esto sugiere que los materiales pueden ser empleados como materiales adsorbentes para contaminantes con determinadas características.

Palabras Clave: *adsorción, azul de metileno, carbón activado, naranja de metilo, residuos agroindustriales.*

1. Introducción

Los residuos agroindustriales son una fuente de materia orgánica que se puede aprovechar para disminuir el impacto ambiental negativo que producen. En México, la producción anual de la caña de azúcar es de 824 mil toneladas (CONADESUCA, 2017), la cual se aprovecha el 10 % y el resto es considerado residuo. Por otro lado, los residuos de cítricos son aprovechados en la producción de pectina, sin embargo, el residuo sólido es abundante y desechado.

Con mayor frecuencia, los residuos agroindustriales han sido empleados como composta (Hernández-Cázares et al., 2016) y bioenergéticos (Muñoz et al., 2013). En menor cantidad, se emplean como alimento para animales (Saval, 2012), fabricación de ladrillos o bloques (Mattey et al., 2015). Recientemente, estos residuos se han empleado como carbones activados u otros productos de interés con el fin de dar un valor agregado. Al ser residuos agroindustriales, el contenido de materia orgánica es alto con una proporción carbono/oxígeno que va desde 0.5 hasta 2 lo que facilita su transformación en carbón

activado, además, al ser considerados como residuos, el costo es bajo y con alta disponibilidad.

En los últimos 20 años ha aumentado el uso de carbones activados para adsorber contaminantes orgánicos e inorgánicos de manera indistinta (Carriazo et al., 2010), (Bastidas et al., 2010) y (Alberto et al., 2012), ya sea formando enlaces fuertes o débiles en los materiales adsorbentes. Para poder aprovechar de manera adecuada estos carbones, es necesario identificar la afinidad hacia cierto tipo de compuestos mediante el estudio de la química superficial. Para tal fin, se comparó la composición y química superficial de dos carbones activados derivados de bagazo de caña y residuos de cítricos con el objetivo de comparar su afinidad a dos colorantes, aniónico y catiónico, y su potencial uso como material adsorbente.

2. Metodología

Se emplearon 2 residuos agroindustriales: bagazo de caña (SB) sin incluir cáscara, y residuo cítrico (CR), éste último es residuo de una planta procesadora de cítricos para la extracción de pectina, ambos materiales se secaron en el horno Felisa FE-291D a 85 °C durante 24 h.

2.1 Preparación de carbones activados

El SB se trituró y se activó con ácido fosfórico (Karal) empleando una relación 2:1 (w precursor: w agente activante) (Tovar et al., 2019) y se carbonizó en el horno tubular Mini-mite thermo scientific a 300 °C durante 1 h (Giraldo et al., 2020). Por otro lado, el CR no se activó con ácido fosfórico ya que se asume que el proceso de extracción implicó una activación del material, se carbonizó a 600 °C durante 1 h en atmósfera de nitrógeno (Sánchez Martínez Betsy- Sali, 2021).

2.2 Caracterización estructural y química de los carbones activados

Los carbones activados de bagazo de caña (SB) y carbón activado de residuo cítrico (CR) se caracterizaron estructural y químicamente por medio de las siguientes técnicas. La morfología de los materiales se observó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) empleando el instrumento Jeol, JSM-6510LV a 15 keV, acoplado a un detector Buker XFlash 6110 para la composición superficial elemental mediante espectroscopia dispersiva de rayos-X (EDS). Los grupos superficiales se identificaron mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) utilizando el equipo Spectrum Two de Perkin Elmer, módulo UATR, con una ventana de 4000 a 400 cm^{-1} con 50 barridos por muestra.

Los grupos superficiales oxigenados ácidos y básicos se cuantificaron utilizando las metodologías descritas por Oickle et al. (2009) y Fulazzaky (2019); 20 mg de carbón activado se pusieron en contacto con HCl, NaHCO_3 , Na_2CO_3 y NaOH 0.1 M durante 24 h y 120 h; y luego, las soluciones resultantes se titularon con las correspondientes soluciones

de HCl y NaOH. El pH de punto de carga cero (PZC) se determinó mediante la metodología definida por Adan- Mas (2021). Se equilibró una muestra de carbón de 10 mg durante 48 horas con 50 mL de agua a diferentes valores de pH inicial (3-11) y se midió el pH de equilibrio final. La intersección con el eje x del gráfico pH inicial vs pH final corresponde al PZC.

2.3 Experimentos de adsorción

Los carbones activados se trituraron para homogeneizar el tamaño de partícula menores a 300 μm . Los experimentos se realizaron por duplicado y en lotes empleando frascos de vidrio de 25 mL, se utilizaron 2 g/L (carbón/colorante) con una concentración inicial del contaminante modelo de 75 mg/L. Las muestras se mantuvieron a 25 ± 1 °C en agitación constante a 170 rpm en una incubadora Biobase BJPX-103B durante 48 horas; para obtener la capacidad de adsorción en función del tiempo de contacto, se tomaron muestras entre la hora 0 y la hora 48. Se ajustó el pH de los colorantes antes del contacto con el carbón a 3 (naranja de metilo) y 12 (azul de metileno), y se midieron los pHs tras finalizar el experimento.

Las concentraciones de los colorantes modelo se midieron usando un espectrofotómetro UV-Visible Thermo Scientific Genesis G10S, a 466 nm para el naranja de metilo (NM) ($y=0.0626x-0.0030$) y 664 nm para el azul de metileno (AM) ($y=0.1836x-0.0002$). La capacidad de adsorción en equilibrio q_e (mg/g) se calculó a través de la **Ecuación 1**.

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} V \quad (1)$$

Dónde C_0 es la concentración inicial y C_e la concentración de equilibrio (mg/L), V es el volumen de solución (L) y m es la masa (g).

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de los carbones activados

A través de SEM fue posible determinar la naturaleza textural superficial del material obtenido. Se puede apreciar las partículas individuales de forma indefinida, así como irregularidades superficiales que originan mesoporos y microporos en la estructura carbonosa. Para cada micrografía se utilizó un aumento de 1000x. En la Figura 1a se muestra la micrografía del CR, una morfología uniforme con siluetas en espiral, dando una apariencia rugosa con poros abiertos, muy parecida a un arrecife de coral, en cambio el SB tiene una estructura filamentosa y laminar que concentran una topografía casi lisa generando algunos canales como se observa en la Figura 1b.

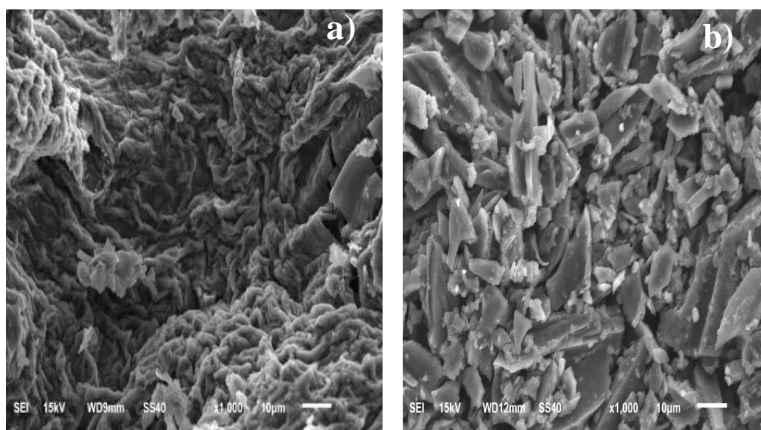


Figura 1. Micrografías de carbones activados de residuos agroindustriales de a) residuo cítrico CR y b) bagazo de caña SB

Respecto a la identificación de enlaces vibracionales mediante FTIR, se identificaron los grupos funcionales presentes en los carbones activados para cada carbón activado. Las señales de Transmitancia (%), se identificaron en las muestras a diferentes intensidades, como se muestra en la Figura 2. Se identificaron las señales en las bandas de absorción a los 3400 cm^{-1} (oxidrilos), $2910\text{--}2903\text{ cm}^{-1}$ (estiramientos por enlaces C-H), con flexiones en 1380 cm^{-1} presentes en la celulosa y hemicelulosa, $3400\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ atribuido a fenoles, 1763 cm^{-1} a los grupos C=O y finalmente 1050 cm^{-1} característico de los grupos C-O; lo que muestra presencia de compuestos aromáticos, carbonílicos, fenólicos, alifáticos, cetonas, dióxido de carbono y estructuras polisacáridos. Las marcas que coinciden en los espectros se atribuyen a las características específicas de los compuestos en las biomazas como la lignina, entre ellos el pico en los 3400 , 1750 , 1600 y 1050 cm^{-1} (Villa, 2014). Es posible observar que la intensidad en las señales se ve disminuida en el carbón activado obtenido a una mayor temperatura (CR), lo que se asocia a la pérdida de grupos por el proceso de carbonización.

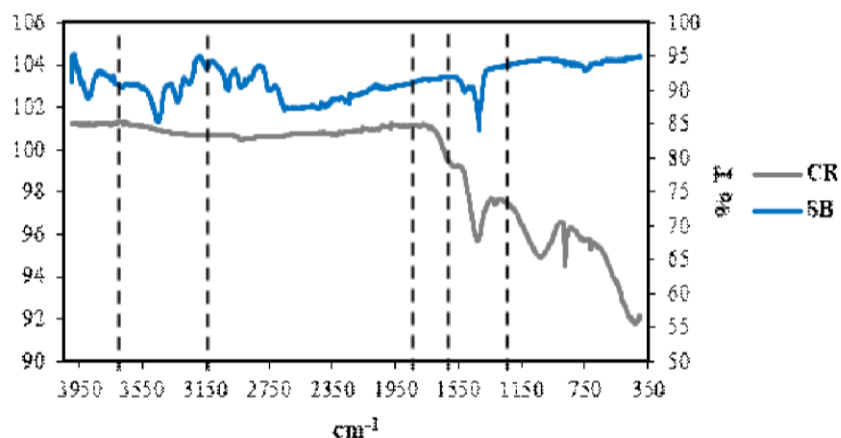


Figura 2. Espectros de FTIR de carbones activados de CR Y SB

La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización química de los carbones activados, resalta el valor del pH PCZ del SB de 1.97, que se puede explicar debido a la predominancia de grupos superficiales oxigenados ácidos cuantificados mediante titulación Boehm y con las señales observadas en IR se puede asumir que tiene ácidos carboxílicos que confieren la acidez al carbón. Por el contrario, el CR tiene una mayor cantidad de grupos superficiales oxigenados básicos que se cuantificaron por Boehm y las señales identificadas en el IR son de grupos carbonilos o quinonas, obteniendo un carbón activado que predomina la basicidad con un pH de PCZ de 8.5.

Mediante EDS se conoce la composición elemental de la muestra y con ella se calcula una importante relación que es C/O debido a que si éste tiene en abundancia oxígeno favorecerá el desarrollo de una rica química superficial. Los carbones de origen agroindustrial tienen una mayor relación de C/O que otros carbones activados obteniendo una mayor eficiencia de adsorción (Álvarez Merino et al., 2014; Rufford et al., 1999).

Tabla 1. Caracterización química de los carbones activados

Muestra	Composición elemental (%)	Relación C/O (%)	Titulación Boehm		PZC (u.a.)
			Grupos ácidos (meq/g)	Grupos básicos (meq/g)	
SB	P= 18.74, S= 0, C= 52.96 y O=26.17	2.02	1.54 ± 0.085	1.12 ± 0.108	1.97 ± 0.007
CR	P= 3.08, S= 1.22, C= 30.35 y O= 37.91	0.8	1.1 ± 0.101	1.26 ± 0.097	8.50 ± 0.071

3.2 Experimento de adsorción

Se evaluaron los carbones activados en el proceso de adsorción con dos colorantes modelo; uno aniónico, naranja de metilo, empleando un pH inicial 3 y otro colorante catiónico, azul de metileno, utilizando un pH inicial 12. Se llevó a cabo un estudio de adsorción con una concentración inicial de 75 mg/L tomando distintas muestras durante 48 horas.

La Figura 3a muestra la adsorción de naranja de metilo en función del tiempo. SB tuvo una rápida adsorción en las primeras 4 horas de estar en contacto con el colorante mientras que CR mostró los primeros indicios de adsorción al mismo tiempo (4 h). En el caso de SB, la diferencia en adsorción entre la hora 4 y la hora 48 fue menos de 4 %; se puede asumir que el equilibrio fue alcanzado cerca de la hora 4. Caso contrario, CR tuvo casi el doble de

adsorción entre la hora 4 y la hora 30. Esto puede sugerir que existe un proceso en la superficie de CR que retrase la adsorción de naranja de metilo sobre la superficie.

Por otra parte, ambos materiales tuvieron un comportamiento cinético similar en la adsorción de AM, mostrada en la Figura 3b. Se puede observar que SB alcanzó equilibrio a las 4 horas mientras que CR siguió adsorbiendo tras 48 horas de experimento. Es importante resaltar que SB a la hora 48 adsorbió más del 99.99 % de colorante, así, se podría pensar que SB tiene sitios para seguir adsorbiendo y CR tiene un limitado número de sitios.

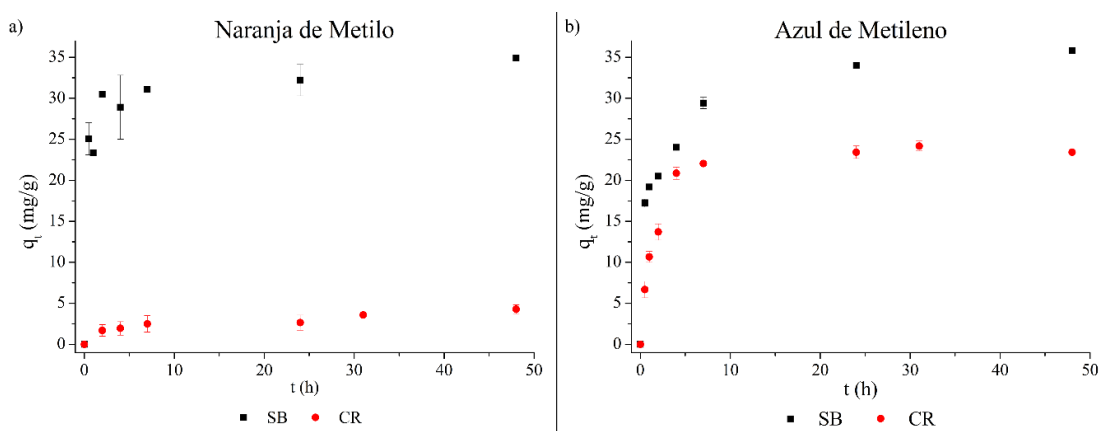


Figura 3. Gráficos de adsorción en función del tiempo de contacto de a) Naranja de metilo y b) Azul de metileno

Adicionalmente, se obtuvieron los datos de la Tabla 2 que muestra la capacidad de adsorción en el equilibrio. El CR al ser un material con un pH de PCZ 8.5 al término del experimento el pH de la solución aumentó 4.98 unidades y tuvo una baja capacidad de adsorción de 3.6 mg/g, que se puede deber a repulsión electrostática entre la superficie del carbón con la molécula aniónica de NM, ya que el pH final se encuentra cerca del PCZ. Asimismo, este carbón adsorbió 23.35 mg/g de colorante catiónico azul de metileno; debido a que el pH final estuvo por encima del PZC, la superficie presenta una mayor afinidad al tener una superficie predominantemente negativa.

El SB es un carbón con mayor cantidad grupos superficiales ácidos y un pH de PCZ 1.97. Es probable que algunos grupos superficiales estuvieran protonados lo que permitió la adsorción obteniendo una capacidad de adsorción del 32.71 mg/g con el NM. Asimismo, la alta capacidad de adsorber AM, 33.58 mg/g, a pesar de tener una superficie predominantemente positiva podría ser un indicativo de que posee una alta superficie expuesta, contrario a lo que podría suponerse de CR.

Tabla 2. Capacidad de adsorción de naranja de metilo y azul de metileno a diferentes pH, Co= 75 mg/L

Muestra	pH _i = 3		pH _i = 12	
	Naranja de metilo (mg/g)		Azul de metileno (mg/g)	
SB	32.71 ± 1.308	pH _f = 2.51	33.58 ± 1.919	pH _f = 2.62
CR	3.60 ± 0.327	pH _f = 7.98	23.35 ± 0.640	pH _f = 11.30

4. Conclusiones

Al comparar las propiedades de los carbones activados se observa que son totalmente opuestos, SB tiene una superficie mayormente ácida y presenta una gran afinidad por ambos tipos de colorante, aniónico y catiónico, ya que el material tiene mayor cantidad de sitios activos para llevar a cabo la adsorción. Las interacciones formadas en este proceso pueden suponerse que son enlaces débiles como puentes de hidrógeno e interacciones $\pi - \pi$, por ello su tiempo de equilibrio es muy rápido (Rosas-Castor et al., 2014), (Keiluweit & Kleber, 2009). Además, presenta características como rápidos tiempo de equilibrio y alta capacidad de adsorción que sugieren una mayor área superficial expuesta. Por estos motivos, el carbón activado proveniente del residuo de bagazo de caña tiene un potencial como material adsorbente para remover colorantes tanto catiónicos como aniónicos. Esta capacidad podría extrapolarse a moléculas orgánicas análogas.

Por otro lado, el CR tiene una superficie donde predomina la basicidad. Presentó mayor afinidad al colorante catiónico, azul de metileno, y su tiempo de equilibrio es menor comparado con SB, por otra parte, la poca adsorción del colorante aniónico se debe a la repulsión que existe entre el adsorbato y el adsorbente. Los resultados de este material sugieren que el residuo tras la extracción de pectina puede funcionar como adsorbente de ciertos colorantes catiónicos.

Debido a que el CR no tuvo un proceso de activación, es posible pensar que con un proceso similar al de SB se podrían obtener mejores resultados en el proceso de adsorción, y así, poder proponer un método para tratar el residuo de cítricos tras la extracción de pectina.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQU) por las facilidades de desarrollar la presente investigación. Alina Zairén Vela Carrillo y Rodrigo Javier Martínez Pérez. agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas de doctorado y posdoctorado, respectivamente. Asimismo, agradecen el financiamiento otorgado por el proyecto CB-2016-285309 titulado “Estudio cinético y termodinámico de adsorción y transferencia de carga durante la reacción de reducción de oxígeno (RRO) en materiales carbonosos obtenidos a partir de residuos agroindustriales”.

Referencias bibliográficas

- Adan-Mas, A., Alcaraz, L., Arévalo-Cid, P., López-Gómez, F. A., & Montemor, F. (2021). Coffee-derived activated carbon from second biowaste for supercapacitor applications. *Waste Management*, 120, 280–289. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.043>
- Alberto, J., Carmina, R., Carmen, M., Solís-fuentes, J. A., Morales-téllez, M., Ayala-tirado, R. C., & Durán-de-bazúa, M. C. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27(1), 36–48.
- Álvarez Merino, M. Á., Carasco Marin, F., & Maldonado Hódar, F. J. (2014). Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón. In *Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón*.
- Bastidas, M., Buelvas, L. M., Márquez, M. I., & Rodríguez, K. (2010). Activated carbon production from carbonaceous precursors of the Department of Cesar, Colombia. *Informacion Tecnologica*, 21(3), 87–96. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4289it.09>
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación Química*, 21(3), 224–229. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30087-9](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30087-9)
- CONADESUCA. (2017). 4to. Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación., 4. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/262747/Informe_Estad_stico_2017_Entidad_Federativa_101017.pdf
- Fulazzaky, M. A. (2019). Study of the dispersion and specific interactions affected by chemical functions of the granular activated carbons. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100230>
- Giraldo, S., Robles, I., Ramirez, A., Flórez, E., & Acelas, N. (2020). Mercury removal from wastewater using agroindustrial waste adsorbents. *SN Applied Sciences*, 2(6). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2736-x>
- Hernández-Cázares, A., Real-Luna, N., Delgado-Blancas, I., & Bautista-Hernández, JJ Velasco-Velasco, J. (2016). Residuos Agroindustriales Con Potencial De Compostaje. *Agroproductividad*, 9(8), 10–17.
- Keiluweit, M., & Kleber, M. (2009). Molecular-level interactions in soils and sediments: The role of aromatic π -systems. *Environmental Science and Technology*, 43(10), 3421–3429. <https://doi.org/10.1021/es8033044>
- Mattey, P. E., Robayo, R. A., Díaz, J. E., Delvasto, S., & Monzó, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2), 285–294.
- Muñoz, D., Cuatin, M., & Pantoja, A. (2013). Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico inferior. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 11(2), 156–163.
- Oickle, A. M., Tarasuk, A. C., Goertzen, S. L., The, K. D., & Andreas, H. A. (2009). Standardization of the Boehm titration . Part I . CO 2 expulsion and endpoint determination. *Carbon*, 48(4), 0–9. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2009.11.050>
- Rosas-Castor, J. M., Garza-González, M. T., García-Reyes, R. B., Soto-Regalado, E., Cerino-Córdova, F. J., García-González, A., & Loredó-Medrano, J. A. (2014). Methylene blue biosorption by pericarp of

corn, alfalfa, and agave bagasse wastes. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 35(9), 1077–1090. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.861022>

Rufford, T. E., Hulicova–Jurcakova, D., & Zhu, J. (1999). *Advances and Applications*. In *Life Sciences (Vol. 33)*.

Sánchez Martínez Betsy– Sali. (2021). ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE CARBONOS ACTIVADOS OBTENIDOS A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES. *Tecnológico de estudios superiores de san Felipe del progreso*.

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *REVISTA DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA A.C*, 16(2), 14–46. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/28/1/012002>

Tovar, A. K., Godínez, L. A., Espejel, F., Ramírez–Zamora, R. M., & Robles, I. (2019). Optimization of the integral valorization process for orange peel waste using a design of experiments approach: Production of high–quality pectin and activated carbon. *Waste Management*, 85, 202–213. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.029>

Villa, N. (2014). Producción de carbón activado a partir de la cáscara de frijol de soya para su aplicación como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con colorante verde de malaquita.

Encuentro de expertos en Residuos Sólidos

Residuos sólidos en el México actual

ISSN: 2395-8170, 2021, Vol 14, Num. 1



SOMERS
Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología
Aplicada a Residuos Sólidos A.C.