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



“Rumbo a la optimización de la gestión de residuos y la mejora de la eficiencia de los sistemas de reciclaje”

COMPILADORAS:

Beatriz Adriana Venegas Sahagún

Brenda Acevedo Juárez

Título de la obra: Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos

Subtítulo: Rumbo a la optimización de la gestión de residuos y la mejora de la eficiencia de los sistemas de reciclaje.

Compiladores: Beatriz Adriana Venegas Sahagún, Brenda Acevedo Juarez.

Diseño: Brenda Acevedo Juárez, Beatriz Adriana Venegas Sahagún, Himer Avila George, Emiliano Chavéz Ruíz, Diana Lizette Becerra Peña, Angélica Navarro Ávalos, Nelsi Elizabeth Hernández Delgado, Hugo Yonathan Tulais Reyes.

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

http://www.somers-ac.org

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

Información Legal
ENCUENTRO DE EXPERTOS EN RESIDUOS SOLIDOS, año 17, No. 1, Octubre 2023 - Octubre 2024, 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., Brenda Acevedo Juárez y Beatriz Adriana Venegas Sahagún, Periférico Norte N° 799, Núcleo Universitario Los Belenes, C.P. 45100, Zapopan, Jalisco, México. Fecha de última modificación, 29 de septiembre de 2024.
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 Científico

Mtro. Adolfo Israel Lomeli García, Universidad Tecnológica de León, México.
Dra. Alethia Vázquez Morillas, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
Dra. Ana Belem Piña Guzmán, Instituto Politécnico Nacional, México.
Dra. Arely Areanely Cruz Salas, Universidad Autónoma de Baja California, México.
Dra. Beatriz Adriana Venegas Sahagún, Universidad de Guadalajara, México.
Dra. Brenda Acevedo Juárez, Universidad de Guadalajara, México.
Dra. Diana Lizette Becerra Peña, Universidad de Guadalajara, México.
Dra. Dolores Elizabeth Turcott Cervantes, Sistema Integral de Aseo Público de León, México.
Dr. Fabián Robles Martínez, Instituto Politécnico Nacional, México.
Dr. Gerardo Bernache Pérez, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social Occidente, México.
Dra. Gloria Inés González López, Universidad Veracruzana, México.
Dr. Himer Avila George, Universidad de Guadalajara, México
Dra. Jeovana Arcelia Venegas Sahagún, Universidad de Guadalajara, México.
Dr. José Wilmer Runfola Medrano, Universidad de Los Andes, Venezuela.
Dr. Juan Alberto Gran Castro, Universidad de Guadalajara, México.
Dr. Juan Pablo Rivera Caicedo, Universidad Autónoma de Nayarit, México
Dra. Lorena De Medina Salas, Universidad Veracruzana, México.
Dra. María del Consuelo Hernández Berriel, TecNM-Instituto Tecnológico de Toluca, México.
Dra. María del Consuelo Mañón Salas, TecNM-Instituto Tecnológico de Toluca, México.
Dra. María Yolanda Leonor Ordaz Guillén, Instituto Politécnico Nacional, México.
Dra. Maribel Velasco Pérez, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
Dr. Miguel Ángel de la Torre Gómora, Universidad de Guadalajara, México
Dra. Nancy Merary Jiménez Martínez, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
Dra. Rosa María Espinosa Valdemar, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo, Universidad Autónoma de Baja California, México.
Dra. Sara Ojeda Benitez, Universidad Autónoma de Baja California, México.
Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Editorial

Los Residuos Sólidos se han vuelto un problema, dado el crecimiento poblacional continuo, la generación de residuos sólidos aumenta inevitablemente hasta el punto que traspasa fronteras por las externalidades negativas que conllevan esta problemática compleja y que lleva a una mala gestión de los mismos. En México, la gestión de Residuos Sólidos, entre ellos los clasificados como Peligrosos y de Manejo Especial, sigue siendo un reto para los tres niveles de gobierno y la sociedad. Sin embargo, la academia trabaja en investigaciones sobre los Residuos Sólidos para estudiar los problemas sociales y tecnológicos, hacer evidentes los impactos y riesgos medioambientales, así como proponer e implementar soluciones innovadoras en la gestión, en la educación medioambiental y tecnología para la gestión, la valorización y la generación de energía de los Residuos Sólidos.

La Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos se ha dado a la tarea de reunir a investigadores nacionales e internacionales, empresas y funcionarios en el evento Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos (ENERS). Esta reunión tiene como propósito actualizar los conocimientos y avances en las investigaciones, análisis y propuestas para lograr una gestión adecuada y eficiente en todas las etapas de la producción de Residuos Sólidos. Estas investigaciones involucran aspectos técnicos, sociales, ambientales, económicos y políticos. Promoviendo una visión para México y el mundo de tomar un *"Rumbo a la optimización de la gestión de residuos y la mejora de la eficiencia de los sistemas de reciclaje"*.

Este documento presenta 46 artículos de investigaciones actuales y que impactan en la nación, las cuales se clasificaron, para esta 12° edición del ENERS, en 11 áreas temáticas que representan un aspecto crucial en el campo de los residuos y presenta una discusión y análisis de las investigaciones más actuales en torno a la problemática de Residuos Sólidos. Esperamos que esta publicación llegue a los actores involucrados en la problemática presentada.

Dra. Beatriz Adriana Venegas Sahagún
Dra. Brenda Acevedo Juárez
Universidad de Guadalajara

Tabla de Contenido

Comité Científico II

Editorial III

I Rellenos sanitarios-vertederos 1

1 Emisiones de metano generadas por la disposición de papel archivo en dos sitios de disposición final en el Estado de México 2

2 Generación y composición de residuos domiciliarios en la CDMX: prueba piloto en la alcaldía Azcapotzalco 10

3 ¿Cómo transformar la basura a Parques? Experiencia del ex basurero La Reserva . . . 22

4 Los sitios de disposición final de residuos en municipios de la Cuenca Alta del Rio Santiago Jalisco 35

5 Desarrollo de una Herramienta de Análisis de Incendios en Sitios de Disposición Final en el Estado de Chihuahua: Revisión de Imágenes Satelitales y Bibliografía Disponible 47

6 Índices de contaminación de los lixiviados del relleno sanitario de Tenango del Valle, México 61

II Caracterización de residuos 73

7 Caracterización elemental, proximal y térmica de biosólidos y biomasas lignocelulósicas para la obtención de biocarbonos 74

8 Generación y composición de los residuos sólidos urbanos del Municipio de Huatusco, Veracruz 88

9 Hacia cero plásticos de un solo uso en el Instituto Tecnológico de Toluca 103

III Tratamiento y valorización de residuos 118

10 Complemento alimenticio canino a base de residuos cárnicos y vegetales 119

11 Degradación de pañales de rechazo infantiles en una planta de composta 134

12 Transformando residuos urbanos en nutrientes para cultivos del campo experimental del Centro Universitario del Sur 147

13 Evaluación fisicoquímica de los bioprocesos de composteo y biosecado con residuos agroindustriales (bagazo de naranja) 156

14 Caracterización fisicoquímica y biológica de la composta producida en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco 170

15 Caracterización de residuos sólidos dentro de una institución educativa de nivel medio superior 178

16 Lombricomposteo de los residuos orgánicos de la cafetería gourmet de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco 192

17 Aprovechamiento de los residuos generados en el mantenimiento de extintores de polvo químico seco 204

18 Reciclaje en la colonia San José Río Verde en Guadalajara, Jalisco, México como actividad económica sustentable 215

IV Gestión y política medio ambiental 235

19 Fomento para la prevención y valorización de residuos sólidos urbanos 236

20 La incorporación del tema de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en las políticas municipales mexicanas de mitigación al cambio climático 252

21 Modelo de Manual de Cumplimiento Legal para Rellenos Sanitarios en México: Caso de Estudio en Poza Rica de Hidalgo Veracruz 265

22 Beneficios de la certificación ISO 14001:2015 en la Gestión Ambiental del Instituto Tecnológico de Toluca 282

V Impacto y riesgo medioambiental 297

23 Variación estacional de residuos sólidos en playas de Acapulco: impactos del turismo y fenómenos meteorológicos 298

24 Determinación del área de afectación por residuos sólidos mediante imágenes satelitales; caso Polotitlán, Estado de México 313

25 Los residuos de insecticidas y su incidencia en la producción de miel en la Subcuenca Río Tecolutla Veracruz 326

VI Sociedad y gobierno 339

26 Panamá: Hacia una economía circular con un enfoque empresarial sostenible 340

27 Prácticas de la basura en Guaymas y San Carlos Sonora México 354

28 Análisis de la sustentabilidad de las rutas óptimas de recolección de residuos electrónicos en el municipio de León 367

29 Participación ciudadana en el Reciclatrón de la Ciudad de México 377

VII Tecnologías para el manejo de residuos sólidos 390

30 Análisis de ciclo de vida del tratamiento y disposición de los residuos sólidos urbanos en Valle de Bravo México 391

VIII Educación medioambiental 400

31 Percepción de residuos sólidos en un centro educativo superior en periodo de pandemia401

32 Colores de Responsabilidad: intervención en Educación Ambiental no formal para el manejo de residuos sólidos urbanos 415

33 Análisis de la generación, composición y separación de residuos sólidos urbanos en una institución de educación superior 430

34 Una educación ambiental situada para la gestión integral de residuos 442

IX Microplásticos 455

35 Caracterización de residuos plásticos en la composta de la UAM Azcapotzalco 456

36 Análisis de la presencia de microplásticos y mesoplásticos en tres playas de Costa Esmeralda, Veracruz 466

37 Análisis de la presencia de microplásticos en dos zonas de playa de Nuevo Vallarta Nayarit 478

38 Metodología para el estudio de microplásticos en aire exterior 492

39 Ocurrencia y distribución de microplásticos atmosféricos en Gutiérrez Zamora Veracruz504

40 Presencia de residuos plásticos en sedimentos de una laguna costera en Salina Cruz, Oaxaca 518

41 Presencia de cobre como contaminante en microplásticos sometidos a condiciones marinas simuladas 527

X Geociencia y percepción remota 537

42 Monitoreo de cultivos de Agave tequilana Weber variedad azul usando técnicas de percepción remota y procesamiento de imágenes del satélite Sentinel-2 538

43 Estimación de variables agrícolas mediante la combinación de métodos Geofísicos e imágenes satelitales 550

44 Doce Años del Capítulo IEEE de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota Sección Guadalajara: Un Análisis de su Trayectoria y Contribuciones 562

45 Estudio sobre la relación entre variables climatológicas y cobertura de nubes: Efectos en el cambio climático en la cuenca Amazónica de Bolivia 579

46 Estimación de la concentración de clorofila en hojas de arce a través de un enfoque de aprendizaje automático 597

Parte I

Rellenos sanitarios-vertederos

Emisiones de metano generadas por la disposición de papel archivo en dos sitios de disposición final en el Estado de México

Ana Yatzín Castañeda Díaz, María del Consuelo Hernández Berriel*, Gisela Inés Hernández Contreras, Fredy Cuellar Robles, María del Carmen Carreño de León

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av Tecnológico 100-s/n, Agrícola, C.P. 52149, Metepec, Estado de Méx., México.

*Correo electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen

El papel está elaborado con fibras de celulosa obtenida de árboles y es potencialmente reciclable, sin embargo, al terminar su vida útil es mezclado con otros residuos convirtiéndose en "basura" que es destinada a algún sitio de disposición final. En estos lugares se lleva a cabo el proceso de descomposición que genera biogás, que puede requerir más de 30 años para su estabilización. El objetivo de este trabajo fue estimar las emisiones de metano generadas por el papel archivo en un relleno sanitario y en un sitio no controlado (tiradero a cielo abierto) en el Estado de México. Para ello, se realizó investigación documental en reportes de instituciones gubernamentales; se estimaron las emisiones de metano empleando el Modelo Mexicano de Biogás V 2.0, considerando la disposición inicial de papel archivo usado como el 15.5% (947,008 t/año) de la generación total de residuos sólidos urbanos en el Estado de México (6,109,735 t/año); se compararon las emisiones de metano generadas por los sitios mencionados y se elaboraron propuestas de mejora desde la perspectiva de la prevención y de la rehabilitación. El punto máximo de generaciones estimadas para ambos sitios fue en el año 2051 con emisiones de CH_4 de 180,514,962 m^3/año y 134,784,505 m^3/año para el relleno sanitario y el sitio no controlado, respectivamente. Comparando las emisiones bajo las consideraciones establecidas, el relleno sanitario liberaría idealmente a la atmósfera solo el 6.7% de lo que emite el sitio no controlado debido al quemado del biogás en pozos de venteo.

Palabras clave: *Emisiones de metano*, *papel archivo*, *reciclaje de papel*, *residuo de manejo especial*, *sitios de disposición final*.

1. Introducción

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es un desafío ambiental a nivel mundial y México no es la excepción. En particular, el Estado de México es una de las entidades más pobladas y urbanizadas del país, que enfrenta serios retos en la disposición de residuos, entre ellos el papel ar-

chivo usado (Berrios Luzarazu, 2016). La producción de papel y cartón en el mundo en 2023 fue de 416 millones de toneladas (Solunion, 2024). Existen 35 diferentes tipos de papel que cuentan con diferentes características como brillo, blancura, densidad, gramaje, humedad relativa, opacidad, durabilidad y porosidad, entre otras (Usandizaga, 2024).

La materia prima para la producción de papel es la fibra de celulosa que se encuentra en los tejidos de las plantas, principalmente de los bosques. La industria del papel está situada dentro de las que más recursos consumen; para fabricar una tonelada de papel se requiere en promedio 2400 kg de madera, que representan 17 árboles adultos, y entre 150000 a 200000 L de agua (INEGI, 2021). Todos los procesos asociados a la producción, distribución y consumo de papel generan contaminación del suelo, del agua y del aire (Fuentes y León 2012).

Implementar estrategias efectivas para evitar que este residuo llegue a algún sitio de disposición final (SDF) es preponderante, ya que tiene la capacidad de reciclarse al 100 % entre 3 y 7 veces (Pochteca, 2019). La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reportó en 2016 que se reciclaban en el país 4.9 millones de toneladas de papel, lo que cubría el 88 % de las necesidades de fibra del sector de la industria de la celulosa y del papel (SEMARNAT, 2016). El reciclaje de los residuos de papel y cartón ayudaría a mitigar el impacto ambiental, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y al mejoramiento de la calidad del aire, beneficiando tanto al ambiente como a las comunidades.

Entre los tipos de papel, el denominado papel archivo es mayormente usado en oficinas y centros educativos. Según la NOM-161-SEMARNAT-2011, un residuo es considerado de manejo especial (RME) si su generación excede 10 t/año (DOF 2013). Cuando el papel archivo no es gestionado como un RME, es enviado como parte de los RSU a algún SDF, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero del sitio, especialmente metano (CH_4) (Berríos Luzarazu, 2016).

Lo anterior motivó este trabajo, el cual tuvo por objetivo estimar las emisiones de CH_4 generadas por el papel archivo en un relleno sanitario (RESA) y en un sitio no controlado (SNC o tiradero a cielo abierto) en el Estado de México, mediante el uso del Modelo Mexicano de Biogás (MMB), herramienta desarrollada por SCS Engineers para la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (USEPA) (Stege et al., 2009).

2. Metodología

Se consideraron cuatro etapas para el desarrollo de este trabajo, las cuales se muestran en la Figura 1 y se describen en las siguientes subsecciones.

2.1. Investigación documental

Consistió en la búsqueda en fuentes oficiales como el Diario Oficial de la Federación (DOF), revistas, universidades e instituciones gubernamentales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la SEMARNAT, entre otros, para obtener datos de la generación y composi-

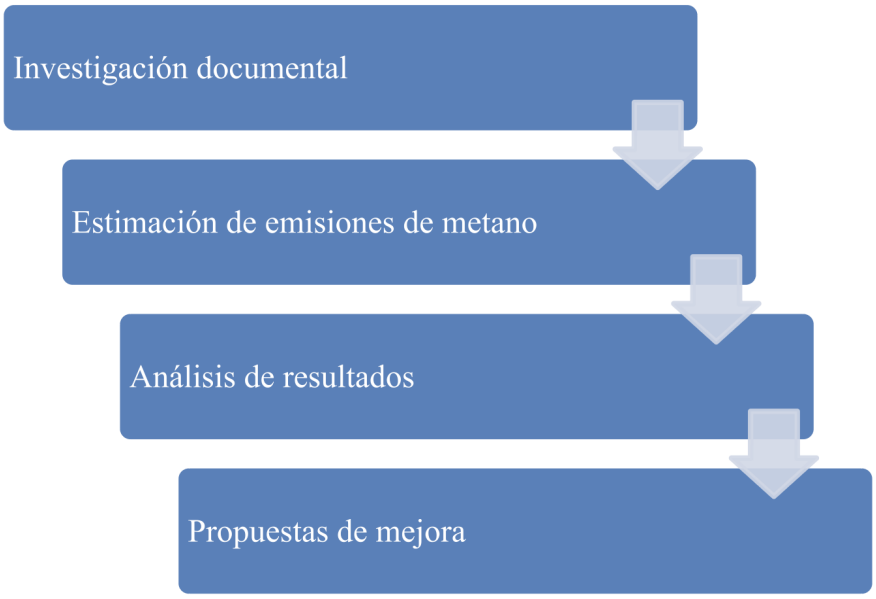


Figura 1: Etapas para la estimación de la generación de metano a partir de papel archivo.

ción de los RSU en el Estado de México con el fin de determinar la cantidad de papel archivo no reciclado que se deposita junto con otros subproductos en SDF.

2.2. Estimación de emisiones de metano

Para la estimación de emisiones de CH_4, se consideraron dos escenarios para la disposición de papel archivo: RESA y SNC. Para ambos sitios se estableció como año de inicio 2020 y año de clausura 2050, con un incremento anual del 2.0 % en la cantidad de residuos que reciben, simulando su operación mediante MMB hasta el 2070. Como se seleccionó la entidad federativa Estado de México, el modelo automáticamente utiliza los datos de la región “Centro/Interior 3”. En la Tabla 1, se enlistan las consideraciones para cada tipo de sitio cargadas en la hoja denominada “Alimentación". En la tercera hoja “Caracterización de residuos”, se colocó 100 % en la categoría de residuo "Papel y Cartón”. Como el software MMB reporta la generación en m^3/h de biogás, con la consideración del 50 % de CH_4, los resultados tanto de tablas como graficados se dividieron entre dos para las emisiones de este gas.

Tabla 1: Datos para el Modelo Mexicano de biogás para el relleno sanitario

Variable de alimentación del MMB	**RESA**	**SNC**
Nombre del Sitio	NA	NA
Ciudad	NA	NA
Estado	Estado de México	Estado de México
Región	Centro/Interior	Centro/Interior

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Datos para el Modelo Mexicano de biogás para el relleno sanitario (*continuación*)

Variable de alimentación del MMB	**RESA**	**SNC**
Año de apertura del sitio	2020	2020
Año de clausura proyectado	2050	2050
Incremento anual estimado de la disposición	2.0%	2.0%
Profundidad promedio del relleno sanitario	20 m	5 m
Prácticas de diseño y manejo del relleno sanitario	2	1
¿Ha habido algún incendio en el relleno sanitario?	No	Sí
Si la respuesta es "Sí", indique el área del impacto en % del total	0%	20%
Año de arranque del sistema de captura (actual/estimado)	2020	2070
Porcentaje del área con residuos con sistema de captura	95%	0%
Porcentaje del área con residuos con cubierta final	100%	0%
Porcentaje del área con residuos con cubierta intermedia	50%	0%
Porcentaje del área con residuos con cubierta diaria	0%	0%
Porcentaje del área con residuos sin cobertura	-50%	100%
Porcentaje del área con recubrimiento inferior de arcilla/geomembrana	100%	0%
¿Se compactan los residuos regularmente?	Sí	No
¿La disposición de residuos se hace en un área específica?	Sí	No
Existen afloramientos/brotes de lixiviado en la superficie del relleno	No	Sí
Si la respuesta es "Sí", ¿ocurre solo después de llover?	No	Sí
Eficiencia de captura estimada	95%	0%

2.3. Análisis de resultados

Se compararon los resultados de las emisiones en RESA y SNC con una proyección a 50 años para los residuos de papel archivo dispuestos inadecuadamente, utilizando la categoría de residuo "Papel y Cartón". Para el caso del RESA, se consideró el 95% de recuperación de biogás, por lo que al apartado de "Generación de biogás" se le restó el apartado de "Recuperación de las emisiones de gases" para determinar las cantidades que se emiten. Para el escenario de SNC, se tomaron solo los resultados de "Generación de biogás". Los valores obtenidos de biogás para ambos escenarios se consideran al 50% para reportarse como CH_4.

2.4. Propuesta de mejora

Una vez estimadas las emisiones de CH_4 en cada sitio, se propusieron estrategias para mitigar la generación desde dos vertientes: la perspectiva de prevención (INEGI, 2021) y el punto de vista de la remediación (Quevedo et al., 2022).

3. Resultados y discusión

La disposición de RSU es un componente crucial de la gestión ambiental en cualquier asentamiento poblacional, donde el adecuado manejo de estos residuos no solo es vital para la salud pública, sino también para la preservación del ambiente. Es imperativo conocer el impacto que genera cada uno de los componentes de los RSU que se disponen, como es el caso de los residuos de papel archivo.

3.1. Investigación documental

Según el "Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos", a nivel nacional en 2020 se produjeron 120,128 t/día de RSU, donde la entidad federativa que más aportó fue el Estado de México (16,739 t/día) debido a que tiene la mayor densidad poblacional (INEGI, 2021; SEMARNAT, 2020). El Estado de México cuenta con 71 SDF, los cuales reciben los RSU que producen los 16,992,418 habitantes de sus 125 municipios; además, cuenta con 17 centros de acopio que se encargan de la recolección de distintos materiales valorizables tales como vidrio, metales, papel, cartón y plásticos, entre otros, que pueden ser tratados para darles una segunda vida útil (Gobierno de México 2022). Según el Centro Mario Molina, en 2015 el 21.2 % de los residuos generados en el Estado de México fueron materiales valorizables con mercados consolidados (CMM 2015).

Debido a que se carece de información de las cantidades específicas de papel archivo que es dispuesto, así como de las cantidades que se reciclan en el Estado de México, para los fines de este trabajo se consideró que del total de la generación de RSU (16,739 t/día = 6,109,735 t/año), solo el 15.5 % es la cantidad de papel archivo que se dispuso en 2020 (947,009 t/año), dato con el que se alimentó al MMB para la estimación de biogás y CH_4 (SEMARNAT, 2020).

3.2. Estimación de emisiones de metano

Como se mencionó en el apartado 2.2, para el cálculo de las emisiones de biogás y CH_4, se utilizó el MMB simulando cada uno de los escenarios con las consideraciones que se enlistaron en la Tabla 1. Las principales diferencias entre el RESA y el SNC fueron la profundidad promedio del relleno sanitario (20 m vs. 5 m), las prácticas de diseño y manejo del relleno sanitario, las consideraciones sobre incendios, el sistema de captación de biogás y eficiencia (95 % vs. 0 %), cobertura de residuos, recubrimiento inferior de arcilla/geomembrana, compactación y disposición de residuos, afloramiento de lixiviados en la superficie.

En la Figura 2, se presentan las gráficas de las simulaciones para los escenarios RESA y SNC. Para el RESA se estimó una generación total acumulada de biogás de 10,895,703,909 m^3 y para el SNC de 8,135,458,919 m^3 para el año 2070, según la proyección propuesta a 50 años. Debido a que el biogás contiene 50 % de CH_4, se calculó para el RESA la generación acumulada de CH_4 de 5,447,851,954 m^3 y para el SNC de 4,067,729,459 m^3.

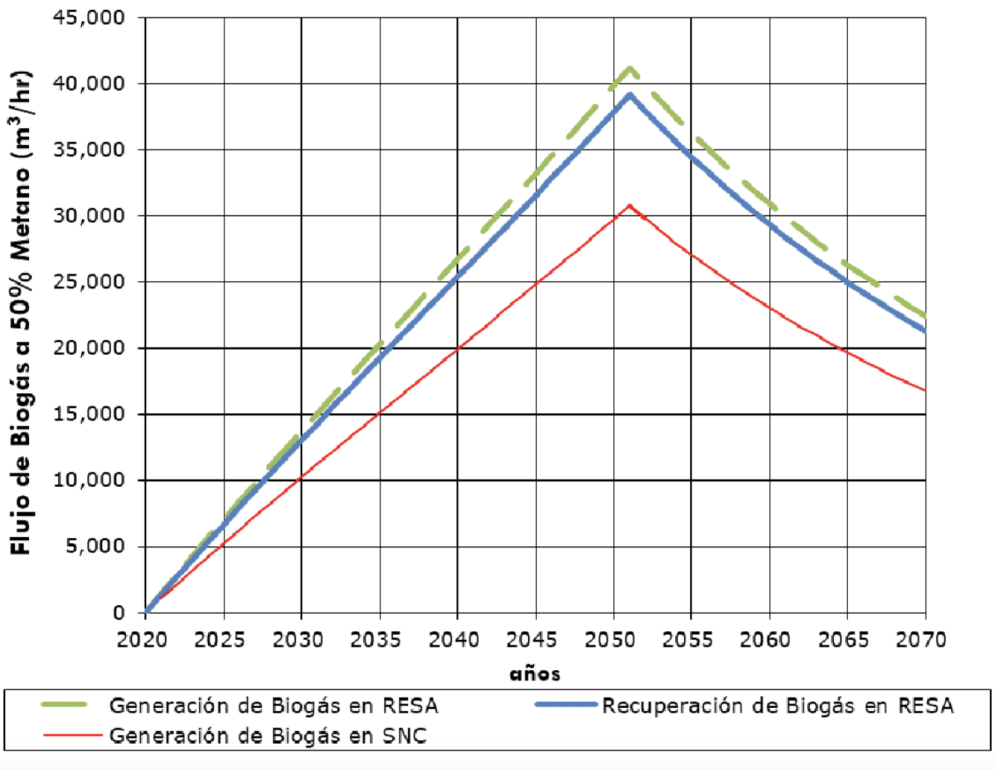


Figura 2: Proyecciones de generación y recuperación de biogás por disposición de papel archivo

3.3. Análisis de resultados

Los residuos de papel archivo presentaron el punto máximo de emisiones en el año 2051, generando en el caso del RESA 361,029,924 m^3/año de biogás, de los cuales 180,514,962 m^3/año corresponderían a CH_4. En el SNC se emitirían 269,569,010 m^3/año de biogás, de los cuales 134,784,505 m^3/año serían CH_4, solo de los residuos de papel que lleguen a estos sitios.

Debido a que se consideró el 95% de recuperación y quemado de biogás en el RESA (50% CH_4), las cantidades estimadas acumuladas totales de este gas que se emitirían a la atmósfera del 2020 al 2070 serían 272,392,598 m^3 para el RESA y 4,067,729,459 m^3 para el SNC. Comparando estas emisiones y conforme a las consideraciones mencionadas del quemado del CH_4, el RESA idealmente liberaría a la atmósfera solo el 6.7% de lo que emite el SNC.

3.4. Propuestas de mejora

Teniendo en cuenta las emisiones estimadas de CH_4 durante 50 años para ambos tipos de escenarios, es imperativo proponer alternativas para aminorar el impacto ambiental que traería consigo la disposición de residuos de papel archivo. Desde la perspectiva de la prevención, se recomienda fomentar la separación y el acopio del papel archivo usado para evitar que se disponga en RESA o, en el peor de los casos, en un SNC, lo que coadyuvaría a su reciclaje. Si se produce un paquete de

500 hojas recicladas, se estarían ahorrando 79.4 L de agua y 16.3 kw/h. Además, si se recicla una tonelada de papel, se estarían salvando entre 10 y 12 árboles adultos (INEGI, 2021).

En caso de que no se pueda evitar que el papel archivo llegue a algún SDF, que de preferencia debería ser un RESA, desde el punto de vista de la remediación se propone el aprovechamiento del CH_4 recuperado mediante un sistema de captación de biogás para la producción de energía eléctrica (Quevedo et al., 2022).

4. Conclusiones

El cuidado ambiental es responsabilidad de todos y es necesario tomar medidas para mitigar los daños al ambiente, especialmente por las emisiones de CH_4 a la atmósfera, que contribuyen significativamente al cambio climático.

La disposición de residuos de papel archivo bajo las condiciones de ambos escenarios evidenció que la emisión de CH_4 en un RESA es significativamente menor que en un SNC, corroborando la importancia del sistema de captación y quemado de biogás, así como que debe evitarse la disposición en SNC.

Es importante destacar la necesidad de que se incremente la cantidad de centros de acopio y mejorar la accesibilidad a estos para facilitar la entrega o venta de papel archivo, entre otros residuos reciclables.

Agradecimientos

En primer lugar, los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Toluca por las facilidades brindadas para la realización de este proyecto, así como al CONHACYT por la beca brindada para que la primera autora realice sus estudios en la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental.

Referencias bibliográficas

[1] Berrios Luzarazu, P. (2016). *Uso adecuado de hojas de papel para el cuidado del medio ambiente*. Ministerio de Obras Públicas Servicios y Vivienda Unidad Ejecutora de Titulación. Recuperado de https://titulacion.oopp.gob.bo/site/noticias/concientizacion.pdf

[2] Centro Mario Molina (CMM). (2015). *Estudio de valorización y aprovechamiento de residuos sólidos urbanos en el Estado de México*. Recuperado de https://valorsum.com/wp-content/uploads/2018/06/Producto-6-Plan-GIRSU_VFinal.pdf

[3] Diario Oficial de la Federación (DOF). (2013). *Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx

[4] Fuentes Medina, M., & León Nieto, C. (2012). *Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno*. Tesis, Universidad de Cartagena.

[5] Gobierno de México. (2022). *Atlas Nacional de Residuos Sólidos 2022*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/693803/125_2022_Atlas_Nacional_Residuos_Solidos.pdf

[6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Revista Eco Número 1*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/inegi/sma/doc/Revista_Eco1_2021.pdf

[7] Pochteca. (2019). *Reciclaje de papel en México*. Recuperado de https://tiendapapel.pochteca.com.mx/blog/reciclaje-de-papel-en-mexico.html

[8] Quevedo Mendoza, G. G., & Rodríguez Gámez, M. (2022). *Introducción de sistema de captura de biogás en el relleno sanitario de la ciudad de Portoviejo*. Revista Ingeniería Energética. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012022000200090&lng=es&tlng=e

[9] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*. Recuperado de https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD003864.pdf

[10] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). *Súmate al reciclaje*. Recuperado de https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sumate-al-reciclaje

[11] Solunion. (2024). *Sector papel en 2021: Cómo el papel y el cartón han vuelto a la normalidad*. Recuperado de https://www.solunion.mx/blog/sector-papel-en-2021-como-el-papel-y-el-carton-han-vuelto-a-la-normalidad-2/

[12] Stege, A., Davila, J., & SCS Engineers. (2009). *Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0*. Recuperado de https://www.globalmethane.org/documents/models/pdfs/manual_del_usuario_modelo_mexicano_de_biogas_v2_2009.pdf

[13] Usandizaga. (2024). *Tipos de papel principales tipos de papel y sus propiedades y utilidades*. Recuperado de https://www.usandizaga.com/design/tipos-de-papel/

Generación y composición de residuos domiciliarios en la CDMX: prueba piloto en la alcaldía Azcapotzalco

Alejandro Islas Maya, Leila María Sánchez Hernández, Juan Carlos Alvarez Zeferino, Arely Areanely Cruz Salas, Maribel Velasco Pérez, Rosa María Espinosa Valdemar, Sylvie J. Turpin Marion, Griselda González Cardoso, Perla Xochitl Sotelo Navarro, Itzel R. Jiménez Escamilla, Alethia Vázquez Morillas*

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 420. Col. Nueva El Rosario, Alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, CDMX, México.

*Correo electrónico: alethia@azc.uam.mx

Resumen

En la Ciudad de México, la gestión de más de 12300 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos representa un desafío importante. Para abordarlo, se realizó un estudio piloto en la colonia Pasteros, Azcapotzalco, con el objetivo de analizar la generación y composición de los residuos domiciliarios. La metodología se basó en la herramienta Waste Wise Cities y la norma NMX-AA-61-1985, adaptadas a la realidad local. Se contó con la colaboración de la Comisión de Participación Comunitaria para facilitar el acercamiento con la comunidad. Los resultados revelaron una generación per cápita promedio de 0.528 kg/hab/día, siendo los residuos orgánicos y sanitarios los más predominantes. La prueba piloto permitió validar la eficacia del material y equipo utilizado, así como identificar áreas de mejora en los formatos de encuesta. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y el desarrollo de políticas públicas más efectivas en el manejo de residuos en la Ciudad de México.

Palabras clave: *Muestreo domiciliario*, *residuos domiciliarios*, *subproductos*

1. Introducción

La Ciudad de México (CDMX) genera diariamente más de 12,300 toneladas de residuos sólidos, lo que plantea un desafío significativo para su gestión y manejo (SEDEMA, 2023). Dado el crecimiento poblacional continuo, la generación de residuos sólidos urbanos aumentará inevitablemente. Por lo tanto, es esencial encontrar soluciones que reduzcan los costos asociados con la transferencia y el manejo de residuos, especialmente considerando que los residuos domiciliarios representan el 48 % de la generación total, lo que equivale a aproximadamente 6,000 toneladas por día (SEDEMA, 2023).

Para abordar este problema de manera efectiva, es crucial contar con instrumentos que permitan analizar la situación actual de la ciudad con datos precisos y actualizados. Estos datos deben reflejar la complejidad de la generación de residuos, que varía según factores como la población, las condiciones socioeconómicas, los hábitos de consumo y las distintas actividades económicas que se llevan a cabo en la ciudad. A pesar de la relevancia de esta información, no se cuenta en la CDMX con un estudio de generación reciente a nivel domiciliario, y los datos de composición disponibles, obtenidos en estaciones de transferencia, fueron publicados en 2010 (SEDEMA, 2021).

En este contexto, se desarrolla en la CDMX en 2024 un estudio de generación y composición de residuos domiciliarios en las 16 alcaldías. Los residuos domiciliarios constituyen el 48 % de la generación de residuos sólidos urbanos en la ciudad (SEDEMA, 2021), a diferencia de lo reportado a nivel nacional, donde los hogares contribuyen con el 69 % (SEMARNAT). Si bien existen normas técnicas nacionales relacionadas con la medición de la generación domiciliaria y la clasificación en subproductos (SECOFI, 1985a; SECOFI, 1985b; SECOFI, 1985c), estas no están actualizadas. Debido a ello, se busca adaptarlas de manera que respondan a la realidad vigente en la CDMX. Para ello, se planteó una metodología de muestreo y caracterización, y se aplicó inicialmente en una prueba piloto desarrollada en una colonia de la alcaldía Azcapotzalco. En este artículo se describe el desarrollo de la prueba piloto y sus principales resultados.

2. Metodología

La prueba piloto se llevó a cabo del 20 al 29 de enero de 2024 en calles de la colonia Pasteros, alcaldía Azcapotzalco. La metodología de muestreo se definió a partir de la herramienta *Waste Wise Cities* (ONU-Habitat, 2021) para el análisis del manejo de los residuos sólidos en un contexto urbano y la norma NMX-AA-61-1985 (SECOFI, 1985c). Previo al muestreo, se llevó a cabo una reunión con la Comisión de Participación Comunitaria (COPACO), la cual tiene como función principal promover la participación de la comunidad en la toma de decisiones relacionadas con políticas públicas, programas y proyectos que involucren a su colonia (IECM, 2024). El objetivo de la reunión fue explicar el objetivo, metodología y desarrollo del estudio de generación de residuos domiciliarios y comunicarles el interés de llevarlo a cabo en su colonia. Adicionalmente, se solicitó su apoyo para el acompañamiento en el día de la invitación a la ciudadanía con el objetivo de generar acercamiento y confianza con la comunidad.

El sábado 20 de enero, los responsables del estudio visitaron aleatoriamente domicilios en las calles Jacarandas, Ciruelos, Pinos y Fresnos, invitando a los residentes a participar a través de una carta explicativa. A los participantes se les aplicó una encuesta verbal para recopilar información sobre sus hábitos de generación y manejo de residuos, así como datos socioeconómicos (Anexo 1). Se les proporcionaron bolsas de plástico para depositar sus residuos y se acordó un horario de recolección matutino. Al finalizar los recorridos, se obtuvo la participación de 28 domicilios de la colonia.

El lunes 22 de enero se realizó la primera recolección de bolsas con residuos a los domicilios participantes, con el objetivo de retirar los residuos acumulados que generaron en la vivienda los días anteriores; se proporcionó una bolsa más grande que las utilizadas posteriormente. A partir del martes 23 y hasta el lunes 29 de enero se realizó el estudio de generación, en el cual se recolectaron las bolsas con los residuos generados del día anterior de los domicilios participantes. Las bolsas se pesaron *in situ* en básculas comerciales digitales con capacidad de 40 kg y se registraron en el formato de registro de masa, en el que se describe la fecha, masa de la bolsa del día por domicilio y alguna observación (en caso de que existiera). Una vez anotado el registro de masa de las bolsas de todos los participantes del día, se procedió a entregarlas al camión de servicio de recolección de residuos, el cual realizaba el servicio todos los días en la colonia a través de un acuerdo previo.

La generación per cápita se realizó con la Ecuación 1. El grupo de trabajo decidió incluir en el cálculo de la generación per cápita a los domicilios que entregaron residuos durante al menos 5 días, al considerar que ello permitiría contar con un número de datos suficientes e incluir a los domicilios que mostraron regularidad, dado que en estudios previos se ha observado la dificultad de que todos los participantes entreguen residuos todos los días de duración del muestreo.

$$\begin{aligned}\text{Generación per cápita} = &\frac{\text{Día 1 (kg)} + \text{Día 2 (kg)} + \text{Día 3 (kg)} + \text{Día 4 (kg)}}{7\ \text{Días} \times \text{Número de habitantes}} \\ &+ \frac{\text{Día 5 (kg)} + \text{Día 6 (kg)} + \text{Día 7 (kg)}}{7\ \text{Días} \times \text{Número de habitantes}} \\ &= \frac{\text{kg}}{\text{Día} \times \text{Habitantes}}\end{aligned} \tag{1}$$

El viernes 26 de enero, los residuos recolectados se trasladaron a la UAM-Azcapotzalco para realizar la clasificación en subproductos con base en la NMX-AA-022-1985 (SECOFI 1985b). Los residuos se clasificaron en categorías, cada una compuesta por distintos subproductos. La lista de subproductos se amplió para incluir residuos de interés (Tabla 1). La muestra se extendió en una mesa para iniciar con la separación y clasificación de forma manual, para posteriormente depositar los residuos en bolsas de plástico transparente (previamente etiquetadas con el nombre de cada subproducto). Finalmente, cada una de las bolsas se pesó en una balanza granataria y se registró su masa. La Figura 1 ilustra el proceso de muestreo domiciliario.

Tabla 1: Categorías y subproductos cuantificados en la clasificación de residuos

Categoría	**Subproductos**
Vidrio	Envases de vidrio transparente, envases de vidrio de color, cerámica y losa, otros vidrios
Sanitarios	Sanitarios lignocelulósicos (servilletas y papel sanitario), sanitarios compuestos, pañales desechables, higiene femenina

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Categorías y subproductos cuantificados en la clasificación de residuos (*continuación*)

Categoría	**Subproductos**
Metales	Aluminio, latas de aluminio, otras latas, acero inoxidable, bronce, cobre, otros metales ferrosos
Textiles	Textiles en buen estado (no ropa), ropa en buen estado, relleno, trapo, tenis, zapatos, otros textiles
Residuos de manejo especial	Residuos de la construcción, residuos eléctricos y electrónicos, aceite de cocina
Residuos peligrosos	Sustancias químicas etiquetadas como peligrosas, residuos farmacéuticos, medicamentos, envases y residuos de pesticidas, envases presurizados, otros residuos potencialmente peligrosos
Varios	Cubrebocas, cera, pilas, colillas de cigarro, otros, finos



Figura 1: Entrega de bolsas con residuos por parte de los(as) participantes (A y B), registro de masa generado mediante una báscula (C), la muestra representativa (D) y la entrega de las bolsas al camión que brinda el servicio público de recolección de residuos (E).

3. Resultados y discusión

El estudio se inició con 28 domicilios participantes, de los cuales solo uno fue descartado por entregar su bolsa con residuos en cuatro o menos días (el número máximo de bolsas fue de siete). Los datos de los 27 domicilios restantes fueron considerados en el estudio. El promedio de la generación per cápita de la prueba piloto resultó de: 0.528 kg/hab/día. Este resultado, menor al reportado a nivel nacional de 0.65 kg/hab/día, podría atribuirse a las dinámicas de la población mayoritariamente urbana en la demarcación estudiada, dado que los integrantes de las familias en muchas ocasiones pasan una parte significativa del día fuera de sus hogares, trasladando de esta forma sus residuos a otros lugares. Dado que no se realizaron preguntas específicas sobre el tema en la encuesta, se requerirían estudios adicionales para confirmar esta hipótesis.

La muestra obtenida para la caracterización en subproductos, compuesta por el total de las bolsas recolectadas en un día, tuvo una masa de 55.448 kg. La clasificación de residuos de la muestra presentó la composición en categorías que se muestra en la Tabla 2. Se observa que la mayor generación corresponde a la fracción orgánica, seguida de los residuos sanitarios que incluyen pañales desechables y papel sanitario. Los subproductos que se presentaron en mayor proporción fueron los residuos de alimentos, seguidos de pañales desechables, papel sanitario y otros plásticos.

Tabla 2: Composición de residuos en categorías y subproductos

Categoría	Subproductos	% masa
Orgánicos	Residuos de alimentos	33.55
Orgánicos	Residuos de jardinería	2.95
Orgánicos	Otros orgánicos (heces, algodón, madera, etc.)	1.26
Plásticos	PET	2.31
Plásticos	Envases y tapas de plástico rígido	2.86
Plásticos	Unicel	0.64
Plásticos	Bolsas metalizadas	0.56
Plásticos	Bolsas de plásticos	2.50
Plásticos	Envolturas flexibles y películas plásticas	1.70
Plásticos	Otros plásticos	5.00
Papel y cartón	Papel de oficina y periódico	4.71
Papel y cartón	Cartón	4.09
Papel y cartón	Multicapas	0.94
Papel y cartón	Otros (papel estraza, papel de envolturas, post-its, etc.)	1.26
Vidrio	Envases de vidrio	4.55
Vidrio	Cerámica	0.00
Vidrio	Otros vidrios	1.97
Sanitarios	Papel sanitario	5.89
Sanitarios	Pañales desechables	9.27
Sanitarios	Higiene femenina	0.30

Continúa en la siguiente página

Tabla 2: Composición de residuos en categorías y subproductos (*continuación*)

Categoría	Subproductos	% masa
Sanitarios	Otros sanitarios	0.17
Metales	Papel aluminio	1.33
Metales	Latas de aluminio	1.37
Metales	Acero inoxidable	0.00
Metales	Otras latas	1.22
Metales	Otros metales	1.55
Textiles	Ropa y calzado	0.00
Textiles	Otros textiles	0.91
Manejo especial	Residuos de la construcción	1.21
Manejo especial	Residuos eléctricos y electrónicos	1.22
Manejo especial	Aceite de cocina	0.00
Potencialmente peligrosos	Sustancias químicas (thinner, pinturas, etc.)	0.00
Potencialmente peligrosos	Residuos farmacéuticos (jeringas, agujas, ampolletas, etc.)	0.09

A través de esta prueba piloto se comprobó que el material y equipo utilizados cumplieron con las funciones previstas, ya que agilizaron y volvieron más práctico el trabajo realizado en las diferentes etapas del estudio.

En el tema de formatos, la aplicación de la encuesta resultó ser larga y difícil de comprender para algunos participantes debido al uso de conceptos y tecnicismos utilizados. Por lo tanto, el documento será sometido a una modificación para futuras aplicaciones. Los demás formatos resultaron funcionales en el trabajo de campo; sin embargo, se sugerirán cambios sencillos para su mejor aprovechamiento.

4. Conclusiones

La prueba piloto de generación de residuos sólidos de la colonia Pasteros, alcaldía Azcapotzalco, resultó ser un avance importante para el desarrollo de la metodología y aplicación de formatos. La participación de la COPACO de la colonia seleccionada fue fundamental para el desarrollo del estudio, ya que generó acercamiento y confianza entre la comunidad, además del aporte de ideas y estrategias para el trabajo de campo, por lo que su colaboración en futuros estudios será altamente considerada.

El resultado de la composición de los residuos obtenidos ayuda a dimensionar la generación de una comunidad y a proponer una disposición óptima para cada subproducto. Estos resultados pueden cambiar considerablemente en algunos residuos si se aplican diferentes alternativas para su disminución y/o aprovechamiento.

Agradecimientos

Los responsables de esta investigación desean agradecer el apoyo de la Secretaría de Educación, Ciencia y Tecnología e Innovación de la CDMX a través del proyecto 133/2023, así como de la Secretaría de Medio Ambiente y los integrantes de la COPACO de la colonia Pasteros. Adicionalmente, se agradece la participación de las y los estudiantes de la UAM-Azcapotzalco: Karla Jennifer Paz de Jesús, Verónica Jimena Morales Meza, Oscar Hernández Lagunes, Luisa Fernanda Rosales Salinas, Mariana Lizeth Galicia Piedra, Cecilia Itzel Núñez Chiñas, Zully Abigail Vite Cortez, María Sabina Benítez Gutiérrez, Diana Velázquez Hernández, Itzel Villano López, Natalia Paulina Martínez Toledo, José Abraham Chanes Gordillo y Carlos Nicolás Sosa Quintero.

Referencias bibliográficas

[1] Instituto Electoral Ciudad de México (IECM). (2024). *Comisiones de la Participación Ciudadana*. Recuperado de https://www.iecm.mx/

[2] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). (1985a). *Norma Mexicana NMX-AA-015-1985 Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Muestreo-Método de cuarteo*.

[3] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). (1985b). *Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Selección y cuarteo para análisis de composición*.

[4] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). (1985c). *Norma Mexicana NMX-AA-61-1985 Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Determinación de la generación*.

[5] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2023a). *Programa de Gestión Integral de Residuos para La Ciudad de México PGIR 2021-2025*.

[6] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2023b). *Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México 2023*.

[7] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*.

[8] ONU-Habitat. (s.f.). *Waste Wise Cities*. Recuperado de https://unhabitat.org/waste-wise-cities.

Anexo 1: encuesta aplicada a la ciudadanía

CÉDULA DE ENCUESTA DE CAMPO PARA EL MUESTREO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA CDMX

Fecha_____ Nivel socioeconómico _____
Delegación _____ Colonia _____
Calle _____ Número _____C.P. _____
Código de identificación de vivienda (se puede generar con las iniciales de la delegación, calle, color y número de casa) Ej. **BJFA14**: Benito Juárez, calle Filadelfia, color azul, numero de casa 14
_____
Habitantes por vivienda _____ Tipo de contenedor de basura_____
Capacidad aproximada _____Nombre del responsable del estudio_____

Temas	Preguntas	Respuestas
1. Frecuencia y volumen de residuos	1.1 ¿Cuántas veces a la semana saca la basura?	a) 1 b) 2 c) 3 d) Más de 4 Otra respuesta:
	1.2 ¿Cuántas bolsas o botes de basura en promedio genera al día?	a) 1 b) 2 c) Más de 3 Otra respuesta:
	1.3 ¿Cuál es el peso aproximado de una bolsa de basura generada en su hogar?	a) Menos de 2 kg b) Entre 2.1 y 5 kg c) Entre 5.1 y 10 kg d) Más de 10 kg Otra respuesta:
2. Opiniones sobre la infraestructura actual	2.1 ¿Cómo calificarían los servicios de recolección de basura en su comunidad?	a) Malo b) Regular c) Bueno d) Muy bueno e) Excelente Otra respuesta:
	2.2 ¿Sabe si hay contenedores para separar los residuos en su colonia?	a) Sí, ¿en dónde? b) No Otra respuesta:
	2.3 ¿Qué hace con su basura si el camión no pasa el día que tenía que pasar?	a) La guardo en mi casa y espero a que vuelva a pasar b) La tiro en otro lugar c) La dejo en la calle Otra respuesta:
	2.4 En caso de que den propina a los recolectores de basura, ¿cuál es su valor promedio por cada entrega?	a) No damos propina b) Menos de 5 pesos c) Entre 5 y 10 pesos d) Entre 11 y 20 pesos e) Más de 20 pesos Otra respuesta:

3. Percepción del cambio a lo largo del tiempo	3.1 ¿Han notado cambios en la gestión de residuos en su colonia en los últimos años?	a) Sí, ¿cuáles? b) No Otra respuesta:
	3.2 ¿Cómo describirían la evolución de la conciencia ambiental en la comunidad?	a) Mala, no hay evolución b) Regular c) Buena Otra respuesta:
4. Separación y reciclaje	4.1 ¿Separa la basura en categorías?	a) Sí, siempre b) A veces c) No Otra respuesta:
	4.2 ¿En qué categorías la separa o la ha separado?	a) Orgánicos b) Inorgánicos c) Plásticos d) Metales e) Papel y cartón f) Vidrio g) Textiles h) Peligrosos Otra respuesta:
	4.3 ¿Participan en programas de reciclaje desarrollados por el gobierno local, asociaciones o empresas privadas?	a) Sí, siempre b) No c) A veces d) No sé del tema Otra respuesta:
	4.4 ¿En caso de no hacerlo, por qué no separa la basura?	a) No tengo tiempo b) No tengo espacio c) No hay sitios de acopio d) El camión lo revuelve e) No sé cómo hacerlo f) Otra Otra respuesta:
	4.5 ¿Cuáles considera que son los desafíos o problemas al separar y reciclar sus residuos?	a) No tengo tiempo b) No sé cómo hacerlo c) Los recolectores al final los vuelven a mezclar d) No sé a dónde llevarlos a disposición e) Otros Comentarios adicionales:
5. Composición de residuos	5.1 ¿Qué tipo de residuos generan en mayor cantidad?	a) Orgánicos b) Inorgánicos c) Plásticos d) Metales e) Papel y cartón f) Vidrio g) Textiles h) Peligrosos i) Otros Otra respuesta:
	5.2 De los residuos que genera, ¿cuáles considera que son reciclables?	a) Orgánicos b) Inorgánicos c) Plásticos d) Metales e) Papel y cartón f) Vidrio g) Textiles h) Peligrosos i) Otros Comentarios adicionales:
	5.3 ¿Qué porcentaje generan de residuos orgánicos (restos de comida o de jardín)?	a) Entre 0 y 30 % b) Entre 31 y 50 % c) Más de 50 % Comentarios adicionales:

6. Conciencia Ambiental	6.1 ¿Cuáles regulaciones y programas locales sobre la gestión de residuos conocen?	a) Separación de residuos b) Reciclatrón c) Prohibición de plásticos de un solo uso d) Programas de reciclaje e) Gestión de residuos peligrosos f) Responsabilidad extendida del productor g) Incentivos para la reducción de Residuos h) Compostaje y tratamiento a residuos orgánicos Otra respuesta:
	6.2 ¿Tienen conciencia sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar?	a) Sí b) No c) No sé del tema Otra respuesta:
	6.3 ¿Participan en actividades de sensibilización ambiental?	a) Sí, ¿en cuáles? b) No Otra respuesta:
7. Consumo y compras	7.1 ¿Prefieren los productos que tienen menos impacto en el ambiente?	a) Sí, ¿cuáles? b) No c) A veces Otra respuesta:
	7.2 ¿En qué impactan al ambiente los productos que compra y utiliza?	a) Consumo de recursos naturales b) Generación de residuos c) Emisión de contaminantes durante su fabricación d) Otros Otra respuesta:
	7.3 ¿Emplean bolsas reutilizables en lugar de bolsas de plástico de un solo uso?	a) Sí, siempre ¿por qué? b) A veces, ¿por qué? c) No, ¿por qué? Otra respuesta:
8. Propuestas para mejorar la gestión de residuos	8.1 ¿Qué sugieren para mejorar la gestión de residuos en su comunidad? Puede dar varias sugerencias	a) Mejores camiones b) Recolectores capacitados c) Aplicación de multas a quien infrinja alguna ley d) Campañas de concientización e) Más días de recolección por parte del transporte f) Cambio de horario de recolección g) Otros Otra respuesta:
	8.2 ¿Qué iniciativas considera que podrían fomentar la participación comunitaria en la gestión de residuos?	a) Campañas constantes b) Incentivos a quienes participen c) Mejoras en las calles d) Talleres Otra respuesta:
9. Participación Comunitaria	9.1 ¿Participan en grupos comunitarios o eventos relacionados con la gestión de residuos?	a) Sí, ¿en cuáles? b) No c) A veces Otra respuesta:

	9.2 ¿Estarían dispuestos a participar en programas de educación ambiental?	a) Sí b) No c) Quizá Otra respuesta:
	9.3 ¿Cómo podrían trabajar junto con la comunidad para mejorar la gestión de residuos?	a) Reuniones constantes b) Grupos por redes sociales c) Platicas por expertos Otra respuesta:
10. Nivel socioeconómico del hogar	10.1 ¿En qué tipo de vivienda vive su familia?	Propia Rentada Compartida Otra respuesta:
	10.2 ¿Cuántos cuartos exclusivos para dormir tiene?	1 2 3 4 5 Más de 5 Otra respuesta:
	10.3 ¿Con cuántos focos cuenta su hogar?	De 1 a 5 De 6 a 10 Más de 10 Otra respuesta:
	10.4 ¿Han realizado mejoras en la vivienda en los últimos años?	a) Sí b) No Otra respuesta:
	10.5 ¿Qué tipo de combustible utiliza en su cocina y baño?	Gas estacionario Gas de cilindro Leña Eléctrico Otra respuesta:
	10.6 ¿Con qué servicios cuenta en su hogar?	Agua potable y drenaje Energía eléctrica Internet Acceso a instituciones educativas Servicios de salud Recolección de residuos Transporte público cercano Seguridad pública Alumbrado público Otra respuesta:
	10.7 ¿Con qué electrodomésticos básicos cuenta en su hogar?	Refrigerador Estufa con horno Horno de microondas Licuadora Cafetera Televisión Aspiradora Plancha para textiles Ventiladores Computadora o dispositivos electrónicos Otra respuesta:
	10.8 ¿En dónde compra sus alimentos y productos de uso	Tienda de abarrotes Mercado de barrio (tianguis)

	diario? Señalar todos los que corresponda	Supermercados básicos (Aurrera, Wal-Mart, Soriana, etc.) Supermercados con membresía Otra respuesta:
	10.9 ¿Cuál es la principal fuente de ingresos en su hogar?	Negocio familiar Varios negocios Por parte de un patrón Ayuda del gobierno Ayuda familiar Brindan servicios Otra respuesta:
	10.10 ¿Cuántos miembros de la familia trabajan?	Ninguno 1 Más de 1 Otra respuesta:
	10.11 ¿Cuál es el principal medio de transporte que utiliza la familia? Puede seleccionarse más de una opción	Auto propio Auto prestado Transporte público (colectivo, metro, etc.) Transporte por aplicación Motocicleta Transporte no motorizado Otra respuesta:
	10.12 ¿Con qué frecuencia un miembro de la familia visita al médico?	Nunca Esporádicamente Regularmente Frecuentemente Otra respuesta:
	10.13 ¿Cuál es el nivel educativo más alto alcanzado por los miembros adultos de la familia?	Primaria Secundaria Preparatoria Universidad Posgrado Otra respuesta:
	10.14 ¿Con qué frecuencia realiza su familia actividades de ocio o recreativas que requieren un presupuesto adicional? Ir al cine, paseo, etc.	Nunca Esporádicamente Regularmente Frecuentemente Otra respuesta:
	10.15 ¿Recibe usted o algún miembro de la familia algún tipo de ayuda por parte del gobierno?	No Becas educativas Programas de empleo temporal Subsidios de vivienda Apoyos para emprendedores Apoyo a adultos mayores Apoyo por incapacidades Madres solteras Otros Otra respuesta:

¿Cómo transformar la basura a Parques? Experiencia del ex basurero La Reserva

Cinthya Nicolle García Castillo*, Dolores Elizabeth Turcott Cervantes, Frida Marlene Galván Nicasio, Fernando Trujillo Jiménez

Sistema Integral de Aseo Público, Río Santiago N° 200, colonia La Luz, C.P. 37458, León, Gto., México.

*Correo electrónico: cinthya.garcia@aseopublicoleon.gob.mx

Resumen

En la ciudad de León, Guanajuato, existe el antiguo sitio de disposición final La Reserva, el cual cerró su operación en el 2001 y es relevante por su historia, ya que el municipio a través del tiempo ha concretado su saneamiento y reinserción para habilitarlo como Parque Metropolitano. El presente trabajo consta de una descripción sobre lo que ha conllevado un proyecto integral y de gran valor como éste, puesto que las experiencias en México sobre la recuperación de estos espacios han sido poco documentadas y los ejemplos son escasos. Se realizó una recopilación de los estudios, metodologías y estrategias que han formado parte de esta conversión, así como la intervención de las distintas dependencias municipales indispensables para este proyecto. Entre las principales limitaciones está la escasa información técnica sobre algunos aspectos referentes al saneamiento y monitoreo ambiental. Como resultado de esta recopilación y análisis de información, se generó una hoja de ruta sugerida, con el objetivo de plasmar los hitos conseguidos hasta el momento y motivar a que el resto de los municipios afiancen proyectos similares. Además, no solo se requiere de una participación multidisciplinaria, también el compromiso de los diversos actores y el aspecto social juegan un papel muy importante para la sensibilización y difusión del proyecto.

Palabras clave: *Proyectos multidisciplinarios*, *saneamiento de basureros.*

1. Introducción

En México un sitio de disposición final (SDF) de acuerdo con la Norma 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"* (NOM-083), es el lugar donde se depositan de manera definitiva residuos sólidos urbanos (RSU) o de manejo especial (RME). Una vez concluida la vida útil de este tipo de sitios, deben cumplirse diversos requerimientos marcados en dicha norma para la clausura del sitio, con el fin de cuidar la salud de la población y disminuir los impactos ambientales. Para ello, la norma destaca que al clausurar un sitio como este y buscarle un nuevo fin, deberá realizarse conforme al uso de suelo marcado por los instrumentos de planeación territorial y considerar

una capacidad de carga baja, dado las posibilidades de hundimientos diferenciales y la presencia de biogás, así como contar con un programa de monitoreo ambiental de por lo menos 20 años posteriores al cierre.

La NOM-083 hace hincapié que en la clausura del sitio se debe considerar la estabilidad de taludes, características de la cobertura final, infraestructura para control del lixiviado y biogás, así como el mantenimiento (cobertura, grietas, hundimientos, erosión) y drenajes superficiales para el control de escurrimientos pluviales; sin embargo, no menciona otros rubros que son importantes al momento de pensar en rescatar este tipo de espacios, ya que los proyectos que se han podido concretar en México son pocos.

Existe una notable penuria sobre el cómo o el camino a seguir para efectuar en un sitio la remediación y el monitoreo ambiental, hay pocos casos documentados que puedan describir el "paso a paso" de su proyecto y que permitan conocer la experiencia. Lo más cercano ha sido la publicación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), *titulado: "Hoja de ruta para el cierre progresivo de los basurales de América Latina y el Caribe"*, que tuvo como objetivo establecer los requerimientos para eliminar los basurales de esta región al 2030 (PNUMA, 2021).

No obstante, el documento antes mencionado es una guía "general", sin embargo, cada sitio es único e irrepetible, lo que probablemente transmite inseguridad al lector, por la extensión e inclusive complejidad descrita para iniciar proyectos de esta magnitud. Se tiene la hipótesis de que, al acercarse al lector con un caso de la vida real y con un avance significativo, puede motivar a poner manos a la obra. Por lo anterior este artículo recaba varios puntos importantes derivados de la experiencia de la clausura (o cierre técnico), saneamiento y reinserción del ex basurero La Reserva, para transformarlo en un Parque Metropolitano, ubicado en el municipio de León, Guanajuato, México.

Cada SDF es particular y único, no existe una receta inequívoca para ejecutar el saneamiento y reinserción, ya que la propia experiencia durante el desarrollo de un proyecto, ayuda a definir la metodología a ejecutar y descubrir los bemoles que la propia norma aún no tiene considerados. En la sección de metodología se describe la recopilación de los antecedentes del sitio para: comprender su contexto, trabajar una sensibilización con la ciudadanía, detectar problemáticas y actores que podrán abonar a las soluciones y la ejecución del proyecto en cuestión.

En consecuente, la sección de resultados y discusión define los productos que se obtuvieron a partir de la metodología. Resultó una hoja de ruta específica para La Reserva, que contiene el "paso a paso", las líneas de acción, tanto las que ya han sido efectuadas como aquellas en las que se requiere mayor ímpetu, además, considera los actores clave para ejecutar cada solución.

Es un hecho que no se tiene certeza de la totalidad de sitios de disposición final que han sido abandonados, incluso antes de que fueran normados. Se desconoce si contaron con una remediación, si se efectuó un monitoreo ambiental, que permitiera reducir tanto los impactos ambientales como los efectos adversos hacia la salud, si trajeran consigo beneficios, si es importante el tejido social e incluso la aceptación.

Finalmente, en la sección de conclusiones se plasman aquellos puntos que no deben quedar en el olvido, y se reafirma el objeto del presente trabajo, para que los municipios de la región den el primer paso y pongan sobre la balanza el costo-beneficio por obtener, al recuperar espacios territoriales como estos y saldar una deuda no solo con la sociedad, también con el ambiente.

2. Metodología

2.1. Contexto del sitio

Se realizó una recopilación del contexto del sitio y su historia en el archivo histórico de las dependencias SIAP, Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) y la Dirección General de Obra Pública (DGOP), para revisar los proyectos de administraciones anteriores que forman parte del estado del arte de La Reserva. De esta manera se podrían detectar áreas de oportunidad.

Así mismo, se realizaron entrevistas breves al personal operativo que tiene mayor tiempo laborando en el SIAP y que en su momento les tocó trabajar durante la operación como SDF a La Reserva. Con la información obtenida se realizó una línea del tiempo, destacando los hitos más importantes.

2.2. Sensibilización

Se llevó a cabo un taller de co-creación, que tuvo por objeto escuchar la voz de la ciudadanía sobre el proyecto y considerar sus aportaciones al mismo. El municipio mediante las direcciones de Desarrollo Social y Urbano, así como de Presupuesto Participativo, convocaron a los ciudadanos de las zonas aledañas a La Reserva (Rancho Nuevo La Venta, Las Huertas, León II, Los Limones, Periodistas Mexicanos y Plaza de Toros de la Delegación San Juan Bosco) y una vez reunidos, las direcciones de SIAP, IMPLAN y DGOP presentaron a los ciudadanos el proyecto de conversión de un basurero a un Parque Metropolitano.

Posteriormente, se les brindó a los asistentes lápiz y papel para dar respuesta a estas preguntas: ¿Qué les gustó del proyecto presentado?, ¿Qué no les gustó del proyecto presentado?, y ¿Qué les gustaría agregar al proyecto? Lo anterior a fin de conocer su perspectiva y considerar sus necesidades expresadas.

2.3. Determinación de problemáticas

Una vez realizada la recopilación que dio paso a la línea del tiempo, además de datos sobre el contexto del sitio, se detectaron diversas problemáticas en él; al ser tan amplias y de diversas índoles se clasificaron por materia de estudio, con el fin de buscar las disciplinas y dependencias potenciales para sumar al proyecto a través de líneas de acción para cada actor involucrado.

Las problemáticas se organizaron e ilustraron en un diagrama de acuerdo con cada materia, priorizando cada una de ellas con el fin de buscar y ejecutar estrategias para minimizar afecta-

ciones al proyecto integral, basado en la hoja de ruta para el cierre progresivo de basurales en América Latina y del Caribe (PNUMA, 2021).

2.4. Etapas de proyectos y obras

Al revisar y definir las problemáticas, así como las líneas de acción, se determinó que el proyecto al ser tan extenso, la mejor manera de efectuarlo sería en etapas, las cuales se enumeraron y clasificaron en un diagrama; fue así como el municipio en febrero del 2024 tuvo a bien asignar un recurso por 55 millones de pesos que permitiría efectuar parte del proyecto en cuestión.

2.5. Hoja de ruta de La Reserva

Con todo lo recopilado, la DTDR elaboró una hoja de ruta que ayudaría a visualizar las líneas de acción y su cumplimiento, además de las dependencias actoras en cada una de ellas. Tal herramienta permitirá la continuidad del proyecto de manera integral sin descuidar algún aspecto importante.

3. Resultados y discusión

3.1. Contexto del sitio

El municipio de León cuenta con 1,721,215 habitantes (INEGI,2020), catalogándolo como el tercero más poblado del país, ello implica mayor generación de residuos y por ende mayores retos en la gestión integral de residuos. El Sistema Integral de Aseo Público (SIAP), como organismo operador descentralizado del municipio de León desde el 2009, atiende las diferentes etapas del manejo de residuos con la visión de ser eficiente, de proporcionar servicios de calidad para lograr una adecuada gestión integral de residuos.

El SIAP, a través de la Dirección de Tratamiento y Disposición de Residuos (DTDR) opera y administra el antiguo SDF La Reserva y es interesante resaltar, que a través del paso de diferentes administraciones municipales no ha dejado de tener importancia este sitio; y no es para menos, pues con sus casi 25 hectáreas lo vuelven una superficie atractiva, además de ubicarse en una de las zonas del municipio que se urbanizó junto con la operación del sitio (SIAP, et al, 2023, p. 3).

La compilación de anteproyectos se resumió y plasmó de manera visual en una línea del tiempo (Figura 1). Como se puede apreciar, los proyectos que se resaltan en color verde son hitos relevantes, pero los resaltados en color vino solo fueron aportaciones bibliográficas, con la intención de impulsar un cierre técnico acorde a la normativa del país.

Con la información obtenida de las entrevistas a los trabajadores, se conoció que la ciudad de León operó hasta cinco basureros a cielo abierto, de los cuales el último cerrado en 2001 es La Reserva, para posteriormente evolucionar en la disposición final, pues la ciudad desde ese entonces cuenta con un relleno sanitario, que cumple la normativa vigente y que además destaca a nivel

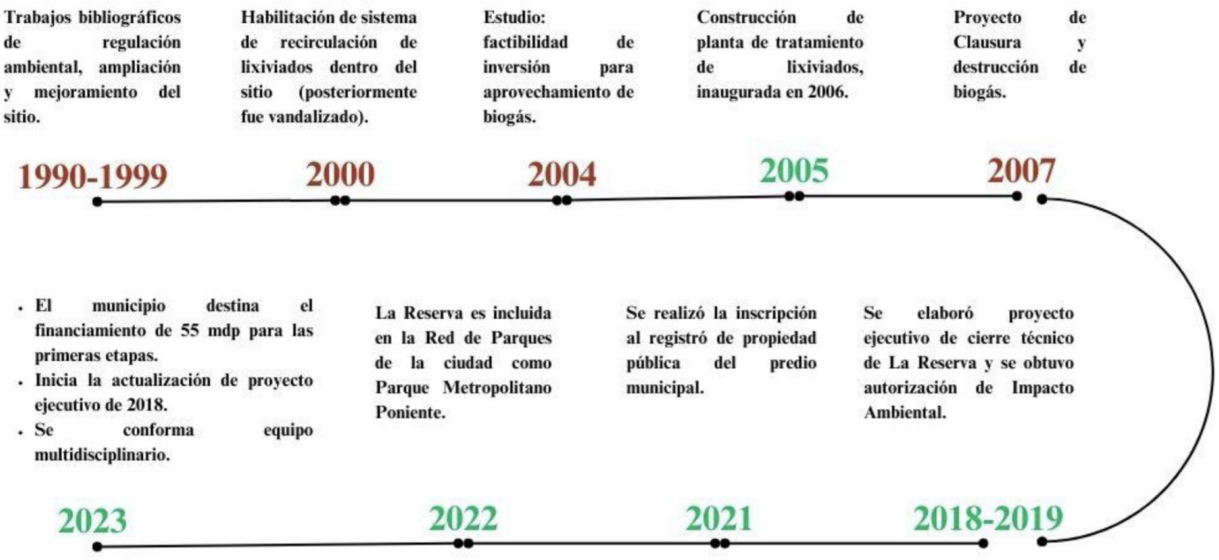


Figura 1: Línea histórica: anteproyectos e hitos de La Reserva.

nacional por ser uno de los seis sitios que aprovecha el biogás que genera y lo convierte en energía eléctrica.

La Reserva ocupa un espacio aproximado de 25 hectáreas, su área de influencia directa impacta en más de 21,000 leoneses y en la zona metropolitana beneficiará a 217 mil habitantes. Además, es importante mencionar que todos los asentamientos cercanos al área actualmente tienen altos índices de inseguridad y delincuencia, ligado también a una falta de espacios verdes que ayuden a crear un tejido social más sano (SIAP, et al, 2023, p. 11).

Como datos relevantes, La Reserva recibió inicialmente alrededor de 900 toneladas al día, para terminar con un ingreso de 1,600 t/día cuando dejo de operar en mayo de 2001; estimándose que se recibió en ese lapso más de 6,000,000 millones de toneladas de residuos. Las plataformas de desplante no recibieron ningún tipo de impermeabilización y la operación se llevó a cabo mediante el esparcido de la basura sobre plataformas horizontales deficientes de un método definido, dejando grandes áreas expuestas con residuos que, en los meses de lluvia, producían grandes caudales de lixiviados (SICA, 2018, p. 7).

Es importante señalar que este sitio recibió residuos de origen industrial, como los provenientes de la curtiduría, los cuales se destacan por haber estado en contacto con sales de cromo, lo que es un escenario de potencial riesgo, ya que los metales pesados en condiciones anaerobias, como son las que prevalecen en un basurero, se solubilizan más fácilmente, potencializando su movilización en el subsuelo o a otros elementos.

Por lo antes expuesto fue que el municipio realizó diferentes proyectos de evaluación en La Reserva para mitigar los impactos generados. En el 2006 se inauguró e inicio la operación de la planta de tratamiento de lixiviados, a la fecha el SIAP opera esta infraestructura por método físico químico de coagulación-floculación, donde el lixiviado tratado retorna a la masa de residuos me-

diante riego con una pipa. Los lodos generados son colocados sobre una plancha a la intemperie, para su secado, mismos que vuelven a disponerse sobre la masa de residuos del sitio (SIAP, et al, 2023, p. 3).

3.2. Sensibilización

Del taller de co-creación, como iniciativa municipal, resultó que, de los 71 asistentes, al 49% de ellos les gustó todo el proyecto integral, el 11% mostró disgusto por la delincuencia que existe en la zona, y dentro de sus solicitudes más relevantes para agregar al proyecto fueron: que exista un área para talleres, transporte para llegar al parque, cámaras de seguridad, servicio de atención médica, accesos peatonales, continuo mantenimiento y ofrecer trabajo a los ciudadanos circundantes (Presupuesto participativo, 2023).

Para recuperar un espacio desaprovechado e impactado, es imprescindible que durante el desarrollo y avance del proyecto integral prevalezca la sensibilización y educación sobre el cuidado hacia el ambiente y la importancia de adoptar en la ciudad una gestión integral de residuos colaborativa, que disminuya los diversos impactos a nivel social, ambiental y de salud. Por ello, La Reserva dentro de su conversión a Parque, contempla un espacio de talleres educativos con actividades coordinadas por diferentes asociaciones, organizaciones civiles, grupos y colectivos voluntariados, así como dependencias municipales, que promueven e incentivan desde diversas vertientes las buenas prácticas ambientales del manejo de residuos.

3.3. Determinación de problemáticas

Las problemáticas detectadas se clasificaron en ocho materias involucradas:

1. Trámites y gestión
2. Salud
3. Riesgos
4. Sensibilización
5. Aportaciones pluviales y otras
6. Flora y Fauna
7. Acopio de Residuos de Manejo Especial (RME)
8. Proyectos

De las anteriores derivaron las líneas de acción por su grado de importancia, que a la par empatan con algunas de las dependencias en la estructura de gobierno del municipio (ver Figura 2).

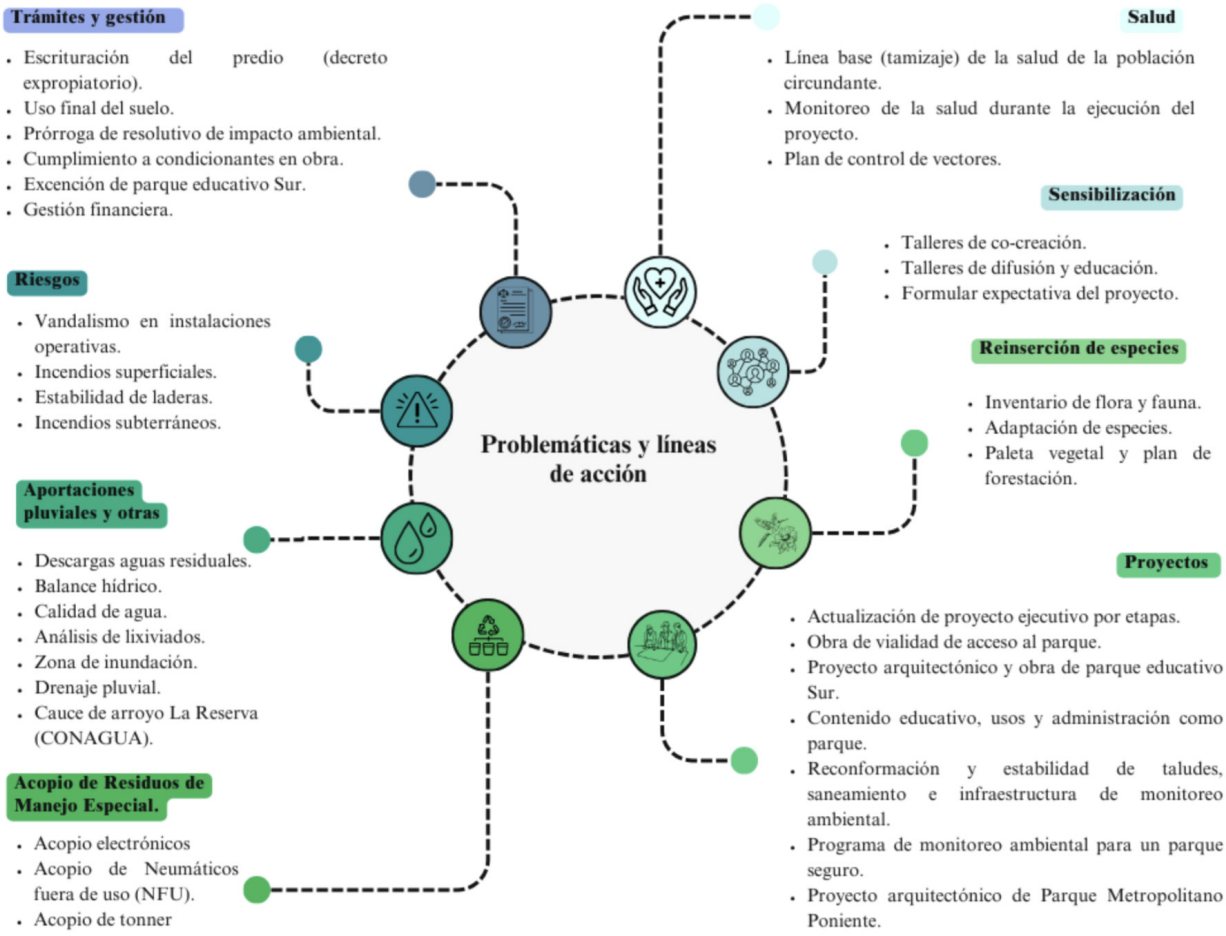


Figura 2: Identificación de problemáticas y líneas de acción.

3.4. Etapas de proyectos y obras

El proyecto se divide por etapas para dar la atención oportuna a cada ámbito que involucra dar pasos firmes para avanzar, aunado a obtener el financiamiento necesario para su culminación y que contemple el mantenimiento a largo plazo (ver Figura 3).

El municipio consideró en primera instancia como parte de las etapas, la actualización de estudios que en consecutivo dará la actualización del proyecto ejecutivo de cierre técnico y saneamiento, puesto que, al trabajar desde diferentes materias, es necesario homologar información técnica y trabajos de ingeniería.

Al mismo tiempo que se trabajaba con la actualización del proyecto ejecutivo, se culminó el proyecto de encausamiento del Arroyo La Reserva (etapa 1 y 2), así como el proyecto de Infraestructura de Parque Educativo Sur en la plataforma inferior (zona donde no se confinaron residuos). Contar con un parque educativo, permitirá trabajar en instalaciones ya equipadas, dentro del área del mismo proyecto, para que el equipo multidisciplinario conformado promueva el tejido social, tan esencial para la reinserción del sitio. La etapa 1 del Parque Educativo Sur está en obra, y ya

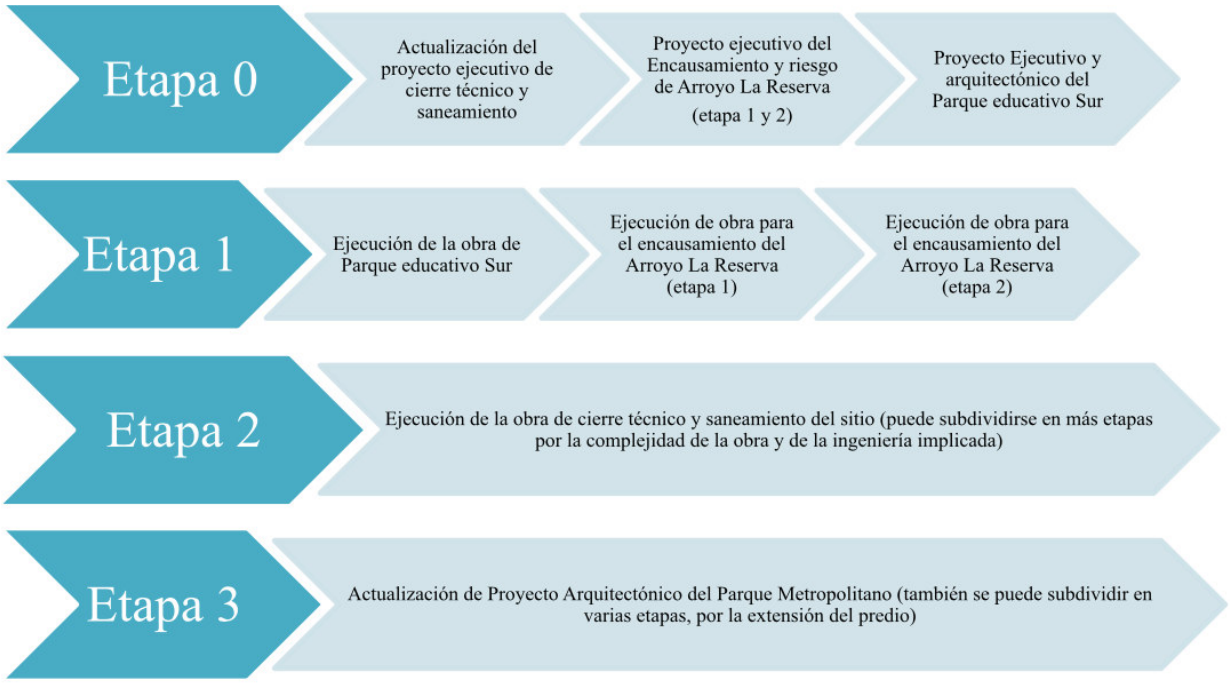


Figura 3: Identificación de problemáticas y líneas de acción.

contempla la construcción de infraestructura para el personal del SIAP, que se encargará del monitoreo y control ambiental.

Los trabajos en campo del proyectista dieron inicio en el mes de mayo de 2023, con la intención de actualizar el proyecto ejecutivo de cierre técnico y saneamiento, para poder tener la estimación paramétrica del recurso necesario, que el municipio deberá gestionar para poder ejecutar las obras correspondientes en las zonas de plataforma intermedia y superior, instalar la infraestructura de control y monitoreo, finalizando con la infraestructura final para el Parque Metropolitano.

Cabe señalar, que las etapas aquí consideradas son susceptibles a cambios por las experiencias, aprendizajes y áreas de oportunidad que el equipo multidisciplinario vaya presentando.

3.5. Hoja de ruta de La Reserva

Una vez identificadas las problemáticas y clasificadas por materia, el SIAP tuvo a bien en el 2023 conformar un equipo multidisciplinario con las dependencias municipales. Mediante mesas de trabajo se crearon cada una de las líneas de acción para cada problemática identificada. De esta manera se designaron responsables y actores involucrados, cada uno identificado con un color en específico (Figura 4), para efectuar cada una de ellas. Lo anterior se instrumentó en una hoja de ruta (ver Figura 5 y Figura 6). Los actores se representan en forma de círculos de diferente color, designados previamente.

Se puede observar que hay líneas de acción que perduran a largo plazo, pues se requiere de paciencia y constancia en el camino, además es de señalarse que un factor importante en cuanto a

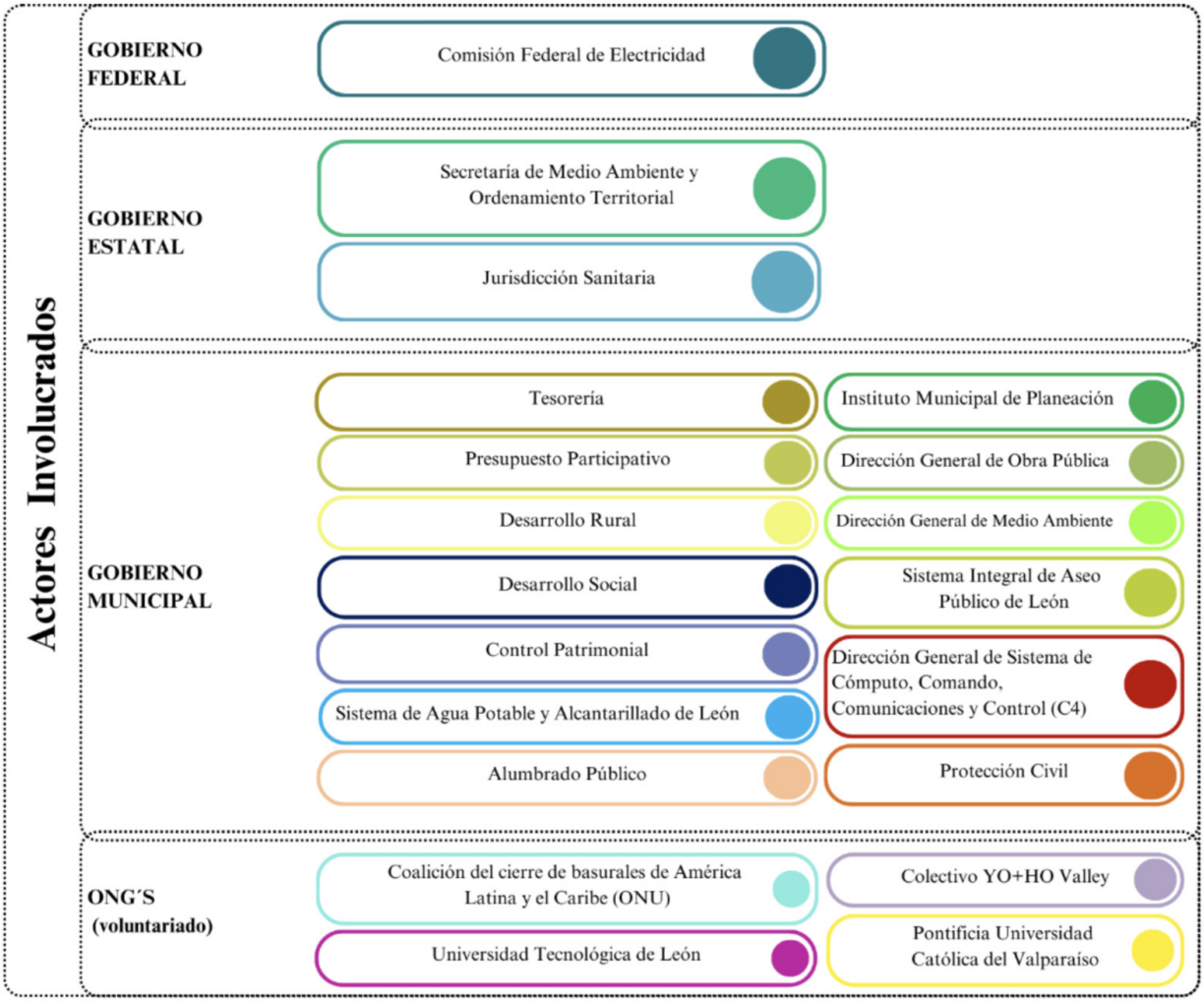


Figura 4: Actores del proyecto La Reserva.

la continuidad del proyecto, ha sido el cambio de titulares de las diferentes dependencias municipales, ya que conlleva reiniciar el proceso de integración y sumar nuevas líneas de acción, que van aportando al proyecto integral.

Al ser tan amplio el proyecto, al año 2024 se continúan con las líneas de acción en cada materia de estudio, sin embargo, fue notorio el impulso y avance que se ha logrado. Con base a las vivencias y gestiones realizadas, este proyecto integral considera tres pilares que no deben perderse de vista para lograr el objetivo (ver Figura 7).

La difusión se ha vuelto un factor importante, pues ha permitido crear colaboraciones entre los sectores público, privado y educativo, y en su momento pretende ser atractivo ante inversionistas, lo que lleva al siguiente pilar, que es la búsqueda del financiamiento para avanzar en proyectos y obras. La sensibilización se vuelve el otro elemento de acompañamiento en todo el proyecto,



Figura 5: Hoja de ruta del proyecto La Reserva, parte 1

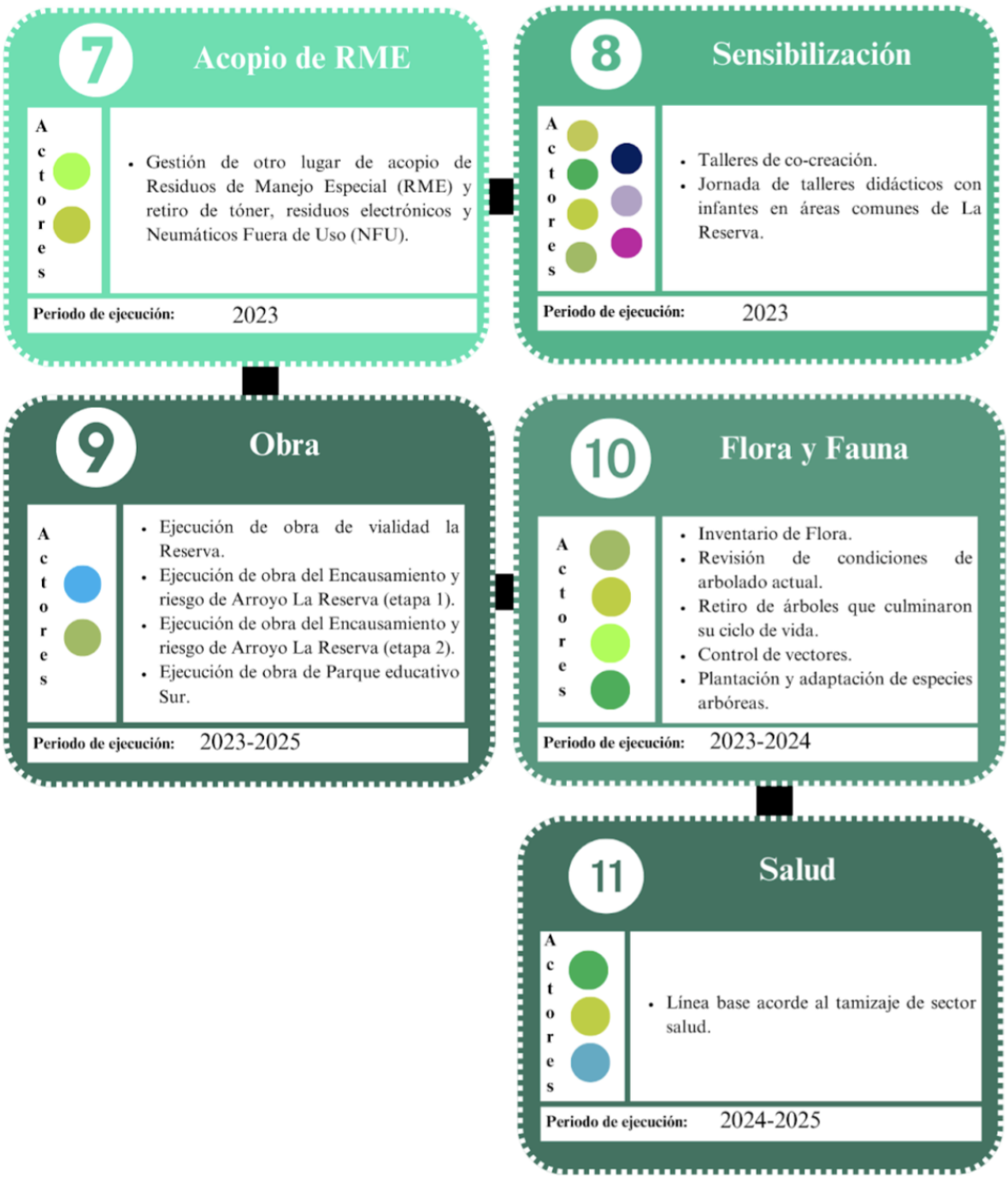


Figura 6: Hoja de ruta del proyecto La Reserva, parte 2.

pues se requiere que tanto los actores involucrados como los ciudadanos comprendan y adopten la complejidad e importancia de este proyecto.

Finalmente, entre los grandes retos con los que se ha encontrado la administración están:

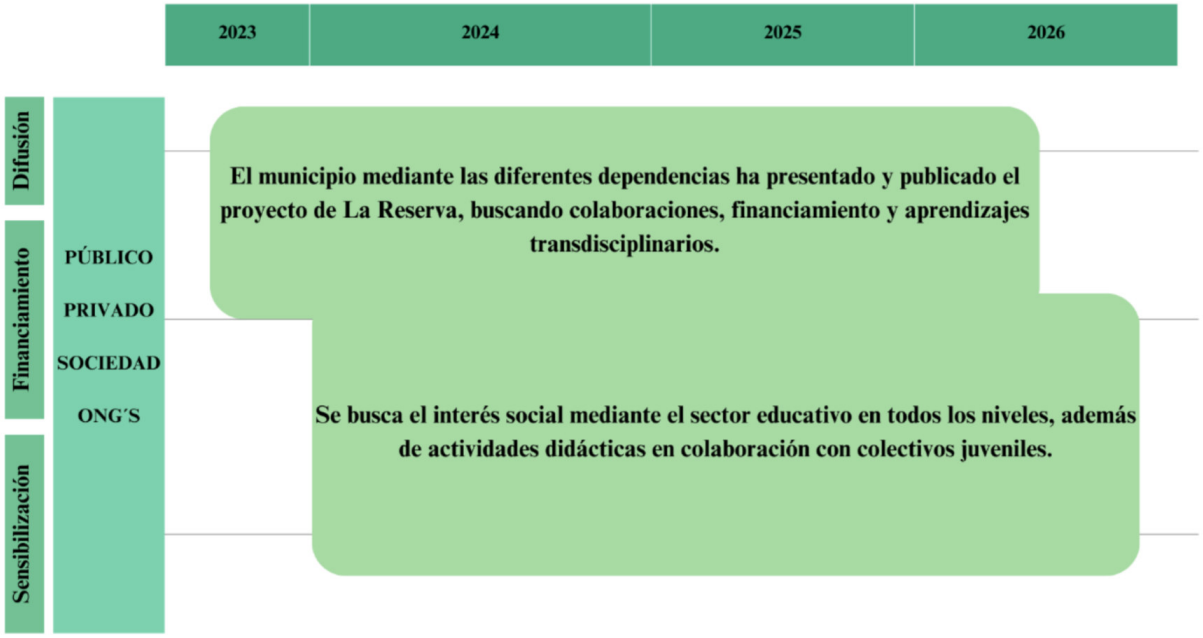


Figura 7: Pilares del proyecto La Reserva (DTDR)

- La promoción del proyecto para afianzar inversionistas o bien gestionar el financiamiento requerido
- Continuar con los trabajos sociales una vez concluida la obra del Parque Educativo Sur.
- El Monitoreo Ambiental en La Reserva.

4. Conclusiones

Es indiscutible que la gestión integral de residuos en México, aún le falta mucho para avanzar y, particularmente en el Estado de Guanajuato, se cuenta con grandes áreas de oportunidad en el ámbito de la disposición final de residuos y cierre de basurales, mismos que han quedado como pasivos ambientales y que la población percibe como "poco importantes". Nada más alejado de la realidad, ya que derivado de una mala gestión, estos sitios pueden causar problemáticas como, la degradación territorial, propagación de vectores, enfermedades y otros efectos adversos en la población y su salud.

En la ciudad de León se replantea esta percepción, ya que la administración pública tiene el compromiso de saldar una deuda, que la población tiene con el ambiente y que se busca cumplir con la ejecución del proyecto La Reserva, logrando con ello un hito a nivel regional, e inclusive, nacional.

Este trabajo consiguió reunir la información existente de este proyecto, lo cual permitió palpar las necesidades y problemáticas para definir las líneas de acción y más importante aún, el compromiso de cada actor involucrado.

Como se describió, existen líneas de acción que requieren continuidad durante el proyecto y posterior a su ejecución, además el presente trabajo reafirma la necesidad de una gobernanza que guie de manera integral dichas acciones a través de la perseverancia.

Se logró la integración de una hoja de ruta base que, si bien considero problemáticas que suelen presentarse en este tipo de sitios, puede servir para municipios con actores similares o que dentro de sus atribuciones se adapten a la línea de acción correspondiente.

Como se observó en la hoja de ruta, el quehacer designado para más de un actor conlleva a reafirmar que este tipo de proyectos, con diversas aristas a trabajar, son de responsabilidad compartida con todos los sectores sin dejar el actuar social y mantener una gobernanza a través del tiempo pues, aunque el proyecto ha sido aceptado por una parte de los beneficiarios directos, el verdadero reto será continuar una coordinación durante el avance, culminación y mantenimiento de las instalaciones de uso final.

Referencias bibliográficas

[1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Censo de población y vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#tabulados

[2] Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental S.A. de C.V. SICA. (2018). Proyecto Ejecutivo para la clausura del antiguo relleno sanitario La Reserva.

[3] Sistema Integral de Aseo Público de León Guanajuato, Dirección de Tratamiento y Disposición de Residuos. (2023). Ficha del saneamiento y reinserción de La Reserva. Informe de febrero 2023.

[4] Secretaría de Vinculación y Atención a los Leoneses, Dirección de Presupuesto Participativo y Delegaciones. (2023). Resultados taller de co-creación Parque Metropolitano poniente La Reserva.

[5] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). Hoja de ruta para el cierre progresivo de los basurales en América Latina y el Caribe. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34919/Roadmap_ES.pdf?sequence=8&isAllowed=y

Los sitios de disposición final de residuos en municipios de la Cuenca Alta del Rio Santiago Jalisco

Gerardo Bernache Pérez

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Antropología Social (CIESAS) Unidad Occidente, Av. España 1359, Colonia Moderna, C.P. 44190, Guadalajara, Jal., México.

*Correo electrónico: bernache@ciesas.edu.mx

Resumen

Durante el periodo 2022 y 2023 se desarrolló una investigación sobre residuos en siete municipios ubicados en la región de la Cuenca Alta del Rio Santiago en Jalisco. La investigación tuvo como objetivos los siguientes: realizar un diagnóstico de la generación de residuos sólidos urbanos; caracterizar el sitio y las prácticas de disposición final de residuos; y estimar el impacto de la generación de lixiviados en la calidad del agua en la Cuenca. La metodología de investigación se enfocó a tres tipos de actividades de investigación: 1) entrevistas con funcionarios para obtener información sobre la producción de residuos y sus características; 2) realizar visitas técnicas a los sitios de disposición final para observar las prácticas de operación de los sitios; 3) observar la producción y manejo de lixiviados en los sitios visitados. Los resultados indican que el manejo de residuos sólidos urbanos es simple centrado en la recolección traslado y entierro de los mismos. No se cuenta con programas municipales de separación ni aprovechamiento de materiales provenientes de los residuos. La operación de los sitios de disposición final no cumple con los criterios establecidos por la Norma 083 con excepción del relleno sanitario de Atotonilco el Alto. En mayor o menor medida todos los sitios generan lixiviados que no tienen un tratamiento adecuado. Se observó que el escape de lixiviados de los sitios es un hecho constante lo cual representa un alto riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca Alta del Rio Santiago.

Palabras clave: *generación de residuos*, *rellenos sanitarios*, *residuos sólidos urbanos*, *tiradero a cielo abierto*, *vertederos municipales*

1. Introducción

Para esta investigación se seleccionaron siete municipios del conjunto de 35 municipios que conforman la Cuenca Alta del Rio Santiago en el estado de Jalisco, México. Los municipios que se estudiaron son: Ocotlán, Poncitlán, Zapotlán del Rey, Tototlán, Atotonilco, Jesus María y San Ignacio Cerro Gordo. Estos municipios están ubicados en la Región Ciénega y Altos Sur.

La población de estos siete municipios era, para 2020, de 303,893 habitantes de acuerdo con los datos del INEGI (2020). La Tabla 1 presenta la población de cada uno de los municipios. La economía de la región es principalmente agropecuaria, además industrias lácteas, tequileras, una importante producción de muebles, así como el comercio y los servicios.

Todos estos municipios tienen cauces o cuerpos de agua que son parte integral de la Cuenca Alta del Rio Santiago, ya sea que por su territorio atraviesa el Rio Santiago y colindan con la ribera norte de la laguna de Chapala como es el caso de Ocotlán y Poncitlán. Zapotlán del Rey se ubica en la misma subcuenca del Santiago, aunque el río no cruza su territorio. Mientras Atotonilco el Alto, Tototlán, Jesus María y San Ignacio Cerro Gordo forman parte de la subcuenca del rio Zula, tributario del rio Santiago.

Los municipios fueron elegidos en base a su disposición expresa a participar en el estudio, esto quiere decir que aceptaron la invitación a participar, respondieron a una entrevista para brindar datos sobre generación y manejo de residuos, y nos permitieron realizar visitas técnicas a su sitio de disposición final de residuos.

Tabla 1: Población por municipio (2020)

Municipio	**Población**
Atotonilco El Alto	64009
Tototlán	23573
Poncitlán	53659
Ocotlán	106050
Zapotlán del Rey	19279
Jesús María	18982
San Ignacio Cerro Gordo	18341
Población Total	**303893**

La producción de residuos sólidos urbanos se mezcla con la producción de residuos de manejo especial y los municipios son los responsables de su manejo. En la mayoría de los municipios el manejo de los residuos se concentra en tres actividades de los Departamentos de Aseo Público: recolectar, transportar y enterrar los residuos.

Este tipo de prácticas tradicionales de manejo de los residuos sólidos son las que llaman la atención por el riesgo que representa el entierro de residuos en vertederos o tiraderos municipales que no cumplen con los criterios de operación de un relleno sanitario.

El objetivo de esta investigación fue identificar el tipo de prácticas de manejo de residuos en la región y evaluar el riesgo de contaminación de los recursos hídricos de la Cuenca Alta del Rio Santiago. Para lo anterior se realizó un diagnóstico de la producción de residuos, se identificaron programas o prácticas de separación y aprovechamiento de materiales, se evaluaron las operaciones de disposición final y se identificó la producción y control de los lixiviados.

2. Metodología

Esta investigación recurrió a una metodología cualitativa con tres principales actividades de investigación. En primer lugar, se elaboró un cuestionario que se administró a los siete funcionarios responsables del manejo de residuos en los municipios seleccionados. Este cuestionario estaba conformado de un número de preguntas enfocadas a recabar información sobre la producción y el manejo municipal de los residuos.

Este cuestionario sirvió, junto con información publicada por el Instituto de Información Estadística y Geográfica Jalisco (IIEGJ), para el elaborar el diagnóstico de la producción y el manejo de los residuos. En segundo lugar, se realizaron visitas técnicas a los sitios de disposición final y se redactaron reportes de campo con las observaciones del tipo de terreno, su ubicación, dimensiones, tipo de manejo, presencia de pepenadores, entre otros aspectos.

En tercer lugar, durante las visitas técnicas se tomó nota especialmente de la generación y manejo de los lixiviados en los sitios de disposición final.

Estas tres actividades conformaron la estrategia de investigación para este trabajo.

3. Resultados y discusión

3.1. Diagnóstico de la generación de residuos sólidos urbanos

El diagnóstico de la producción de residuos arrojó que en el 2022 se generaron 278 toneladas diarias de residuos en los siete municipios, mientras que en el 2023 el monto de generación creció a 304 toneladas por día. Esto es una producción per cápita de 915 y 999 gramos por día en 2022 y 2023, respectivamente. La Tabla 2 presenta la producción de residuos por municipio, así como los montos de separación de materiales en cada caso.

Tabla 2: Producción de residuos sólidos urbanos por municipio

Municipio	**Generación Kg/día 2022**	**Generación Kg/día 2023**	**Reciclaje Kg/día 2022**	**Reciclaje Kg/día 2023**
Atotonilco El Alto	70,000	85,000	1,143	714
Tototlán	30,000	31,000	714	2,857
Poncitlán	41,000	40,400	2,143	3,643
Ocotlán	100,000	100,100	N/A	N/A
Zapotlán del Rey	10,000	14,515	N/A	N/A
Jesús María	15,000	18,792	214	214
San Ignacio Cerro Gordo	12,000	13,809	1,857	1,857
TOTALES	**278,000**	**303,616**	**6,071**	**9,285**

Los reportes de entrevistas con funcionarios apuntan a que no se han desarrollado programas relacionados con la separación y aprovechamiento de residuos, no se reportan montos de separación en programas municipales, ni se reporta la participación social para la gestión integral de residuos. Lo anterior sugiere que la gestión integral de los RSU no es una prioridad para los presidentes municipales.

La tasa de separación es mínima, en 2022 fue de 2.2% y en el 2023 fue de 3.1% del total de residuos sólidos urbanos generados en los siete municipios. Los pequeños grupos de pepenadores que laboran de manera informal en los sitios de disposición final de los siete municipios seleccionados separaron, durante el periodo de estudio, un máximo de 3.1% del total de los RSU generados.

Los siete municipios seleccionados entierran sus residuos en cinco sitios de disposición final son: dos tiraderos a cielo abierto (40%), dos vertederos controlados (40%) y un relleno sanitario (20%). Los sitios son generadores de lixiviados que, en mayor o menor medida, escapan de los predios donde se entierra la basura y escurren o se filtran con la posibilidad de afectar cuerpos y cauces de agua superficiales y mantos freáticos en el subsuelo.

La forma de manejar los residuos se identifica, en general, como prácticas y dinámicas de Aseo Público, un modelo de "limpia" en el cuál se realizan tres actividades principales por parte de los ayuntamientos: recolección domiciliaria, trasporte de los residuos al sitio de disposición final, y entierro de los residuos en los sitios de disposición final. Lo anterior significa que estamos aún en una etapa de manejo de residuos que no se ha desarrollado como "gestión integral de los residuos sólidos urbanos" donde la jerarquía de manejo de los residuos tiene como prioridades la participación social, la reducción en la generación y la separación de residuos, y su aprovechamiento.

3.2. La disposición final de los residuos

Los sitios de disposición final (en adelante SDF) son un elemento muy importante en la gestión de los residuos municipales, ya que al enterrar los residuos se inician procesos de interacción de la masa de residuos enterrados y sus componentes biológicos y químicos con el entorno del sitio, con el ecosistema regional. Los SDF pueden contaminar los suelos donde se ubican, generan emisiones de biogases que afectan la atmósfera (en especial el metano que es un GEI) y, además, liberan escurrimientos líquidos o jugos de la basura conocidos como lixiviados que, cuando no son controlados y tratados dentro del SDF, presentan un riesgo potencial de contaminación de fuentes de agua.

Los SDF se pueden clasificar en tres tipos:

1. Tiraderos a cielo abierto. Sitios que fueron ubicados sin seguir ningún criterio de protección ambiental o cuidado a la población cercana a la zona. No tienen infraestructura básica como control de acceso, no cuentan con malla perimetral, no se realiza compactación de la basura, ni tienen algún tipo de cobertura. Prácticamente cualquier persona puede ingresar para depositar residuos o lo hacen en el camino de ingreso al sitio. Acumulan residuos de manejo

especial y otras veces también tienen residuos peligrosos. No cumplen con los criterios de la Norma 083.

2. Vertederos controlados. Sitios con alguna infraestructura para el control de los residuos, se lleva un orden en el entierro de los residuos, tienen malla y puerta de ingreso, con personal del ayuntamiento que realiza las operaciones diarias, se tienen un control parcial de los lixiviados (canalizándolos a cárcamos donde se almacenan) y en ocasiones tienen pozos de ventilación de gas metano. Pueden tener incendios ocasionales que son sofocados en días. No tienen un control completo de los vectores de contaminación por lixiviados, tienen cierto control sobre los biogases (metano). Su operación genera de forma intermitente, en un ciclo anual, vectores de contaminación por escurrimiento de lixiviados y emisiones de metano. Cumplen de forma parcial con algunos criterios de la Norma 083.

3. Rellenos sanitarios. Cumplen con más del 90% de los criterios de la Norma 083. Tienen un estricto control de acceso, con la infraestructura de control de la contaminación adecuada y una operación eficiente en la disposición final de los residuos.

En la muestra de municipios estudiados, dos de ellos no cuentan con sitio de disposición final autorizado por lo que la disposición final se realiza en cinco sitios de disposición final que dan servicio a los siete municipios. En este caso, el sitio de Poncitlán recibe residuos del mismo, así como de Zapotlán del Rey y Ocotlán.

Del total de cinco sitios de disposición final, dos son operados como tiraderos a cielo abierto, otros dos como vertederos controlados y uno como relleno sanitario (véase Tabla 3). Lo anterior indica que cuatro de los sitios no cumplen con la normatividad ambiental vigente para la operación de los sitios de disposición final (NORMA 083). Solo el sitio de Atotonilco tiene un perfil de Relleno Sanitario y su operación se enmarca en los criterios establecidos por la Norma 083.

Tabla 3: Disposición de residuos sólidos urbanos por municipio

Municipio	**Disposición final 2022 (toneladas)**	**Disposición final 2023 (toneladas)**	**Reciclaje 2022 (toneladas)**	**Reciclaje 2023 (toneladas)**
Atotonilco El Alto	25,550	30,750	2,100	1,650
Tototlán	10,950	11,315	1,350	2,100
Poncitlán	14,965	15,330	2,750	3,850
Ocotlán	37,000	37,550	N/A	N/A
Zapotlán del Rey	3,650	5,275	N/A	N/A
Jesús María	5,475	6,150	320	320
San Ignacio Cerro Gordo	4,380	5,040	2,400	2,400
TOTALES	**101,970**	**111,410**	**8,920**	**10,320**

Dado que solo uno de los SDF cumple con la normatividad vigente, en los cuatro sitios clasificados como vertederos o tiraderos los vectores de contaminación (biogases y lixiviados) que se originan en los sitios de disposición final no son controlados y escapan de los predios. El biogás se libera a la atmósfera y los lixiviados salen del perímetro de los sitios.

Si bien casi todos los SDF llevan tienen un nombre oficial que los denomina como "Relleno Sanitario", en realidad no todos los sitios cumplen con los criterios para calificar como tales. El tipo de sitio más común es el Vertedero Controlado. Mientras que los tiraderos a cielo abierto están siendo desfasados, aún persisten algunos que iniciaron operaciones hace dos o tres décadas cuando las leyes ambientales no eran tan estrictas, también son comunes en municipios con menos población y menos presupuesto municipal.

Poncitlán

En el sitio de Poncitlán depositan sus residuos provenientes de tres municipios: el propio Poncitlán, Zapotlán del Rey y Ocotlán. En 2022 se reportó que el sitio recibía 151 toneladas por día, mientras que en el 2023 recibía 155 toneladas diarias. Originalmente el sitio fue un banco de materiales de donde se extrajo "balastre". La profundidad media del predio es de 25 metros. Este sitio es propiedad del Ejido San Luis de Agua Caliente y los depósitos de residuos se realizan desde hace 34 años. Por lo anterior el lugar es administrado por una persona designada por el ejido. Los ayuntamientos pagan una renta mensual por el uso del sitio de acuerdo con el monto de residuos que depositan.

El predio tiene unas seis hectáreas. Un predio contiguo de 2.5 hectáreas ya está clausurado desde hace 10 años porque se llenó y cumplió con su vida útil. El sitio se encuentra limitado al norte por las vías del tren. El Rio Santiago se ubica a 1.8 kilómetros del vertedero. Un arroyo de temporal se ubica a 400 metros del lugar.

El sitio es Administrado por Ramón que controla el ingreso, es el jefe del grupo de pepenadores y tiene la autorización del Ejido San Luis de Agua Caliente. Él lleva la Bitácora de ingresos de residuos al sitio. También organiza los espacios para la disposición de residuos. Aquí trabajaban, en el 2022, unos 70 pepenadores organizados en grupos familiares. Para el 2023 los pepenadores se redujeron a unos 30 debido al decremento de los precios de comercialización de materiales separados.

El sitio no tiene una cobertura regular, por lo que los residuos están expuestos. Antes siempre estaba prendido. Ahora ya controlan mejor los incendios. Abajo en la base del sitio hay una capa de cenizas. Luego para remediarlo le pusieron una capa de tierra. Y arriba empezaron a depositar los residuos en la etapa más reciente. La presencia de cenizas en la base del sitio, representa un riesgo y pueden lixiviar en contacto con humedad o con líquidos. También instalaron tubos de ventilación de gas metano.

Se encontraron dos charcos con lixiviados, uno en la base del sitio de tiro actual y otro al fondo del sitio era muy denso, con consistencia casi de un atole. Hay una presencia de fauna nociva: parvadas de garzas blancas.

Aunque hay una buena organización el sitio funciona con tiradero a cielo abierto. Es el único sitio que es propiedad y es operado por un Ejido.

Tototlán

El sitio de disposición ocupa un predio de unas 2.5 hectáreas, junto a la carretera. A un lado está un sembradío de agave, del otro lado una cañada. Tiene características de tiradero a cielo abierto. La basura depositada no tiene cobertura. El depósito de residuos tiene unos 30 metros de profundidad.

Los montones de basura se compactan con maquinaria pesada, que también va aventando la basura poco a poco sobre la cañada para extender el depósito. No tiene taludes controlados, solo es la pared de residuos. Esto presenta un riesgo importante de deslaves o derrumbes parciales del sitio. Se tiene un área de una media hectárea con una gran acumulación de neumáticos usados lo cual también es un riesgo tanto de reproducción de mosquitos como de incendios en el sitio.

En la cañada colindante con el sitio de disposición se encuentra un arroyo de temporal que descarga en el Rio Morales, que a su vez es tributario del Rio Zula que se ubica a unos 20 kilómetros de distancia. Sin embargo, lo más preocupante es que la Caja de Agua que sirve para el almacenamiento y distribución de agua a la cabecera municipal se ubica a un kilómetro de distancia, corriente abajo del Rio Morales.

El vertedero se incendia seguido, en especial en el mes de mayo cuando hay más calor. El efecto de lupa por mucho vidrio en la superficie. Tuvieron un incendio grave hace 4 años y otro incendio importante en el verano de 2023. En cuanto a la fauna nociva, se observaron grupos de perros, los trabajadores reportan que hay unos 20-30 perros en el sitio. En cuanto a los pepenadores, en la visita de 2022 solo se observaron un par de personas de la tercera edad pepenando en el sitio. Para el otoño del 2023 eran 6 pepenadores que laboran de forma cotidiana en el lugar.

El gobierno estatal entregó recursos a la administración pasada para construir una planta de separación de residuos, equiparla con bandas y demás equipo necesario. Sin embargo, en el lugar solo se ve una plancha de concreto de unos 50 x 70 metros en el lugar donde estaría la Planta de Separación de materiales. El recurso financiero desapareció en manos de los funcionarios municipales de la administración anterior.

Atotonilco El Alto

El sitio recibe unas 85 toneladas diarias de residuos en el 2023, un aumento considerable de las 70 que se recibían en 2022. Trabajan en un horario de 7:00 a 14:00 horas, todos los días. Se ubica unos 3 kilómetros de terracería desde la carretera La Barca-Atotonilco. El predio donde se ubica tiene

10 hectáreas incluyendo una parcela sembrada con agave. El predio está rodeado de plantaciones de agave en diferentes estados de desarrollo.

La celda 1 que está en operación actual tiene una hectárea de terreno misma que ya está llena y no recibe residuos. La celda 2 tiene las mismas dimensiones y está recibiendo residuos. El ayuntamiento tiene un plan para unir las dos celdas. La vida útil del Relleno Sanitario está estimada en 10-15 años.

Aquí trabajan cinco empleados y seis pepenadores. Lo que separan los pepenadores se los compra el Ayuntamiento, quien a su vez tiene un comprador que viene al sitio a recoger los materiales. Se separan unas 8 toneladas por semana.

Los lixiviados se canalizan a una laguna que está al fondo, que tiene unos 25x15 metros, unos dos metros de profundidad, impermeabilizada con geomembrana. La laguna está a unos 3/4 de llena. En lo que pudimos observar, la geomembrana está en buenas condiciones, no se aprecian fugas de lixiviados. La laguna está circulada por malla ciclónica que no permite que personas o animales accedan y la puedan dañar. A un lado está la caseta para bombeo. En el sitio hay una red de tubería subterránea conectada a tubos con llaves en la superficie, para de esta manera, con tan solo conectar una manguera y abrir la llave se puede regar y distribuir el lixiviado por la cima del relleno. Se práctica la recirculación de lixiviados, por la tarde y noche, se prende la bomba para hacer la recirculación por unas 8 horas diarias. Operan con bombas de gasolina.

De la misma manera que en Tototlán, el gobierno estatal entregó recursos financieros para construir, equipar y operar una planta de separación y aprovechamiento de residuos. Sin embargo, al final de la administración previa todo los equipos y materiales fueron saqueados por los mismos funcionarios. Ahora se aprecia una nave industrial desmantelada completamente.

San Ingancio Cerro Gordo

Un predio de 1.5 hectáreas que se ubica en un promontorio en la ladera de un cerro, el entorno del sitio tiene una pendiente del terreno que lleva a la parte baja, hacia el cauce de un arroyo de temporal. La carretera se encuentra a unos 450 metros de distancia, el perímetro de la mancha urbana de la cabecera municipal se ubica a dos kilómetros de distancia. El Sitio inició operaciones en 2018 y de acuerdo a los funcionarios municipales, el SDF tiene tres años vida útil. El sitio de disposición final se ubica a unos 15 km del Río Zula. En el lugar trabajan de forma cotidiana seis pepenadores que separan materiales que venden en Arandas y Capilla de Guadalupe.

Este sitio colinda con un primer vertedero que ya fue clausurado y que tiene dimensiones similares al sitio actual. Los dos sitios ocupan unas 3.5 hectáreas de terreno. El sitio no tiene puerta de acceso y la malla perimetral que tenía en el lado más bajo del predio colapsó recientemente debido a la presión y el desplazamiento de los montones de basura acumulados en esa parte del sitio. Cuando colapso el talud principal del sitio se vino abajo la basura acumulada, tumbó la malla ciclónica y creo un problema más fuerte. El sitio tenía en uno de los perímetros una malla ciclónica, pero durante este temporal de lluvias se colapsó el depósito y arrasó la malla ciclónica.

El funcionario que nos acompañó a la visita reconoce que "el sitio debe cerrar y abandonar. No cumple con la normatividad, no cuenta con geomembrana, no tiene respiraderos de gas metano, no tiene caseta de control de ingreso, sin señalética." El sitio puede clasificarse como un tiradero a cielo abierto. El ingreso no está controlado, no tiene caseta, ni vigilancia. Se reporta que la gente va y tira afuera al ingreso del sitio, por ejemplo: tiran llantas, restos industriales de fibra de vidrio. Tiene procesos abiertos en SEMADET y PROEPA en relación al cierre del sitio, les exigen ya un plan de cierre y abandono.

Se tienen quejas de agricultores vecinos cuyas parcelas son afectadas por el escurrimiento constante de lixiviados. Los lixiviados forman un pequeño cauce de agua de unos 30 cm de ancho con muy poca profundidad. Este escurrimiento recorre un kilómetro pendiente abajo, cruza la carretera y sigue otro medio kilómetro. En ese trayecto cruza con cinco parcelas de cultivo donde crece el agave azul y maíz de temporal.

Jesús María

La producción de residuos sólidos urbanos está en 18,752 kilos diarios. El sitio de disposición se ubica a un lado de la carretera que va de Jesús María rumbo a Ayotitlán, tiene operando unos 40 años, el predio tiene una dimensión de 2.5 hectáreas.

El sitio forma parte de un barranco, que, si bien en ciertos puntos la inclinación permite realizar actividades, no es un sitio apto para albergar un relleno sanitario o tiradero municipal. El sitio se ubica en el barranco, el depósito de residuos tiene una profundidad de hasta 70 metros de profundidad y tiene forma de una lengua. Río o Arroyo Las Canoas es el más cercano y queda pendiente abajo del vertedero.

El SDF tiene: reja de control de acceso que se cierra al finalizar operaciones, malla perimetral, tubos de ventilación de gas metano. Fosa de cárnicos, desperdicios de rastro, se depositan en una fosa rectangular de 4 x 3 mts con restos en bolsas y cubierto de cal. Este sitio Acta administrativa de PROEPA, un procedimiento de clausura. Están respondiendo a las exigencias normativas de PROEPA en la medida que pueden.

Ahí trabajan unos 10 pepenadores que recolectan plástico, cartón, metales. También un poco de cartón. En relación al reciclaje, el responsable del sitio reporta que los materiales que se separan para comercialización son principalmente cartón y plástico. Los incendios que pueden ocurrir en sitios de disposición final, se reporta que hace cuatro años tuvieron un incendio muy intenso, difícil de controlar. Antes se recibían llantas automotrices y había un gran acopio de llantas en una sección del sitio. Se dejaron de recibir llantas porque ese tipo de materiales propiciaron que el incendio fuera más fuerte y se propagase.

En relación a fauna nociva. Se identifica una jauría de perros, unos 15 perros de diferentes razas, tamaños y edades conviven en el sitio alimentándose de los residuos orgánicos que llegan al depósito.

3.3. El riesgo de la generación de lixiviados

En este proyecto nos centramos en la operación de los SDF y en particular en el manejo de los lixiviados que se generan en los sitios y que escapan de los predios para formar pequeños arroyos o escurrimientos superficiales que pueden alcanzar y mezclarse con cuerpos y cauces de agua cercanos. Los lixiviados también pueden filtrarse directamente hacia capas del subsuelo directamente abajo de la masa de residuos enterrados. Sin embargo, no tenemos los recursos materiales y técnicos para poder detectar y analizar el impacto de las filtraciones de lixiviados al subsuelo. De ahí que nos concentremos en la identificación de escurrimientos y pequeños arroyos superficiales, así como en la toma de muestras de lixiviados. En los tiraderos a cielo abierto los lixiviados escapan sin control y es común que tengan incendios. Son sitios que generan contaminación en su entorno. No cumplen con la gran mayoría de los criterios que establece la Norma 083.

En el tiradero de Poncitlán donde depositan el mismo municipio de Poncitlán, más Ocotlán y Zapotlán del Rey es una gran concavidad de un antiguo banco de arena que fue explotado a finales del siglo pasado. Actualmente se rellena con basura, la mitad del predio es un sitio que ya fue clausurado, mientras que en la otra mitad sigue operando el depósito de residuos. Los lixiviados se acumulan en dos charcos poco profundos, uno ubicado en una pequeña meseta a la mitad de profundidad, mientras que el otro está al fondo del gran pozo. Los lixiviados tienden a filtrarse al subsuelo y tienen una consistencia de aceite quemado de automotor.

En el tiradero de Tototlán, los lixiviados se escurren en una de las laderas y se mezclan con el agua de un arroyo de temporal que delimita el entierro de residuos en uno de sus perímetros. En este caso los lixiviados salen del predio y están en contacto directo con un arroyo que escurre hacia otro arroyo mayor y éste a su vez es tributario del Rio Zula que se ubica a unos 10 kilómetros de distancia.

En el vertedero de Jesus María los lixiviados no se aprecian a simple vista, pero dada la topografía del terreno y de acuerdo con reportes del funcionario responsable, los lixiviados afloran las paredes de la barranca y se mezclan con las aguas de un arroyo en el fondo del barranco. Este arroyo es un tributario del Rio Zula. En el vertedero de San Ignacio Cerro Gordo los lixiviados se acumulan en dos lados del perímetro del sitio. Este predio se ubica en la parte alta de una ladera con una inclinación que permite que los lixiviados escapen del sitio por un pequeño arroyo de muy poca profundidad. El arroyo de lixiviados se va disminuyendo a medida que se aleja del sitio al tiempo que cruza campos de cultivos vecinos. A unos 500 metros corriente abajo del vertedero se encuentra un arroyo de temporal, ese cauce puede recibir lixiviados en tiempos de lluvias y en particular cuando caen lluvias torrenciales.

En Atotonilco el Relleno Sanitario es un gran cerro de residuos compactados de la Celda 1 y la acumulación de residuos en la Celda 2 generan pequeños escurrimientos de lixiviados en sus taludes, mismos que son captados y llevados a un cárcamo donde se propicia la evaporación y se recirculan regando la cima de la Celda 1. El flujo de lixiviados es pequeño pero constante, la infraestructura de captación y manejo de lixiviados funciona adecuadamente. Un arroyo de

temporal cruza por una zona perimetral dentro del mismo predio donde está el relleno sanitario. El riesgo son escapes ocasionales de lixiviados cuando se tienen lluvias torrenciales y en caso de algún accidente en la infraestructura de captación, almacenamiento y bombeo de lixiviados.

De los cinco sitios de disposición final, en tres casos (Tototlán, Jesús María y San Ignacio Cerro Gordo) los lixiviados salen del predio y llegan a cauces de arroyos de temporal. El escurrimiento de lixiviados es mayor durante la época de lluvias por lo que es cuando tienen un impacto más crítico en cauces superficiales de arroyos de temporal que son subsidiarios del Río Zula. En el caso de Poncitlán los lixiviados escurren al fondo del gran pozo y se puede esperar que de forma lenta se filtren al subsuelo. Solo en el caso de Atotonilco El Alto los escurrimientos se captan y se les da un manejo con el método de recirculación y evaporación.

Se puede afirmar que el riesgo de contaminación de aguas superficiales en la Cuenca Alta del Rio Santiago derivado del tipo de disposición y las prácticas de manejo de residuos son altas. Los lixiviados contienen diversos tipos de metales pesados que pueden estar fluyendo hacia cauces secundarios y finalmente hacia el Rio Zula y Rio Santiago.

4. Conclusiones

La zona de estudio que comprende siete municipios ubicados en la Cuenca Alta del Rio Santiago es el hogar de 303,893 habitantes que generaban, en 2023, un promedio de 304 toneladas de residuos sólidos urbanos cada día, donde cada residente de los siete municipios genera 999 gramos de residuos diarios.

Los ayuntamientos no cuentan con los recursos suficientes para darle un manejo adecuado a los residuos, se ven rebasados por el reto y la mayoría de ellos tiene problemas serios en la disposición final de residuos, cuatro de los cinco sitios de disposición están fuera de norma. Esos cuatro sitios tienen procesos pendientes con la SEMADET y con la PROEPA, procesos que exigen mejoras en infraestructura, equipamiento y en manejo propiamente de los sitios.

Un ejemplo de esa falta de recursos se aprecia en la carencia de programas formales, impulsados por los gobiernos locales, para separar y aprovechar los diversos tipos de materiales en los residuos inorgánicos. En promedio se separa el 3.1% de los residuos, la separación la realizan grupos pequeños de pepenadores que trabajan de forma cotidiana en los sitios de disposición final.

El escurrimiento de lixiviados no se controla en cuatro de los sitios, en tres lugares los lixiviados escapan del sitio formando pequeños escurrimientos o arroyos, que fluyen de manera constante con su carga de metales pesados y otros contaminantes. En uno de los lugares los lixiviados se estancan en el fondo del predio y se van filtrando lentamente al subsuelo.

Sin duda el impacto del escurrimiento de lixiviados, de acuerdo con los hallazgos de esta investigación es sobre los cauces superficiales que forman los arroyos de temporal que son subsidiarios del Rio Zula y del Rio Santiago. El riesgo de contaminación de los recursos hídricos de la cuenca derivado de la producción y manejo de lixiviados en la región es alto.

El gobierno estatal debe impulsar una transición en la forma de manejar los residuos sólidos urbanos, para dejar atrás el modelo de limpia que se caracteriza por centrarse en la recolección, transporte y entierro de los residuos. Se debe transitar hacia la gestión integral de residuos orientados por una jerarquía de manejo que va de la minimización en la producción, a la separación y aprovechamiento de residuos. En la gestión integral de residuos es importante propiciar la educación ambiental e incorporar la participación ciudadana, algo que actualmente no se tiene en los municipios estudiados.

Una gestión integral de residuos es la principal herramienta que se dispone para disminuir la generación de lixiviados y para garantizar el tratamiento de los mismos, evitando que dichos lixiviados escapen de los predios para mezclarse con cauces superficiales o se filtren al subsuelo.

Referencias bibliográficas

[1] Instituto de Información Estadística y Geografía (IIEG). (2021). *Atotonilco el Alto: Diagnóstico del municipio*. Guadalajara, México: IIEG.

[2] Instituto de Información Estadística y Geografía (IIEG). (2021). *Arandas: Diagnóstico del municipio*. Guadalajara, México: IIEG.

[3] Instituto de Información Estadística y Geografía (IIEG). (2021). *Ocotlán: Diagnóstico del municipio*. Guadalajara, México: IIEG.

[4] Instituto de Información Estadística y Geografía (IIEG). (2021). *Poncitlán: Diagnóstico del municipio*. Guadalajara, México: IIEG.

[5] Instituto de Información Estadística y Geografía (IIEG). (2021). *Tototlán: Diagnóstico del municipio*. Guadalajara, México: IIEG.

[6] Instituto de Información Estadística y Geografía (IIEG). (2021). *San Ignacio Cerro Gordo: Diagnóstico del municipio*. Guadalajara, México: IIEG.

[7] Instituto de Información Estadística y Geografía (IIEG). (2021). *Zapotlán del Rey: Diagnóstico del municipio*. Guadalajara, México: IIEG.

[8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Cuéntame. Datos por municipio*. Recuperado de `https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/default.aspx?tema=me&e=14`

Desarrollo de una Herramienta de Análisis de Incendios en Sitios de Disposición Final en el Estado de Chihuahua: Revisión de Imágenes Satelitales y Bibliografía Disponible

Luis Armando Lozoya Marquez[*,1], Lizeth de Jesús Osuna Hernández[2], Luisa Anai Mariñelarena Pérez[3], Guillermo González Sánchez[1], Libia Elena Diaz Nava[1]

[1]Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. México, Dirección: Av. Miguel de Cervantes Saavedra 120 Complejo Industrial, C.P. 31136, Chihuahua, Chih., México.
[2] Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, División de Estudios de Posgrado.
[3] Gobierno del Estado de Chihuahua, México.

[*]Correo electrónico: luis.lozoya@cimav.edu.mx

Resumen

Este estudio busca desarrollar una herramienta válida para analizar la frecuencia y características de los incendios en sitios de disposición final en Chihuahua. Se emplearon imágenes satelitales y revisión bibliográfica para obtener una visión integral de estos eventos. Los hallazgos indican que, aunque los reportes oficiales muestran un bajo índice de incendios, la realidad es más compleja, con una frecuencia superior a los tres incendios anuales reportados oficialmente. Esta discrepancia se atribuye a las diferencias en la forma en que los municipios informan los incendios. La metodología combinó datos de diversas fuentes, como notas de prensa, bases de datos satelitales y solicitudes de transparencia, permitiendo una triangulación efectiva. Se identificaron limitaciones en la detección de incendios de baja intensidad o subterráneos y en condiciones atmosféricas adversas. A pesar de estas limitaciones, los datos obtenidos fueron valiosos, especialmente en áreas rurales. El estudio resalta la necesidad de mejorar los sistemas de detección de incendios, desarrollar estrategias de capacitación para responsables locales en prevención y fortalecer la colaboración entre autoridades para una gestión más eficaz. Se sugiere crear indicadores robustos para medir y monitorear continuamente la incidencia de incendios y generar políticas de prevención. Además, se abre la puerta para investigaciones futuras sobre el impacto ambiental y en la salud pública de estos incendios, así como análisis de tendencias, evaluación de políticas y estrategias actuales de gestión de residuos. Se enfatiza la urgencia de usar tecnologías avanzadas y fomentar la colaboración interinstitucional para una gestión sostenible de residuos sólidos en Chihuahua.

Palabras clave: *incendios*, *residuos sólidos*, *sitios de disposición final*, *Chihuahua*, *impacto ambiental*

1. Introducción

En todo el mundo, los rellenos sanitarios son la principal tecnología utilizada para el tratamiento de residuos sólidos municipales (RSM), representando aproximadamente el 37 % del total de los RSM generados anualmente (Kaza, Yao, et al., 2018). En México, según el "Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos" (SEMARNAT, 2020), el 71.88 % de los residuos se destina a disposición final, lo que incluye rellenos sanitarios y otros sitios controlados o no controlados. Esto incluye rellenos sanitarios y otros sitios controlados o no controlados. La metodología de disposición de los residuos, aunque económica en términos de inversión y costos operativos en comparación con otras tecnologías más costosas, se reconoce como una fuente importante de emisiones, tanto debido a la degradación de los residuos contenidos como a la ocurrencia de incidentes como los incendios. Es ampliamente conocido que, en prácticamente todos los complejos de gestión de residuos, los incendios son el tipo de incidente más frecuente (Masalegooyan, et al. 2022), afectando significativamente tanto la infraestructura del relleno sanitario como al medio ambiente.

Sin embargo, dada la falta de datos específicos, es difícil conocer y aún más calcular un índice preciso de estos incidentes en un período determinado. También carecemos de datos precisos sobre las emisiones generadas, tanto en cantidad como en tipo, lo cual limita nuestra comprensión del impacto ambiental. Como bien se dice, "lo que no se mide, no se controla". Basados en la información disponible, el promedio anual de incendios en sitios de disposición final (SDF) varía entre decenas y cientos, dependiendo del país y la región. Por ejemplo, en los Estados Unidos se reportan en promedio 839 incendios únicos por año. En el Reino Unido, los datos indican aproximadamente 69 incidentes anuales, y en Polonia se registran alrededor de 43 incendios por año (Masalegooyan et al., 2022). En México, los datos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) reportan alrededor de 13 incendios anuales a nivel nacional. Específicamente, en el estado de Chihuahua se registran aproximadamente 3 incendios anuales (Sánchez, 2021). Estos datos sugieren un posible subregistro, ya que la experiencia práctica indica que en México se generan más incendios en los SDF de nuestras ciudades. Destacando que la mayoría de estos sitios no son rellenos sanitarios, sólo un 40.2 % lo son, que incrementa la tendencia a los incendios (PNUMA, 2021a y b). Considerando los datos reportados, el índice anual de incendios por estado sería de aproximadamente 0.406, lo cual parece subestimar significativamente la frecuencia real de estos eventos.

La importancia de encontrar y conocer información al respecto se centra en varios aspectos críticos. Los sitios de disposicion final son a menudo percibidos negativamente por la comunidad debido a preocupaciones sobre emanaciones nocivas, efectos en la salud y disminución del valor de las propiedades cercanas. Los incendios en estos sitios agravan estas percepciones y tienen implicaciones políticas significativas. Además, los costos de control de incendios y monitoreo ambiental son elevados, lo que plantea desafíos financieros para municipios y operadores privados. Los incendios en sitios de disposicion final también generan humo peligroso que afecta la salud pública

y puede contener compuestos químicos nocivos. La supresión de estos incendios con agua puede empeorar la situación al aumentar la descomposición aeróbica y contaminar fuentes de agua. Por tanto, es esencial estudiar y comprender estos incendios para desarrollar estrategias efectivas que minimicen los riesgos y mejoren la gestión de residuos sólidos.

Los incendios en vertederos son eventos relativamente comunes que enfrentan los operadores y que impactan significativamente la estructura y los procesos del vertedero. Estos incendios son a menudo indicadores de un sistema de manejo deficiente o de la falta de un control adecuado. Los efectos ambientales incluyen la liberación de contaminantes atmosféricos, así como la degradación de la calidad del aire y del agua, mientras que los efectos sociales se manifiestan en la preocupación de la comunidad por la salud y la seguridad, además de causar deterioro del equipamiento, pérdidas materiales y afectar el erario municipal. Estos incidentes también impactan severamente a los asentamientos cercanos y a las personas que trabajan o visitan las instalaciones, como pepenadores y empleados. Por lo tanto, es esencial estudiar y comprender estos incendios para desarrollar estrategias efectivas que minimicen los riesgos y mejoren la gestión de residuos sólidos. (Sanchez, 2021)

En el contexto específico del estado de Chihuahua, es crucial entender cómo estos factores impactan la gestión de los sitios de disposicion final, particularmente en relación con la incidencia de incendios. Este estudio se centra en la revisión de incidencias y características de los incendios en sitios de disposición final en Chihuahua, utilizando análisis de imágenes de satélite y revisión bibliográfica disponible desde 1980 hasta 2024. Asi que el principal objetivo de este estudio fue determinar si existia información suficiente para alimentar un sistema de control posterior, que fuera fiable y que coadyuve a generar índices de importancia para conocer la pertinencia y utilidad futura en el desarrollo de instrumentos e indicadores.

2. Metodología

Este enfoque metodológico integral garantizó la obtención de datos precisos y la validación cruzada de información clave para el estudio.

2.1. Determinación de sitios de disposición final

Se llevó a cabo un estudio exhaustivo para determinar con precisión la cantidad de sitios de disposición final en el estado de Chihuahua. Esta fase del proyecto siendo la parte critica fue integral y altamente participativa, por una parte, se involucraron visitas técnicas a los municipios y a los sitios de disposición final del Estado de Chihuahua, se buscaron actividades que facilitaran la comunicación y el flujo de información en base el establecimiento de confianza con los involucrados. En estos sitios se realizaron entrevistas con los encargados para identificar aquellos sitios de disposición final que eran reconocidos de manera oficial por los municipios y los manejadores de

residuos. El propósito de las entrevistas era confirmar la existencia y el reconocimiento oficial de estos SDF y obtener información sobre su manejo y operación.

De forma complementaria, se realizó una búsqueda detallada utilizando herramientas visuales como Google Earth, complementada por datos recopilados desde los documentos oficiales existentes y por datos de registros varios sobre Chihuahua, incluyendo notas de prensa, reportajes, entrevistas y artículos de fondo donde se reflejase la existencia de los basureros y rellenos sanitarios ademas de los incidentes y el manejo efectuado en estos sitios.

2.2. Análisis Cualitativo y Cuantitativo de Notas de Prensa

Este estudio adoptó un enfoque metodológico mixto cuali-cuantitativo para analizar notas y documentos recopilados hasta la fecha actual.

La recopilación incluyó una búsqueda exhaustiva en Google y la categorización de la información obtenida mediante análisis de contenido cualitativo y cuantitativo. Se centró específicamente en periódicos digitales y sitios web de Chihuahua, utilizando herramientas como un ordenador con acceso a internet, Google como motor de búsqueda principal, y una hoja de cálculo Excel para la organización de datos. Fue parte critica de este paso la contratación de la a hemeroteca digital INPRO, que contiene registros digitalizados desde 1976 así como las visitas a la hemeroteca física de gobierno municipal.

2.3. Validación y verificación de la información

Posteriormente, se buscó validar la información utilizando el sistema “Fire Information for Resource Management System” – FIRMS (que en español se traduce como “Sistema de Información de Incendios para la Gestión de Recursos”) de la NASA, el cual utiliza satélites como Aqua MODIS y Terra MODIS. Estos satélites proporcionan datos cruciales sobre incendios forestales y de residuos sólidos, permitiendo una comparación temporal y espacial con los sitios de disposición final encontrados. Esto también se buscaba para proporcionar una validación indirecta de los eventos observados a través de las notas de prensa, las cuales usualmente no ofrecen información cuantitativa de valor científico ni altamente confiable.

Se pidió para esto la información disponible del cuadrante para definir un rectángulo que cubra todo el estado de Chihuahua, México (coordenadas en el formato “Lon, Lat, Lon, Lat”: -109.0458, 32.7187, -103.4823, 25.8374). Se logró una base de datos del periodo comprendido entre el 10/11/2000 y el 16/06/2024 con 509,513 registros de incendios que se empataron con la lista de localización geográfica de los SDF.

En menor medida, se verificó la información con el Sistema Nacional de Información Forestal, que contiene una base de datos del 2015 al 2023 sobre incendios forestales que representan peligro para el medio ambiente. Esta base de datos ya incluye, por defecto, un campo llamado “causa” y “causa específica”, donde se indica si un incendio fue originado por “quema de basureros” en el concepto general y distingue entre “basurero irregular” o “relleno sanitario” en lo específico.

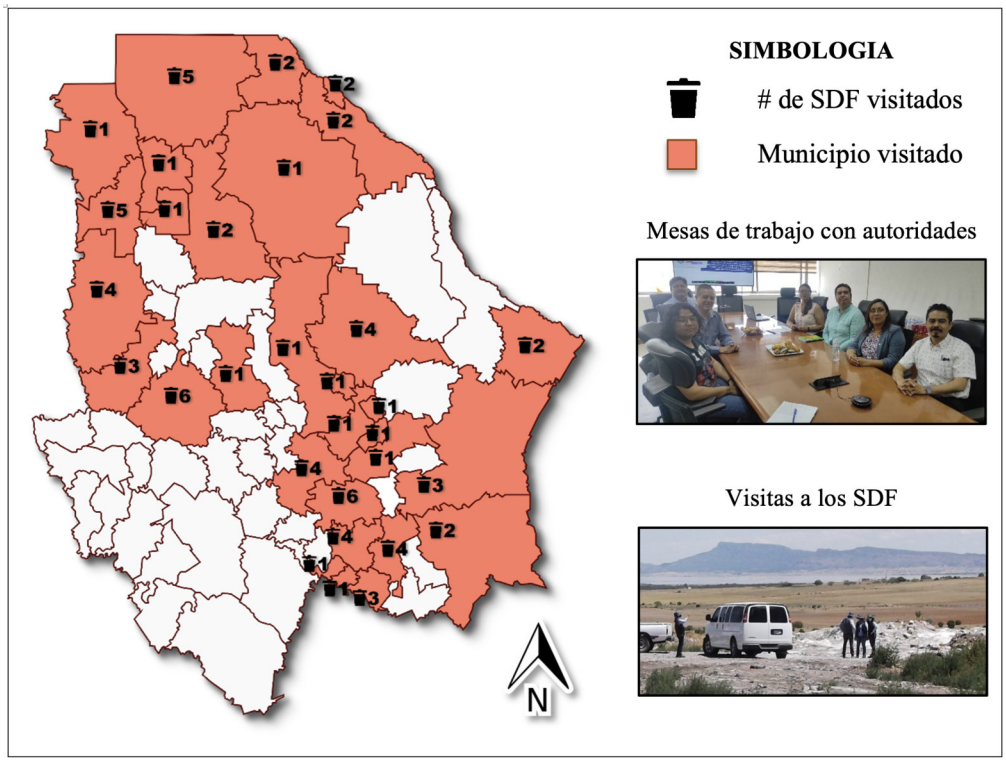


Figura 1: Municipios visitados presencialmente para levantamiento de evidencia y generación de relaciones con los encargados

Aunque la base de datos abarca una amplia variedad de causas de incendios, estas categorías son particularmente relevantes para el análisis de incidentes relacionados.

2.4. Consulta a Portal de Transparencia del Gobierno de México

Finalmente, se realizaron consultas adicionales a través del portal de transparencia del gobierno de México para validar y obtener datos complementarios. En estas consultas, se identificaron a los bomberos, gobiernos municipales y organismos de protección civil como principales actores en la gestión de incidentes relacionados con residuos sólidos y riesgos ambientales.

3. Resultados y discusión

3.1. Determinación de Sitios de Disposición Final (SDF) en el estado

Logros generales del trabajo realizado en campo

Se lograron visitar presencialmente 32 municipios y evaluaciones en 78 sitios de disposición final del Estado de conformidad a la Figura 1.

Aunque inicialmente no se contemplaron como uno de los objetivos generales, las siguientes acciones fueron fundamentales para alcanzar el objetivo propuesto, especialmente en relación a los incendios:

- Comunicación Efectiva con Autoridades Locales: En cada municipio visitado, se realizaron reuniones técnicas con los departamentos pertinentes. Este enfoque de comunicación efectiva fue clave para fortalecer las relaciones con las autoridades locales, permitiendo corroborar información y establecer las bases para futuras colaboraciones y acciones coordinadas.

- Recolección de Datos y Evidencia Gráfica: Se implementó una evaluación exhaustiva de cada sitio, que incluyó la recopilación de documentos, datos y evidencia gráfica. Estas visitas de campo y la verificación de información con las autoridades locales fueron esenciales para el desarrollo del proyecto, asegurando que las conclusiones y recomendaciones finales estuvieran basadas en hechos concretos y observaciones directas.

Definición de número y localización de SDF

De conformidad a la revisión de literatura y las consultas en los documentos oficiales se observó una gran disparidad en los datos (ver Figura 2).

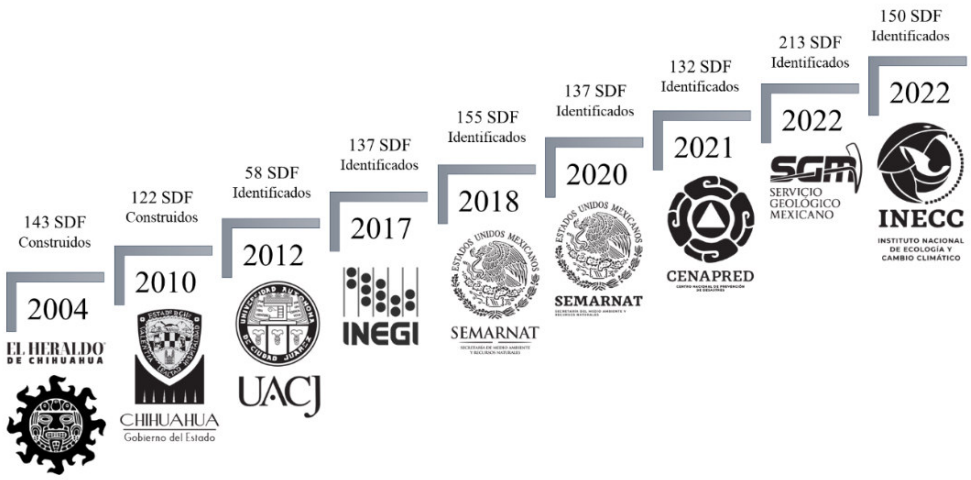


Figura 2: Identificación de sitios de disposición final en el estado de Chihuahua, por diferentes fuentes bibliográficas en diferentes años de reporte

Sin embargo, estos documentos sentaron la primera base para la identificación de los SDF reales en el Estado con lo que se generó un primer listado. Este listado se alimentó posteriormente de la información específica de las entrevistas, las menciones en las notas de periódico y finalmente la localización visual en el Google earth (utilizando las herramientas de visión temporal para localizar también los SDF abandonados).

De esta manera al momento de la edición de este trabajo se lograron localizar 442 SDF en el Estado, de manera totalmente diferenciada. El 86.1% se visualizaron activos mientras que el resto tenían algún proceso de clausura o abandono (el 13.9%).

Conviene destacar que, al realizar el listado gráfico de los SDF mediante imágenes satelitales, se buscó validar estas observaciones con visitas de campo. En todos los casos, se confirmó que los sitios identificados desde el escritorio como SDF lo eran efectivamente al ser visitados.

3.2. Creación y validación de una base de datos de los incendios acontecidos en el estado de Chihuahua.

Se logró generar una base de datos que incluye hasta 1,165 notas y documentos recopilados desde 1980 hasta la fecha actual, abarcando 40 años en tiempo y espacio. En esta base de datos se recopilaron datos cualitativos que abordan temas sociales, técnicos y políticos de prácticamente todos los municipios. Estos datos son de gran interés, pero debido a su complejidad, aún están siendo analizados y verificados.

Se observó sin embargo lo siguiente de manera general:

- Se encontró ambigüedad en muchos de los datos, algunos de los cuales mostraban tendencias y sesgos políticos según el autor. Sin embargo, la diversidad de autores y fuentes de noticias contribuyó a mitigar este problema.
- Hubo poca representatividad de los pequeños municipios y asentamientos, dificultando la obtención de datos relacionados con su importancia demográfica, la cual está directamente ligada al número de habitantes.
- Los datos antiguos fueron escasos y en su mayoría incompletos. A pesar de los esfuerzos por complementar la información encontrada a través de varios medios, es una realidad que los datos históricos tienden a perderse con el tiempo. Por lo tanto, surge la necesidad de compartir y preservar esta información para una planificación adecuada.
- Se observó casi una ausencia de datos técnicos y muchas notas exageradas, destacando la importancia de capacitar y entrenar a los reporteros en este sector. Aunque la información proporcionada puede ser cuestionable en algunos casos, frecuentemente es la única disponible a largo plazo, dado que los estudios técnicos son escasos o se consideran perdidos por las autoridades responsables de su conservación.
- Hay datos que son únicos, que es muy difícil validar, pero que no por ello son menos importantes. Es necesario buscar una manera de ponderarlos.

En cuanto a la validación por el sistema de FIRMS resultó muy interesante descubrir que en todos los casos donde existieron coincidencias de información, se validó que efectivamente se trataba de un incendio. Sin embargo, no en todos los casos se pudo comprobar. Solo 311 registros

pudieron ser validados como coincidencias de incendios en SDF, las cuales se constituyeron entre las coordenadas de los SDF encontrados y las fechas de acontecimientos de las otras fuentes.

De igual manera la información brindada por el sistema si bien es más útil a nivel técnico, no es completa, descartando cuestiones que indican porque se genera el incendio, la parte social-técnica y política, así como se observaron limitaciones en el uso de datos.

En cuanto a las limitaciones de uso de este sistema para con respecto a los incendios causado por basureros:

- A final de cuentas la identificación de irradiación y termográfica esta sujeta a la tecnología. Entre más atrás en el tiempo nos referimos a un hecho menos precisión e índice de detección se tiene.

- No todos los incendios pueden ser detectados por este sistema:

    - Tamaño y Intensidad del Incendio: Los incendios muy pequeños o de baja intensidad pueden no generar suficiente calor o humo detectable desde el espacio para ser captados por los sensores remotos utilizados. Esto descarta que en la mayoria de los casos los SDF muy pequeños no reflejen su comportamiento
    - Localización Subterránea: Si el incendio está localizado principalmente bajo tierra o en capas profundas de residuos, es posible que no emita suficiente calor o humo hacia la superficie para ser detectado por los satélites. Esto se vio al comparar notas de incendios que duraban días contra la detección que solo era por horas y no se extendía en todos los casos.
    - Interferencia de Otros Fenómenos Atmosféricos: Factores como la presencia de nubes densas, niebla o condiciones meteorológicas adversas pueden obstruir la visión satelital y dificultar la detección precisa de incendios, incluidos los incendios en basureros.
    - Frecuencia y Tiempo de Revisión: Aunque los satélites de FIRMS realizan escaneos frecuentes de la superficie terrestre, existen lapsos en los que un incendio podría iniciarse y extinguirse antes de ser detectado. FIRMS utiliza datos de los satélites MODIS y VIIRS. Los satélites Terra y Aqua, que operan con el sensor MODIS, tienen órbitas polares y cubren todo el globo dos veces al día con actualizaciones cada 6 horas. El sistema VIIRS, también en órbita polar, ofrece actualizaciones cada 12 horas, proporcionando una cobertura global diaria. Sin embargo, la detección de incendios de corta duración es limitada debido a estos intervalos de actualización.
    - Detección Limitada de Fuentes de Calor: Los sensores infrarrojos a bordo de los satélites están diseñados para detectar fuentes de calor significativas y persistentes. Incendios de basureros que generan menos calor o que son de corta duración pueden no ser identificados por estos sistemas.

- Ocultamiento Visual: Algunos incendios pueden estar ocultos por estructuras o terreno elevado, lo que dificulta su visibilidad desde el espacio. Esto se observó especialmente en los sitios de disposición final (SDF) grandes, como el de Ciudad Chihuahua. En este caso, las montañas de residuos, zanjas, declives y estructuras dentro del SDF pudieron actuar como barreras, ocultando la detección de incendios por los satélites actuando como interferencias físicas.

En cuanto a la validación con la información proporcionada por el Sistema Nacional de Información Forestal, esta resultó ser considerablemente más limitada debido al tamaño reducido de la base de datos original, que cuenta únicamente con 5,333 registros. Se lograron encontrar solo 5 coincidencias. No obstante, esta información fue valiosa ya que proporciona datos más detallados que permiten visualizar el impacto ambiental, especialmente en zonas escasamente pobladas y/o rurales. Además, se observó que los datos proporcionados suelen ser más actualizados en comparación con otras metodologías utilizadas.

Finalmente, como parte de la validación final, se consideró el sistema de consultas por transparencia. Se logró recopilar y organizar las solicitudes de información ingresadas desde el 24 de agosto de 2023 hasta el 04 de abril de 2024, sumando un total de 338 solicitudes. De estas, se respondieron satisfactoriamente 245 solicitudes. Según se muestra en la Figura 3, hasta el 23 de abril del presente año, el 90% de los municipios han respondido a los cuestionarios planteados.

En términos generales, la información proporcionada por los municipios a través de este último recurso ha complementado significativamente el estudio. Aunque se carece de datos sólidos y la información a lo largo del tiempo ha sido dispersa, la recopilación de datos de tipo administrativo-financiero ha sido muy útil para analizar trabajos futuros sobre el tema. Es importante señalar que no se debe ignorar ningún dato en este sentido, ya que la ventaja de este sistema radica en que proporciona respuestas oficiales con firmas y sellos de la autoridad. Incluso cuando se manifiesta la inexistencia de cierta información, sigue siendo una respuesta valiosa que ayuda a definir el estado del conocimiento en el tema.

4. Conclusiones

Este estudio ha proporcionado una visión integral sobre la incidencia y características de los incendios en sitios de disposición final (SDF) en el estado de Chihuahua, abarcando un período de más de cuatro décadas. A través de la combinación de análisis de imágenes satelitales y revisión bibliográfica, se han obtenido varios hallazgos significativos que destacan la complejidad y frecuencia de estos eventos.

4.1. Puntos principales del estudio

- Frecuencia de Incendios en SDF: Se observó que, a pesar de la percepción inicial de un bajo índice de incendios, la evidencia recopilada sugiere una frecuencia mayor de lo reportado

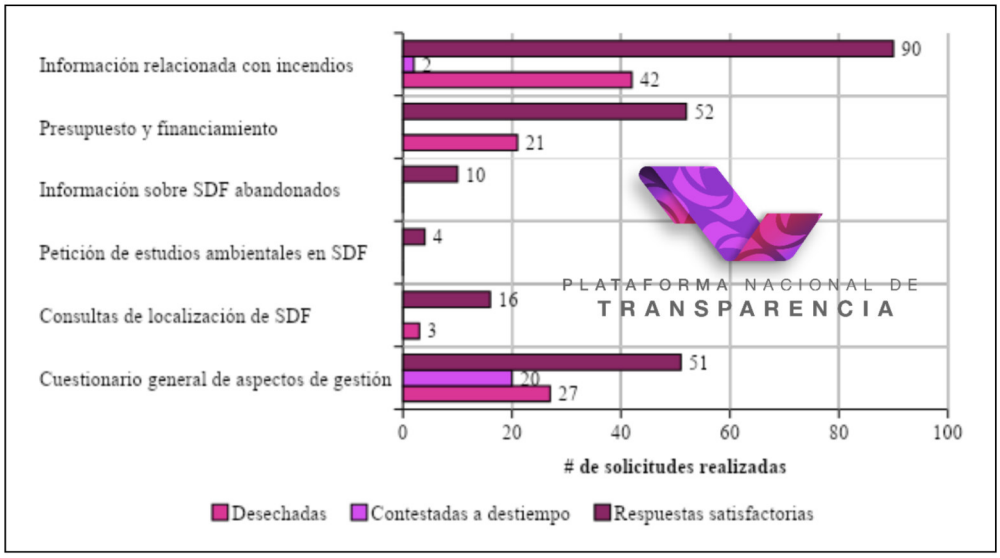


Figura 3: Análisis general del estatus de las solicitudes Ingresadas por el portal de transparencia

oficialmente. Esto también depende de los municipios, que suelen tener incendios y no los reportan. Usualmente reportan un incendio cuando es grande y no pudieron controlarlo, requiriendo ayuda de otros municipios. Esto es especialmente relevante en el contexto de Chihuahua.

- Metodologías de Recolección y Validación de Datos: La integración de datos de fuentes variadas, incluyendo notas de prensa, bases de datos satelitales y consultas por transparencia, permitió una triangulación efectiva de la información. Cada método contribuyó de manera única, ofreciendo una perspectiva más completa de la situación. Resulta necesario combinar información de esta forma, sobre todo en un tema en el cual los registros oficiales y/o técnicos son prácticamente nulos.

- Limitaciones en la Detección de Incendios: Se identificaron varias limitaciones tecnológicas y metodológicas en los sistemas de detección de incendios, como la dificultad para detectar incendios de baja intensidad o subterráneos y la interferencia de condiciones atmosféricas adversas.

- Información Proporcionada por el Sistema Nacional de Información Forestal: Aunque esta fuente de datos fue limitada en volumen, resultó valiosa por la profundidad y actualización de la información proporcionada, especialmente en áreas rurales.

- Importancia de los Datos Administrativos-Financieros: La recopilación de información a través del portal de transparencia, aunque dispersa y a veces incompleta, ha sido útil para analizar futuros trabajos y comprender mejor la gestión administrativa y financiera relacionada con los incendios en SDF.

4.2. Importancia del Trabajo y Aplicaciones Futuras

Este estudio resalta la importancia de desarrollar estrategias más efectivas para la gestión de residuos y la prevención de incendios en SDF. Las siguientes recomendaciones se desprenden de los hallazgos:

- Mejorar los Sistemas de Detección: Es esencial avanzar en la tecnología de detección de incendios, incorporando sistemas más sensibles y adaptados a las condiciones específicas de los SDF. Además, es crucial abordar la medición precisa de las emisiones contaminantes generadas por los incendios, no solo para entender el impacto inmediato del fuego, sino también para evaluar su contribución a la contaminación ambiental a largo plazo.

- Capacitación y Entrenamiento: Mejorar la capacitación de los responsables locales y reporteros para aumentar la calidad y precisión de los datos recolectados. Se planea ofrecer un taller basado en la guía de CENAPRED para trabajar con las autoridades locales en este aspecto.

- Colaboración y Coordinación: Fomentar la cooperación entre autoridades locales, estatales y nacionales para una gestión integrada y efectiva de los SDF.

- Desarrollo de Indicadores: Crear indicadores robustos que permitan medir y monitorear de manera continua la incidencia de incendios, facilitando la toma de decisiones basadas en datos concretos.

- Prevención Activa de Incendios: Buscar difundir las prácticas preventivas de los incendios, como son la compactación, la cobertura diaria de residuos, y/o la instalación de pozos de venteo, para reducir el riesgo de incendios por residuos expuestos como potencial combustible, el acceso al aire como comburente, y la acumulación de gases inflamables.

- Compromiso con el Sector Informal: Establecer acuerdos con los pepenadores para regular y controlar sus actividades dentro de los SDF. Esto incluye evitar la quema de residuos para extraer metales, que es una causa común de incendios.

- Presencia Permanente del Personal: Asegurar que el municipio asigne personal permanente en los SDF, incluyendo vigilantes, para monitorear y responder rápidamente a cualquier incidente. La presencia de personal capacitado puede prevenir incendios y mejorar la seguridad general del sitio.

- Educación Ambiental a la Comunidad: Implementar programas de educación ambiental para concienciar a la comunidad sobre los riesgos asociados con los incendios en SDF y destacar que el fuego no forma parte del manejo habitual de los residuos. Este esfuerzo puede cambiar las percepciones comunes y promover prácticas más seguras en la gestión de residuos.

4.3. Importancia del Trabajo y Aplicaciones Futuras

El presente estudio abre la puerta para investigaciones futuras que profundicen en áreas específicas, tales como:

- Impacto Ambiental y Salud Pública: Evaluar más detalladamente los efectos de los incendios en SDF sobre la salud pública y el medio ambiente. Es crucial desarrollar estudios que midan en campo los contaminantes específicos generados por estos incendios, ya que actualmente hay una falta de datos concretos sobre el tipo y la cantidad de emisiones. Este tipo de investigación ayudará a comprender mejor el impacto directo de los incendios en la calidad del aire y la salud de las comunidades cercanas, facilitando la implementación de políticas de mitigación efectivas.
- Análisis Temporal y Espacial: Realizar estudios longitudinales que analicen las tendencias temporales y espaciales de los incendios en SDF.
- Evaluación de Políticas y Estrategias: Examinar la efectividad de las políticas actuales de gestión de residuos y proponer mejoras basadas en los hallazgos del estudio, considerando también el cumplimiento de la normativa actual como un punto clave.

Este trabajo no solo resalta la necesidad urgente de abordar los incendios en SDF con tecnologías y metodologías más avanzadas, sino también de fortalecer la colaboración interinstitucional y el intercambio de información para una gestión más eficaz y sostenible de los residuos sólidos en Chihuahua y más allá.

Además, es crucial mencionar que se busca procesar, refinar y trabajar los datos obtenidos para, a través de un sistema de machine learning, posibilitar la predicción de ciertos eventos relacionados con los incendios mediante inteligencia artificial. Esto no solo contribuiría a una mejor prevención y gestión de los incendios en sitios de disposición final, sino que también podría servir como modelo para otras regiones con desafíos similares en la gestión de residuos sólidos. Finalmente, hechar mano e integrar la tecnología avanzada con los métodos tradicionales de recopilación y análisis de datos es esencial para mejorar la seguridad y sostenibilidad ambiental en el manejo de residuos.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV) por el apoyo brindado. También extendemos nuestro agradecimiento al Departamento de Prevención y Gestión de la Contaminación del Gobierno del Estado de Chihuahua, en particular a Luisa Mariñelarena y a todos sus inspectores: Laura, César, Edith, Pablo, Rubén, Antonio, y aquellos que participaron posteriormente o de manera indirecta. Agradecemos a los municipios que nos recibieron y mostraron interés en nuestro trabajo. Finalmente, queremos reconocer a los compañeros dentro y fuera

del proyecto, incluyendo a La Salle, Proyectos Especiales del Gobierno del Estado de Chihuahua, UACJ, y el Departamento de Medio Ambiente y Energía de CIMAV.

Referencias bibliográficas

[1] Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2024, 15 de agosto). *Atlas nacional de riesgos*. Recuperado de http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/

[2] Gobierno del Estado de Chihuahua. (2010). *Sexto Informe de Gobierno. Administración Estatal 2004-2010*. Ediciones de Gobierno del Estado de Chihuahua.

[3] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). *Atlas Nacional de residuos sólidos urbanos* (Ruiz Suárez L. G., Gavilán García A., Mendoza Cantú A., Ramírez Muñóz T., & Araiza Aguilar J. A., Eds.).

[4] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales*. INEGI.

[5] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (Eds.). (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank.

[6] Masalegooyan, Z., Piadeh, F., & Behzadian, K. (2022). A comprehensive framework for risk probability assessment of landfill fire incidents using fuzzy fault tree analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 163, 679–693. https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.031

[7] Moqbel, S. Y. (2009). *Characterizing spontaneous fires in landfills* (Doctoral dissertation, University of Central Florida). Recuperado de https://stars.library.ucf.edu/etd/3855

[8] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2021a). *Informe de línea base: Coalición para el cierre progresivo de los basurales en América Latina y el Caribe*. [Borrador Final]. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34804/LACDUMSP.pdf?sequence=5&isAllowed=y

[9] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2021b). *Hoja de ruta para el cierre progresivo de los basurales en América Latina y el Caribe*. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34919/Roadmap_ES.pdf?sequence=8&isAllowed=y

[10] Sánchez Gómez, J. (2021). *Guía para el control de incendios en vertederos de residuos sólidos* (Versión electrónica marzo de 2021). Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Coordinación Nacional de Protección Civil. Recuperado de https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2021/03/GUIA_PARA_EL_CONTROL_DE_INCENDIOS_EN_VERTEDEROS_DE_BASURA_CENAPRED_2021.pdf

[11] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). *Boletín estadístico y geográfico de residuos sólidos urbanos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales*. SEMARNAT.

[12] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos* (1a ed.). Lucart Estudio S.A. de C.V. Recuperado de `http://www.gob.mx/semarnat`

[13] Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2022). *Estudios para la localización de sitios de confinamientos de desechos urbanos, industriales y radiactivos en el estado de Chihuahua* (preliminar). Servicio Geológico Mexicano.

[14] Topete Bernal, J. E. (2004, 12 de febrero). Han construido 143 rellenos sanitarios: Cano Hermosillo. *El Heraldo de Chihuahua*.

[15] Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). (2012). *Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Chihuahua*. Primera edición. Gobierno del Estado de Chihuahua; Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Índices de contaminación de los lixiviados del relleno sanitario de Tenango del Valle, México

Salvador Flores Reyes[1], Gisela Inés Hernández Contreras[1], María del Consuelo Hernández Berriel[*,1], Fredy Cuellar Robles[1], María del Consuelo Mañón Salas[2]

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

[2]Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n, Colonia Agrícola Bellavista, C.P. 52149, Metepec, Edo. de Méx., México.

[*]Correo electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen

El lixiviado es un líquido que se genera durante el proceso de descomposición de los residuos sólidos urbanos vertidos en los sitios de disposición final. Su composición depende de las características de los residuos que son depositados, de la humedad que contengan y de la cantidad de lluvia que se infiltre. La construcción, operación y monitoreo deficientes del sitio, incluyendo el diseño de la impermeabilización y sistema de recolección de lixiviados, pueden causar impactos ambientales en suelo, vegetación y fauna. Además, pueden ocasionar filtraciones hacia aguas subterráneas o superficiales cercanas y afectar la salud humana. El objetivo fue determinar el potencial contaminante de los lixiviados generados en el relleno sanitario de Tenango del Valle, Estado de México. El muestreo se realizó en tres puntos y se estimó el "Índice de contaminación de lixiviados" para nueve contaminantes criterio. Los resultados obtenidos fueron un "Índice de contaminación de lixiviados" de 15.171, 22.196 y 23.136 para Laguna, Cárcamo 1 y Cárcamo 2, respectivamente. El Cárcamo 2 fue el más contaminado en cuanto a Demanda química de oxígeno y Sólidos volátiles totales, aunque considerando el rango de 5 a 100, tuvo un "Índice de contaminación de lixiviados" bajo. Estos índices son menores a los reportados para los lixiviado del relleno sanitario de San Francisco del Rincón, Guanajuato (34.8) y similares a los del relleno sanitario de Zinacantepec, Estado de México (21.77). Determinar el "Índice de contaminación de lixiviados" permite a los responsables de los sitios de disposición final mejorar sus operaciones.

Palabras clave: *sitio de disposición final*, *índice de contaminación*, *lixiviado*, *relleno sanitario*

1. Introducción

El lixiviado se forma como resultado de múltiples reacciones químicas y biológicas de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que ocurren dentro del Sitios de Disposición Final (SDF), los cuales pueden ser del tipo rellenos sanitarios (RESA), Sitio Controlado (SC) o Sitios No Controlados (SNC). Este

líquido se caracteriza por contener altas concentraciones de compuestos orgánicos, inorgánicos y xenobióticos (Chavez Montes, 2011; DOF, 2004).

Para los SDF tanto en operación como clausurados, el correcto manejo de lixiviados que incluya su tratamiento y monitoreo suele ser tan importante, como el mismo proceso operacional de confinar los RSU. Investigadores coinciden en que los SDF sin impermeabilización o con un deficiente monitoreo de lixiviados, pueden ser una amenaza significativa para el ambiente y la salud humana, ya que pueden contaminar aguas subterráneas y superficiales debido a la disipación a través del suelo y subsuelo y también pueden llegar a la cadena trófica o bien por medio el escurrimiento superficial debido a las lluvias, llegar a granjas y áreas residenciales (Baderna y otros, 2011; Chavez Montes, 2011).

Los lixiviados causan impactos negativos en los suelos en los suelos donde son construidos los SDF, en Colombia se estudiaron dos muestras de suelo una de ellas contaminada con lixiviados por más de 15 años y otra no contaminada, los resultados fueron que la muestra contaminada presentó una degradación geotécnica del suelo (Quintero Ramírez y otros, 2017). En Nigeria se estudiaron las aguas subterráneas cercanas a tres SDF abandonados, donde se obtuvo que el Pb y el Ni excedieron el límite permitido pudiendo causar riego a la salud de la población (Afolabi y otros, 2022).

El potencial contaminante de lixiviados puede ser medido con modelos matemáticos, como el Índice de Contaminación de Lixiviado (ICL), desarrollado por Kumar y Alappat (2005). Para calcular el ICL es necesario contar con los resultados de 18 parámetros de caracterización fisicoquímica y biológica de los lixiviados, los resultados se muestran en escala numérica ascendente del 0 -100 para comparar y medir el potencial de contaminación de un lixiviado en estudio. Este índice ha sido empleado en distintas partes del mundo (Anjali y Alok, 2016; Kumar & Alappat, 2005; Márquez Benavides & Sanchez Yañez, 2014; Rafizul & Alamgir, 2013; Umar y otros, 2010), con la finalidad de evaluar el potencial de contaminación de los lixiviados de un sitio a otro y poder establecer medidas de remediación en el manejo y disposición final de residuos sólidos. El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial contaminante de los lixiviados generados en el relleno sanitario (RESA) de Tenango del Valle, Estado de México, mediante el cálculo de los ICL.

2. Metodología

Las etapas requeridas para llevar a cabo esta investigación se muestran en la Figura 1, posteriormente se describen cada una de las actividades realizadas.

2.1. Definición del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el municipio de Tenango del Valle, ubicado al sur-poniente del Estado de México; Pertenece a la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Este municipio colinda al norte con los municipios de Toluca, Calimaya y Rayón, al sur con Villa Guerrero y Tenancingo,

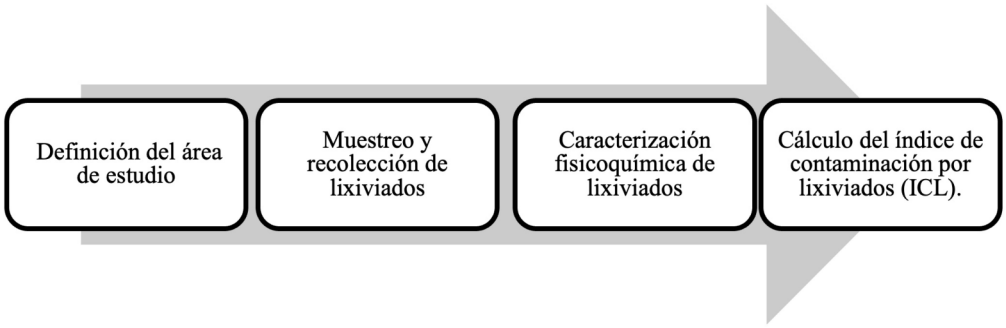


Figura 1: Diagrama de las etapas de la investigación

al este con los municipios de Joquicingo y Texcalyacac, y al oeste Zinacantepec y Coatepec Harinas (BM, 2022).

2.2. Muestreo y recolección de lixiviados

Los lixiviados fueron muestreados con base en la norma técnica de aguas residuales NMX-AA-003-1980 (SE, 1980), debido a que en México no se cuenta con una específica para lixiviados. La preservación se realizó conforme lo establece la normatividad para cada tipo de parámetro (GM, 2016).

2.3. Caracterización fisicoquímica de lixiviados

La caracterización fisicoquímica para las muestras de lixiviados obtenidas en el SDF en estudio, se realizó conforme a las normas y métodos que se listan en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros analíticos para muestras de lixiviados

Parámetro	**Norma / Método**
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013[a]
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016[b]
$N\text{-}NH_3$	NMX-AA-026-SCFI-2010[c]
DQO	NMX-AA-030/2-SCFI-2011[d]
SVT	NMX-AA-034-SCFI-2015[e]
Metales pesados	NMX-AA-051-SCFI-2016[f]
SO_4^{-2}	NMX-AA-074-SCFI-2014[g]
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2018[h]

Fuente: [a]SE, 2013; [b] SE, 2016a; [c] SE, 2010; [d] SE, 2011; [e] SE, 2015; [f] SE, 2016b; [g] SE, 2014; [h] SE, 2018

2.4. Cálculo de índice de contaminación por lixiviados

El ICL es una herramienta matemática para calcular un valor único a partir de varios parámetros fisicoquímicos y biológicos del lixiviado de un SDF (Kumar & Alappat, 2005). El ICL tiene un rango que va de 5 a 100 y, aunque los autores no declaran intervalos, se infiere que un valor cercano a 5 indica un potencial de contaminación bajo, un valor alrededor de 50 es contaminación media y un valor cercano a 100 señala un alto potencial de contaminación. Debido a que algunos de los parámetros para caracterizar lixiviados pueden no ser determinados, por aspectos técnicos o económicos, el ICL se puede calcular utilizando 18 o menos parámetros con la Ecuación 1 propuesta por Kumar y Alappat (2005), así como por la modificación al modelo validado por Anjali y Alok (2016), la cual puede usarse hasta para 6 parámetros.

$$ICL = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i p_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} \tag{1}$$

donde: ICL es el Índice de Contaminación de lixiviados, w_i es el peso para la variable del contaminante, p_i es el valor del subíndice para la variable contaminante de lixiviados y m es el número de variables de contaminantes de lixiviados usadas en el cálculo.

3. Resultados y discusión

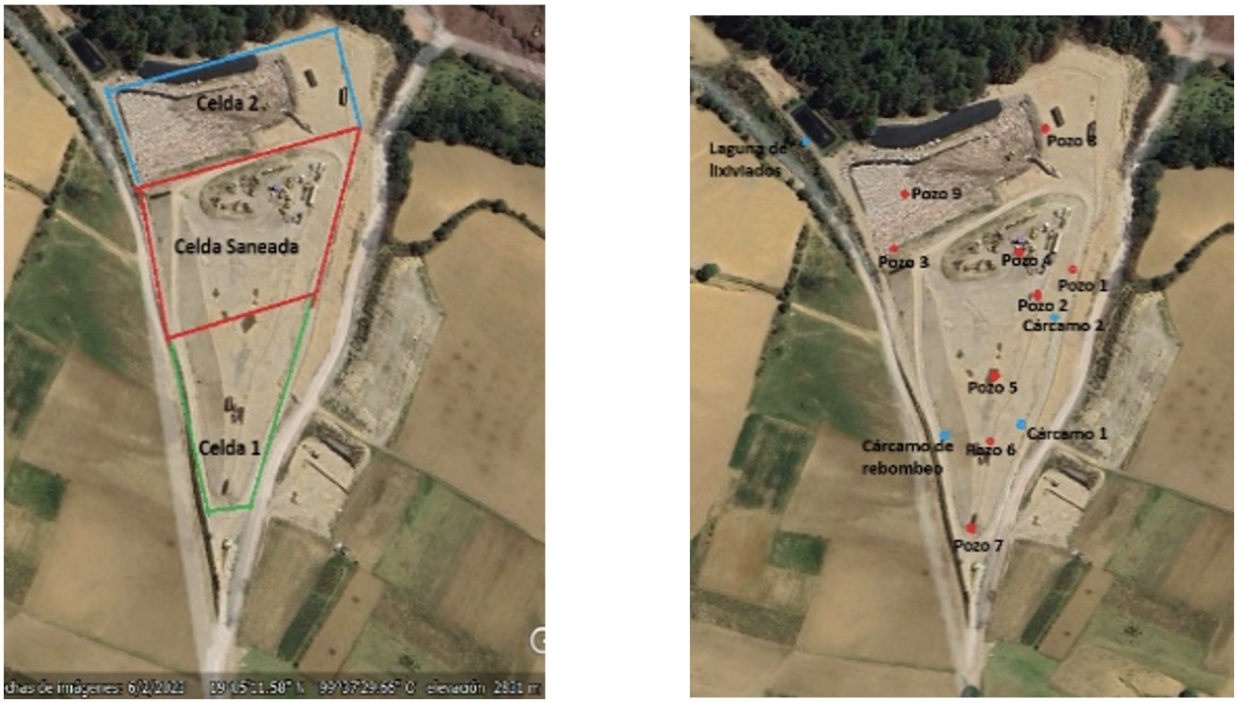
En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante las actividades realizadas en la metodología y las comparaciones correspondientes.

3.1. Definición del área de estudio

El SDF se ubica al sur-poniente del Estado de México, en el municipio de Tenango del Valle, según el Portal de Consulta del Sistema Integral de Residuos (SIREM), es tá registrado como RESA, cuenta con un área total de 39,266.36 m2 y se localiza en las coordenadas geográficas: 19.087842043752104, -99.62682302833176 y 2,852 msnm (GEM, 2024). Ubicado en Parajes Acatzingo y el Guajolotal, Ejido San Bartolomé Atlatlahucan (Figura 2a). El SDF es intermunicipal ya que ofrece servicio de disposición a 11 municipio aledaños y es considerado un RESA, tipo A, recibe en promedio 410 t/d. La composición de los RSU se obtuvo previamente en época de lluvias con base en la NMX-AA-022-1985, en la superficie de la Celda 2 fue de 32.8% de orgánicos, 22.3% de inorgánicos y el 44.9% de residuos susceptibles de aprovechamiento (SEMARNAT, 2017).

3.2. Muestreo y recolección de lixiviados

El sistema de recolección de lixiviados del RESA consiste en una laguna de evaporación, a la que se envían los lixiviados del Cárcamo de rebombeo y los Cárcamos 1 y 2 se recirculan a la celda a través del pozo de venteo número 2 (Figura 2b). Se tomaron muestras de la Laguna, Cárcamo 1 y Cárcamo 2, cuidando enjuagar con el propio de lixiviado los recipientes limpios de polietileno de



(a) (b)

Figura 2: (a) Sitio de disposición final de Tenango del Valle, Edo. Méx. (b) Ubicación de los puntos de muestreo de lixiviados

alta densidad de un litro. Adicionalmente se tomaron muestras de 250 mL de cada punto de muestreo y se preservaron con HNO_3 y H_2SO_4 para las determinaciones de metales pesados y Demanda Química de Oxigeno (DQO), respectivamente, hasta pH de 2.0. Las muestras se transportaron al laboratorio en una caja fría y se almacenaron a 4 °C hasta la realización de los análisis.

3.3. Caracterización fisicoquímica de los lixiviados

Se determinaron nueve de los 18 parámetros indicados por Kumar y Alappat (2005) para el cálculo de ICL, de las muestras tomadas de la Laguna, Cárcamo 1 y Cárcamo 2, con base en las normas indicadas anteriormente (Tabla 1). En la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, para la determinación se usaron los valores de pH, SVT, DQO y N-NH_3. En la Tabla 3 se registraron los resultados del estudio de seis metales pesados y se utilizaron los valores de Pb, Cu, Ni, Zn y Fe.

Tabla 2: Parámetros fisicoquímicos de los lixiviados muestreados

Parámetro	Norma / Método	Unidades	Laguna de lixiviados	Cárcamo 1	Cárcamo 2	Límite[a]
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	NA	9.3	8.1	8.4	6.0 - 9.0
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2018	mS/cm	6.7	10.6	12.1	NR
SVT	NMX-AA-034-SCFI-2015	mg/L	11,378.0	17,519.0	19,996.0	60 - 72
DQO	NMX-AA-030/2-SCFI-2011	mg/L	5,219.0	9,914.0	11,893.0	150 - 180
$N\text{-}NH_3$	NMX-AA-026-SCFI-2010	mg/L	75.6	520.6	528.5	NR
SO_4^{-2}	NMX-AA-074-SCFI-2014	mg/L	8.3	15.9	15.3	NR

[a] Límite máximo permisible (promedio diario - promedio mensual), NOM-001-SEMARNAT-2021
NR (no registrado)

Tabla 3: Concentraciones de metales pesados en los lixiviados

Parámetro	Norma / Método	Unidades	Laguna de lixiviados	Cárcamo 1	Cárcamo 2	Límite[a]
Pb	NMX-AA-051-SCFI-2016	mg/L	0.18	0.12	0.12	0.2 – 0.3
Cu	NMX-AA-051-SCFI-2016	mg/L	0.52	0.02	0.41	4.0 - 5.0
Ni	NMX-AA-051-SCFI-2016	mg/L	0.05	0.27	0.32	2.0 - 3.0
Zn	NMX-AA-051-SCFI-2016	mg/L	0.39	0.37	0.32	10 – 15
Fe	NMX-AA-051-SCFI-2016	mg/L	15.21	13.34	10.72	NR
Mn	NMX-AA-051-SCFI-2016	mg/L	0.17	0.87	0.61	NR

[a] Límite máximo permisible (promedio diario - promedio mensual), NOM-001-SEMARNAT-2021
NR (no registrado)

Los valores determinados en las muestras de lixiviados para los parámetros DQO y SVT representan riesgo ambiental, puesto que superaran los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021, esto se puede atribuir a la alta carga de contenido orgánico depositado en el

SDF, que por su valor pueden ser considerados como lixiviados jóvenes (DOF, 2022; Tchobanouglus, Vigil, & Theisen, 1994). En cuanto a N-NH_3 en las muestras, sus concentraciones son menores a las reportadas por Gerardi (2003) de 1,500 - 3,000 mg/L por lo que es un lixiviado que puede recircularse, toda vez que no representan riesgo para la metanogénesis.

3.4. Cálculo de índice de contaminación por lixiviados

Como se ha indicado, para el cálculo del ICL se utilizó el modelo matemático descrito por Kumar y Alappat (2005) y la validación al modelo cuando hay ausencia de parámetros reportada por Anjali y Alok (2016). En las Tablas 4, 5 y 6 se presentan los resultados de los nueve parámetros calculados de las muestras de la Laguna, el Cárcamo 1 y el Cárcamo 2, respectivamente. En las columnas de "Significancia" y "Peso del Contaminante (wi)" se colocaron respectivamente los valores que indica el método. El valor de "pi" se obtuvo interpolando la concentración obtenida del parámetro con las curvas del contaminante del modelo. La columna "wi pi" muestra el resultado de la multiplicación de estos valores. Finalmente, utilizando la ecuación 1, se obtuvieron los valores de ICL, para cada muestra. Para el caso de la Laguna se tuvo un ICL de 15.171, donde el contaminante de mayor impacto fue la DQO (Tabla 4), lo que significa que este lixiviado tiene valores altos de materia orgánica y requerirá mayor cantidad de oxígeno para llevar a cabo la biodegradación de sus componentes orgánicos.

Tabla 4: Cálculo del ICL de la muestra de la Laguna del SDF de Tenango del Valle

No.	Parámetro	Significancia	Peso del Contaminante (wi)	Concentración de la muestra	pi	wi pi
1	pH	3.509	0.055	9.3	12	0.660
2	SVT	3.196	0.050	11378	22	1.100
3	DQO	3.963	0.062	5219	60	3.720
4	N - NH_3	3.25	0.051	75.6	7	0.357
5	Fe	2.83	0.055	15.21	5	0.225
6	Cu	3.17	0.050	0.52	6	0.300
7	Ni	3.321	0.052	0.05	5	0.260
8	Zn	3.585	0.056	0.37	5	0.280
9	Pb	4.019	0.063	0.18	7	0.441
	TOTAL	30.843	0.484			**7.343**
					ICL	**15.171**

Para la muestra del Cárcamo 1, se obtuvo un ICL de 22.196 (Tabla 5), donde los contaminantes de mayor impacto son los SVT, DQO y el NH_3-N. Esto puede atribuirse a que se extrajo de un depósito cerrado donde confluyen los escurrimientos de la Celda 1, por lo que no es afectado por las precipitaciones pluviales, a diferencia de la Laguna, la cual se encuentra a la intemperie.

Tabla 5: Cálculo del ICL de la muestra del Cárcamo 1 del SDF de Tenango del Valle

No.	Parámetro	Significancia	Peso del Contaminante (wi)	Concentración de la muestra	pi	wi pi
1	pH	3.509	0.055	8.1	4	0.22
2	SVT	3.196	0.05	17519	42	2.1
3	DQO	3.963	0.062	9914	70	4.34
4	NH_3-N	3.25	0.051	520.6	55	2.805
5	Fe	2.83	0.055	13.34	5	0.225
6	Cu	3.17	0.05	0.02	5	0.25
7	Ni	3.321	0.052	0.27	4	0.208
8	Zn	3.585	0.056	0.37	5	0.28
9	Pb	4.019	0.063	0.12	5	0.315
	TOTAL	30.843	0.484			**10.743**
					ICL	**22.196**

En la Tabla 6, se presentan los resultados para el Cárcamo 2, con los que se obtuvo un ICL de 23.136. Los contaminantes con mayor impacto para esta muestra son SVT, DQO y NH_3-N. El ICL del Cárcamo 2 fue mayor que del Cárcamo 1, debido a que los lixiviados provienen de la Celda Saneada, cuya composición y cantidad de RSU son desconocidas y su operación se realizó sin control hasta el 2016.

Tabla 6: Cálculo del ICL de la muestra del Cárcamo 2 del SDF de Tenango del Valle

No.	Parámetro	Significancia	Peso del Contaminante (wi)	Concentración de la muestra	pi	wi pi
1	pH	3.509	0.055	8.4	4	0.22
2	SVT	3.196	0.05	19996	50	2.5
3	DQO	3.963	0.062	11893	75	4.65
4	NH_3-N	3.25	0.051	528.5	50	2.55
5	Fe	2.83	0.055	10.72	5	0.225
6	Cu	3.17	0.05	0.41	5	0.25
7	Ni	3.321	0.052	0.32	4	0.208
8	Zn	3.585	0.056	0.32	5	0.28
9	Pb	4.019	0.063	0.12	5	0.315
	TOTAL	30.843	0.484			**11.198**
					ICL	**23.136**

El lixiviado de Cárcamo 2 fue el que obtuvo el mayor ICL (23.136), en comparación con el ICL de Laguna y Cárcamo 1 (15.171 y 22.196, respectivamente) (Tabla 4 y 5). El valor alto del ICL de Cárcamo 2 está relacionado con los mayores valores obtenidos para DQO, SVT y N-NH3.

Existen trabajos que reportan el ICL en diferentes partes del mundo, como los lixiviados producidos por dos RESA en operación en Hong Kong, cuyos valores fueron 36.48 y 39.04 y, dos RESA clausurados también en Hong Kong, donde el ICL fue de 45.01 y 15.97 (Kumar & Alappat, 2005). Los reportados por un estudio en Bangladesh cuyo ICL fue de 21.77 (Rafizul & Alamgir, 2013) y en Malaysia con un ICL de 19.50 (Umar, Aziz, & Yusoff, 2010). En México también se han realizado estimaciones del ICL como los reportados por Márquez Benavides y Sánchez Yañez (2014) para los lixiviados del RESA de San Francisco del Rincón, Guanajuato (34.8) y los lixiviados del relleno sanitario de Zinacantepec, Estado de México (21.77), donde estos últimos son semejantes a los ICL de este trabajo, lo cual se atribuye a que Zinacantepec y Tenango del Valle son municipios cercanos, que poseen similitudes en el nivel socioeconómico de la población y en las actividades económicas y culturales.

4. Conclusiones

La estimación del ICL proporciona un método sencillo para evaluar el potencial de contaminación de los lixiviados de diferentes SDF en un momento determinado; el cual puede ser utilizado como una herramienta de información para los responsables del SDF, sobre el riesgo de contaminación que representan sus lixiviados.

El valor de ICL del Cárcamo 2 indica que el lixiviado producido en la Celda 2 es más contaminante, que los lixiviados del Cárcamo 1 que proceden de la Celda 1 y Laguna, por lo que es necesario establecer estrategias para su control y tratamiento.

Los ICL de los lixiviados muestreados presentaron valores de contaminación bajos en comparación con los reportados de los RESA de San Francisco del Rincón, Guanajuato y de los RESA clausurados de Hong Kong.

Agradecimientos

A la empresa Constructora de Rellenos Sanitarios, S.A. de C.V., por las facilidades brindadas para la realización del este trabajo. Al Instituto Tecnológico de Toluca, por el apoyo para el análisis de las muestras. Al CONAHCYT, por la beca proporcionada a los dos primeros autores, estudiantes del Doctorado en Ciencias Ambientales.

Referencias bibliográficas

[1] Afolabi, O., Wali, E., Ihuda, E., Orji, M., Emelu, V., Bosco-Abiahu, L., & Wali, O. (2022). Potential environmental pollution and human health risk assessment due to leachate con-

tamination of groundwater from anthropogenic impacted site. *Environmental Challenges*, 9. https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100627

[2] Anjali, G., & Alok, S. (2016). Development of model for prediction of Leachate Pollution Index (LPI) in absence of leachate parameter. *Waste Management*, 63, 327-336. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.026

[3] Baderna, D., Maggioni, S., Boriani, S., Gemma, S., & Lombardo, A. (2011). A combined approach to investigate the toxicity of an industrial landfill's leachate: chemical analyses risk assessment and in vitro assays. *Environmental Research*, 111(4), 603-613. https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.01.015

[4] BM. (2022, 5 de febrero). Bando Municipal de Tenango del Valle Estado de México. Obtenido de Gaceta Municipal: https://gestor.tenangodelvalle.gob.mx/archivos/exp-archivoJASULgz3.pdf

[5] Chavez Montes, W. (2011). Tratamiento de Lixiviados generados en el relleno Sanitario de la Ciudad de Chihuahua, México. Obtenido de Centro de Investigación de Materiales Avanzados: https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/Wendy%20Margarita%20Ch%C3%A1vez%20Montes%20MCTA.pdf

[6] Diario Oficial de la Federación (DOF). (2004, 20 de octubre). 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. Obtenido de https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf

[7] Diario Oficial de la Federación (DOF). (2022, 11 de marzo). NOM-001-SEMARNAT-2021 Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0

[8] Gobierno del Estado de México (GEM). (2024). Portal de Consulta del Sistema Integral de Residuos del Estado de México. Recuperado de http://187.188.85.202:8095/consulta-sirem/

[9] Gerardi, M. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digester*. Wiley-Interscience.

[10] Gobierno de México (GM). (2016). *Normas Mexicanas Vigentes del Sector Hídrico*. Recuperado de https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/normas-mexicanas-83266

[11] Kumar, D., & Alappat, B. (2005). Evaluating leachate contamination potential of landfill sites using leachate pollution index. *Clean Techn Environ Policy*, 7, 190–197. https://doi.org/10.1007/s10098-004-0269-4

[12] Márquez Benavides, L., & Sanchez Yañez, J. (2014). Evaluación del Índice de Contaminación de Lixiviados de Relleno Sanitario y Efecto fitotóxico en la Germinación y Plántula de *Phaseolus vulgaris*. *J. Selva Andina Res. Soc*, 5(1). http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942014000100003

[13] Quintero Ramírez, A., Valencia González, Y., & Lara Valencia, L. A. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. *DYNA. Revista de la Facultad de minas Universidad Nacional de Colombia*, 84(203), 283-290. https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.63875

[14] Rafizul, I., & Alamgir, M. (2013). Assessment of Parameters Involved in Leachate Pollution Index and Evaluation of Contamination Potential of Pilot Scale Landfill Lysimeter using LPI. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 39(1), 51-79. https://doi.org/10.5276/JSWTM.2013.51

[15] Secretaría de Economía (SE). (1980). *NMX-AA-003-1980 Análisis de agua. Muestreo*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166762/NMX-AA-003-1980.pdf

[16] Secretaría de Economía (SE). (2010). *NMX-AA-026-SCFI-2010 Análisis de agua - Medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales residuales y Residuales tratadas - Método de prueba*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166772/NMX-AA-026-SCFI-2010.pdf

[17] Secretaría de Economía (SE). (2011). *NMX-AA-030/2-SCFI-2011 Análisis de agua - Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales residuales y residuales tratadas – Método de prueba*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166775/NMX-AA-030-2-SCFI-2011.pdf

[18] Secretaría de Economía (SE). (2013). *NMX-AA-007-SCFI-2013 Análisis de agua - Medición de la temperatura en aguas naturales residuales y residuales tratadas - Método de prueba*. Recuperado de http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa007-2014_01.pdf

[19] Secretaría de Economía (SE). (2014). *NMX-AA-074-SCFI-2014 Análisis de agua - Medición del ion sulfato en Aguas naturales residuales y residuales Tratadas – Método de prueba*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166149/nmx-aa-074-scfi-2014.pdf

[20] Secretaría de Economía (SE). (2015). *NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales residuales y residuales tratadas - Método de prueba*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf

[21] Secretaría de Economía (SE). (2016a). *NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua - Medición del pH en aguas naturales residuales y residuales tratada*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf

[22] Secretaría de Economía (SE). (2016b). *NMX-AA-051-SCFI-2016. Análisis de agua - Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales potables residuales y residuales tratadas*. Recuperado de http://transparencia.japac.gob.mx/wp-content/uploads/art95/fxvi/normas/nmx-aa-051-scfi-2016.pdf

[23] Secretaría de Economía (SE). (2018). *NMX-AA-093-SCFI-2018. Análisis De Agua-Medición De La Conductividad Eléctrica En Aguas Naturales Residuales Y Residuales Tratadas - Método De Prueba*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166800/NMX-AA-093-SCFI-2000.pdf

[24] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017). *Normatividad aplicable al tema de residuos Sólidos Urbanos (RSU)*. Recuperado de https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/normatividad-aplicable-al-tema-de-residuos

[25] Tchobanouglus, G., Vigil, S., & Theisen, H. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. McGraw-Hill Interamericana de España.

[26] Umar, M., Aziz, H., & Yusoff, S. (2010). Variability of Parameters Involved in Leachate Pollution Index. https://doi.org/10.1155/2010%2F747953

Parte II

Caracterización de residuos

Caracterización elemental, proximal y térmica de biosólidos y biomasas lignocelulósicas para la obtención de biocarbonos

Luz María Landa Zavaleta[1,3], Claudia Adriana Ramírez Valdespino[2], David Aarón Rodríguez Alejando[4], Omar S. Castillo Baltazar[3], María de la Luz Xóchilt Negrete Rodríguez[1], Eloy Conde Barajas[1]

[1]Posgrado de Ingeniería Bioquímica, Tecnológico Nacional de México en Celaya, Antonio García Cubas 600, C.P. 38010, Celaya, Gto., México.
[2]Laboratorio de Nanotoxicología. Departamento de Medio Ambiente y Energía. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Av. Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, C.P. 31136, Chihuahua, Chih., México.
[3]Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Guanajuato Campus Celaya-Salvatierra, Mutualismo 303, C.P. 38060, Celaya, Guanajuato, México.
[4]Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km. 3.5+18 Comunidad de Palo Blanco Salamanca, Gto.

[*]Correo electrónico: eloy.conde@itcelaya.edu.mx

Resumen

Los biosólidos son residuos generados del tratamiento de aguas residuales, su disposición sigue siendo un reto debido a su composición y a las grandes cantidades que se producen. Dentro del manejo y disposición de biosólidos se encuentra el tratamiento térmico a través de la pirólisis, el cual genera biocarbón, como producto principal a través de la conversión termoquímica de la biomasa en un ambiente limitado de oxígeno. La pirólisis de biosólidos se perfila como una opción para disminuir contaminantes patógenos y biodisponibilidad de metales, misma que puede ser incrementada realizando la pirólisis en combinación con biomasas lignocelulósicas (copirólisis). En este trabajo se presenta la parte inicial correspondiente a la caracterización elemental, proximal y térmica mediante el análisis de termogramas de biosólidos, cascarilla de arroz y residuos de poda como biomasas simples y en combinación. Los resultados obtenidos corresponden a los datos reportados en la literatura y constituyen un parteaguas para el diseño de experimentos enfocados en la obtención de biocarbonos, para su aplicación en suelos. Los análisis de los termogramas indican la presencia de efectos sinérgicos entre las mezclas analizadas e intervalos de degradación entre los 300 y 500 °C. Los resultados del análisis elemental presentan un porcentaje mayor de carbono para los residuos de poda, para el caso del nitrógeno, los biosólidos presentaron el mayor porcentaje y con respecto al contenido de azufre, este elemento únicamente fue detectado en biosólidos.

Palabras clave: *biocarbón*, *biosólidos*, *caracterización*, *lignocelulósicos*, *pirólisis*

1. Introducción

El aumento de la población mundial ha resultado directamente en la generación de grandes cantidades de diversos residuos sólidos en todo el mundo. Actualmente la globalización, industrialización acelerada y desarrollo urbano han conducido a un uso imprudente de los recursos naturales con la subsecuente producción de residuos sólidos complejos, dentro de los cuales se encuentran los biosólidos (BS) (Fan et al., 2023).

Los BS, lodos de depura o lodos residuales son un subproducto del tratamiento de aguas residuales que contienen además de nutrientes y materia orgánica, microorganismos, patógenos y contaminantes (metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dioxinas, furanos, pesticidas, entre otros) (Kończak & Oleszczuk, 2020).

Dentro de las opciones de manejo y gestión de los BS destacan 5 opciones comenzando por la disposición en sitios de disposición final, aplicación en suelo, bioprocesamiento (compostaje, lombricompostaje y digestión anaerobia), procesamiento térmico (incineración, co-combustión, gasificación, pirólisis, oxidación húmeda y combustible derivado rechazado (CDR)) y aplicaciones diversas (utilización en terraplenes de carreteras/ autopistas, en la industria de la construcción, por mencionar algunos ejemplos) (Sharma et al., 2017)

Dentro de las alternativas de manejo y gestión antes mencionadas, una poco explorada es el procesamiento térmico, específicamente la pirólisis, la cual se perfila como una alternativa exitosa para gestionar la disposición de BS. La pirólisis es un tratamiento térmico que genera tres tipos de productos, uno sólido, uno líquido y uno gaseoso. El sólido es un producto carbonoso conocido como biocarbón, el gaseoso y el líquido son una mezcla de distintos componentes orgánicos. Los productos derivados de la pirólisis de BS pueden ser utilizados en diversos sectores, incluidos el agrícola, ya que el biocarbón obtenido puede utilizarse como enmienda para mejorar las propiedades del suelo, pues constituye el producto principal obtenido a partir de la pirólisis de BS (Ahmad et al., 2022). Sin embargo, es necesario mencionar que si bien el uso de biocarbón de BS parece una solución interesante; su aplicación está limitada por la presencia de varios tóxicos como microcontaminates, HAP y metales pesados.

Una alternativa estratégica para mitigar los posibles riesgos ambientales es la generación de biocarbón a partir de BS en combinación con otras biomasas como las lignocelulósicas, dicho procedimiento se denomina copirólisis, La adición de biomasa en el proceso térmico de los BS (principalmente biomasa agrícola forestal) tiene la ventaja de aumentar el contenido de carbono, enriquecer la estructura de los poros en el biocarbón generado y reducir la concentración y biodisponibilidad de los metales pesados (Raj et al., 2021). La copirólisis con biomasa puede reducir la concentración de metales pesados en el biocarbón, ya que favorece la transformación de los metales pesados a formas más estables y reduce la toxicidad de la lixiviación.

Otra ventaja de mezclar BS con biomasa lignocelulósica es que el proceso térmico puede verse mayormente facilitado durante la conversión, debido a que la biomasa lignocelulósica muestra una alta reactividad, ya que contiene menos cenizas, carbono, azufre y nitrógeno y generalmente

contiene una mayor cantidad de materias volátiles, hidrógeno, oxígeno, fósforo, calcio y magnesio. Además, las cenizas obtenidas de biomasa lignocelulósica pueden capturar materiales peligrosos. Por último, este tipo de biomasa representa el recurso energético sostenible más barato y ampliamente disponible para neutralizar el CO_2 en la atmósfera.

Las biomasas lignocelulósicas son muy variadas tanto en composición como en propiedades, dentro de las más estudiadas se encuentra la cascarilla de arroz (CA), la cual es un subproducto de la industria agrícola y se produce en grandes cantidades a nivel mundial. Se ha demostrado la capacidad del biocarbón obtenido a partir de la CA para eliminar metales pesados del sistema. Actualmente, la CA se ha utilizado como biocombustible para la generación de electricidad, así como una nueva propuesta al utilizarse como enmienda en el suelo. El biocarbón generado a partir de la CA se puede reciclar fácilmente en el sistema de producción de trigo y arroz sin observarse efectos adversos sobre la salud del suelo (Ghorbani et al., 2019).

Por otra parte, dentro de las biomasas lignocelulósicas se encuentran las obtenidas a partir de plantas leñosas, de donde se obtienen residuos de madera., éstos se encuentran constituidos principalmente por un alto contenido de lignina, la cual forma parte de los principales polisacáridos que constituyen a este tipo de biomasa. La copirólisis de BS y lignina es un punto importante para la investigación de los mecanismos sinergéticos generados a partir de la copirólisis de BS y biomasa. La lignina es un excelente portador de nutrientes y se considera como un fertilizante de liberación lenta, el biocarbón generado a partir de lignina presenta una mayor área superficial a diferencia de otros biocarbonos generados a partir de otros residuos por lo que puede ser también considerado como un buen fertilizante al ser aplicado en suelos. La lignina también reduce la energía de activación aparente y mejora los productos de la pirólisis debido a su bajo contenido de humedad, ya que proporciona una forma potencial para reducir el costo del secado y aumentar la eficiencia de la pirólisis simultáneamente (Chen et al., 2019; Dai et al., 2022)

Invariablemente del tipo de biomasa con la cual se trabaje es importante considerar que las propiedades físicas y químicas de los diferentes materiales utilizados pueden afectar al proceso térmico y al producto obtenido. El análisis termogravimétrico es una herramienta de caracterización de materiales eficaz para estudiar el comportamiento térmico y las características de la combustión de diversos materiales (Hameed et al., 2020). Debido a esta consideración este trabajo propone una caracterización inicial próximal, elemental y termogravimétrica de BS, CA y residuos de poda con la finalidad de obtener información para la consecuente producción de biocarbonos a partir de estas biomasas en forma simple y en combinación.

2. Metodología

2.1. Colecta de biomasas

Biosólidos

Los biosólidos (BS) fueron colectados en el mes de octubre del 2023 en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Urbana (PTARU) en la Ciudad de Celaya, Guanajuato, México, ubicada en las coordenadas geográficas 100° 51' O y 20° 30' N. Los BS evaluados son el producto de la digestión aerobia del agua a través de un tratamiento biológico. La consistencia de los biosólidos fue semisólida con una humedad promedio del 85% debido al proceso de deshidratación de sólidos mediante un sistema de filtración tipo prensa. El muestreo fue realizado una sola vez de forma aleatoria en la salida de los filtros, tomando aproximadamente 150 kg, colocados en recipientes plásticos de 20 litros de capacidad a temperatura ambiente. La muestra fue trasladada al laboratorio, se dejó secar a temperatura ambiente y posteriormente fue molida utilizando un molino manual con la finalidad de disminuir el tamaño de partícula, haciéndola pasar a través de una malla de apertura de 2 mm. Las muestras de BS obtenidas fueron contenidas en bolsas de plástico resellables y mantenidas en refrigeración a una temperatura de 2 °C hasta su utilización posterior para los análisis de caracterización molecular y fisicoquímica.

Residuos de poda

Los residuos de poda (RP) fueron solicitados a la Dirección General de Medio Ambiente del Municipio de Celaya y se colectaron en el Parque Lineal Bicentenario de la ciudad de Celaya, Guanajuato, México, ubicado en las coordenadas 100° 47' O y 20° 30' N en el mes de octubre del 2023. Los residuos de poda de tronco fueron triturados para obtener un tamaño de astilla de aproximadamente 3-5 cm de largo y de grosor 0.5 cm. Las astillas obtenidas fueron trasladadas al laboratorio, se secaron a temperatura ambiente, posteriormente se trituraron para disminuir su tamaño utilizando un procesador modelo Natural Bullet 1000W y se pasaron por una malla de apertura de 2 mm. Las muestras obtenidas fueron almacenadas en recipientes plásticos sellados y mantenidas a temperatura ambiente para su posterior análisis.

Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz (CA) se adquirió comercialmente de la marca BIOJAL® y fue triturada utilizando un procesador modelo Natural Bullet 1000W y posteriormente pasada por una malla con apertura de 2 mm. La muestra obtenida fue almacenada en recipientes plásticos sellados y mantenidas a temperatura ambiente para su posterior análisis.

2.2. Caracterización elemental y proximal de las biomasas utilizadas

Para realizar el análisis elemental de las biomasas, se utilizó un analizador elemental Flash Smart para determinar carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S). El oxígeno fue obtenido por el método de diferencia.

El análisis proximal consistió en cuantificar el contenido de humedad, materia volátil y cenizas utilizando métodos estándar ASTM (*Standard Test Method for Ash in Wood, s. f.; Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels, s. f.; Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels, s. f.*).

2.3. Preparación de biomasas y combinaciones para el análisis térmico

En esta investigación, las biomasas se probaron en forma simple (utilización de la biomasa sin la adición de algún otro elemento) y en combinación (adición de otra biomasa en una proporción específica). Para el caso de las biomasas en combinación, todas fueron realizadas en porcentaje en peso. Estas correspondieron a BS y CA, BS y RP, CA y RP, y se añadió una tercera combinación de las tres biomasas (BS, CA y RP). Esta última fue generada en proporciones iguales en porcentaje peso. Para las combinaciones de dos biomasas, se aplicaron tres niveles en porcentaje peso: 1:1, 2:1 y 1:2, por lo tanto, de cada combinación se obtuvieron tres muestras. Para el caso de la combinación de las tres biomasas, se aplicó un solo nivel en porcentaje peso 1:1:1.

Para las muestras generadas por la combinación de BS y CA, la nomenclatura utilizada es BS/CA (1:1), BS/CA (1:2), BS/CA (2:1). Las combinaciones de BS y RP se presentan con la siguiente nomenclatura: BS/RP (1:1), BS/RP (1:2), BS/RP (2:1). En el caso de las combinaciones entre CA y RP, la nomenclatura que las identifica es CA/RP (1:1), CA/RP (1:2) y CA/RP (2:1). Por último, para la combinación entre las tres biomasas, la nomenclatura utilizada es BS/CA/RP (1:1:1). El total de muestras analizadas para la obtención de biocarbonos, incluyendo biomasas simples y en combinación, consistió en un total de 13 tratamientos.

2.4. Caracterización de biomasas a través del análisis termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico de las biomasas de biosólidos (BS), cascarilla de arroz (CA) y residuos de poda (RP) en forma simple y sus combinaciones en porcentaje peso, BS/CA (1:1, 1:2, 2:1); BS/RP (1:1, 1:2, 2:1); CA/RP (1:1, 1:2, 2:1) y BS/CA/RP (1:1:1), fue realizado en un analizador termogravimétrico TGA 2 (LF) Mettler Toledo. Cada muestra se calentó desde una temperatura de 20 °C hasta 800 °C usando velocidades de 20 °C/min. El gas acarreador fue nitrógeno constante a una velocidad de 20 ml/min^{-1}.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis elemental de biomasas

Los resultados obtenidos del contenido elemental de las biomasas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición elemental de biomasas

	Análisis elemental (%)					Relación atómica	
Biomasa	**C**	**H**	**N**	**S**	**O[a]**	**H/C**	**O/C**
Biosólidos	34.178	4.966	6.304	0.452	54.100	1.743	1.187
Cascarilla de arroz	29.930	3.766	1.045	ND	65.259	1.510	1.635
Residuos de poda	42.167	5.275	2.179	ND	50.379	1.501	0.896

[a]Calculado por diferencia

La biomasa que presentó un mayor porcentaje de carbono corresponde a los residuos de poda seguido por los biosólidos y, por último, la cascarilla de arroz con valores de 42.167%, 34.178% y 29.930%, respectivamente. El azufre fue detectado únicamente en los biosólidos con un porcentaje de 0.452%.

3.2. Análisis proximal de biomasas

Los análisis proximales de las biomasas se presentan en la Tabla 2. La biomasa que presentó un mayor valor de humedad fue BS con 11.01 ± 0.398%, seguido de RP con 7.08 ± 0.159% y, por último, CA con 6.49 ± 0.346%. Con respecto al contenido de cenizas, los biosólidos presentaron la mayor cantidad (27.31 ± 0.167%). El mayor contenido de materia volátil fue obtenido para los residuos de poda con un valor de 88.07 ± 0.200%.

Tabla 2: Caracterización proximal de biomasas

Biomasa	**% Humedad**	**% Cenizas**	**% Materia volátil**
Biosólidos	11.01 ± 0.398	27.31 ± 0.167	62.27 ± 0.332
Cascarilla de arroz	6.49 ± 0.346	22.32 ± 0.235	70.33 ± 0.934
Residuos de poda	7.08 ± 0.159	6.69 ± 0.100	88.07 ± 0.200

3.3. Análisis termogravimétrico de biomasas

El análisis termogravimétrico (TGA) permite analizar la descomposición de la muestra en un intervalo de temperaturas, brindando información sobre sus componentes individuales. La primera derivada de la curva termogravimétrica se denomina DTG (Derivative thermogravimetry) y es proporcional a la velocidad de descomposición de la muestra. Las biomasas simples y en combinación propuestas para la obtención de biocarbonos fueron analizadas a través de sus curvas TGA y DTG. Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5.

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos de las curvas TGA y DTG, respectivamente, de las biomasas simples BS, CA y RP. A partir de la curva DTG se identifican cuatro etapas.

La primera etapa, entre 25 y 130 °C, corresponde a la liberación de agua y grupos funcionales débilmente unidos, con una pérdida de masa de 4.00%, 3.32% y 3.86% para BS, CA y RP, respectivamente. Para RP se presenta una señal a 161 °C con una pérdida de masa de 10.22%.

La segunda etapa, comprendida entre 130 y 375 °C, presenta las principales señales de desvolatilización. Para BS, la señal se presenta a una temperatura de 277 °C, con una pérdida de masa del 22.78%. Para CA, se observa a 304 °C con una pérdida de masa del 29.95%. Para RP, se presentan dos señales: la primera a 281 °C y la segunda a 316 °C, con pérdidas de masa del 25.44% y 40.11%, respectivamente. Durante esta etapa se produce la descomposición de compuestos orgánicos como celulosa, polisacáridos, lípidos, carboxilatos y proteínas. En el caso de los BS, también se presenta la liberación de gases como CO_2, CH_4 y H_2 (Gbouri et al., 2022).

La tercera etapa ocurre en un intervalo de temperaturas entre 375 y 646 °C. Las señales observadas se presentan a las temperaturas de 557, 433 y 447 °C, correspondientes a BS, CA y RP, respectivamente, con pérdidas de peso de 63.89%, 62.90% y 72.88%. Durante esta etapa se presenta la degradación de lignina (Lin et al., 2017) para CA y RP, y de materia orgánica no biodegradable en los BS (Naqvi et al., 2019).

Por último, se presenta una cuarta etapa que comprende de 646 a 800 °C en donde es detectada una señal presente únicamente en RP a 700 °C y que corresponde a 89.9% de pérdida de masa. Como puede observarse claramente las curvas DTG son muy similares para el caso de CA y RP debido a su composición, celulosa, hemicelulosa y lignina, no obstante, las curvas para el caso de BS, CA y RP presentan señales máximas de degradación en la segunda etapa que concuerda con mayor cantidad de materia volátil que corresponde a lo obtenido en el análisis proximal en la Tabla 2. La curva de degradación para el caso de BS presenta señales menos pronunciadas derivado al alto contenido de cenizas y menor contenido de compuestos volátiles que es consistente con los resultados presentados en la Tabla 2.

En la Figura 2 se muestran los resultados de curvas TG y su correspondiente derivativo DTG comparando biomasas simples BS y CA con las combinaciones BS/CA 1:1, BS/CA 1:2 y BS/CA 2:1. En la Figura 2a se muestra la curva TG, donde se observa que las combinaciones se ubican entre las curvas de biomasas simples (BS y CA), esto resulta consiste con reportes previos (Yu et al., 2023). Las curvas DTG presentan cuatro etapas, similares a las descritas en la Figura 1. Para

el caso de las biomasas en combinación en la primera, las relaciones BS/CA (1:1), BS/CA (1:2) y BS/CA (2:1) presentan señales máximas a temperaturas de 72, 76 y 79 °C, con pérdidas de masa de 3.69%, 4.40% y 4.23%, respectivamente. En la segunda etapa se observa una mayor velocidad de perdida de biomasa en las temperaturas 305, 309 y 288 °C con porcentajes de masa de 27.69%, 33.50% y 24.73%, para BS/CA (1:1), BS/CA (1:2) y BS/CA (2:1) respectivamente. En todas las señales observadas el comportamiento es consistente, el aumento en la concentración de CA a los BS favorece la pérdida de masa, debido a que CA presenta una mayor cantidad de compuestos volátiles.

Por otro lado, en la Figura 3 se observan los resultados de curvas TG y su correspondiente derivativo DTG en donde se comparan biomasas simples BS y RP con las combinaciones BS/RP (1:1), BS/RP (1:2) y BS/RP (2:1). En la Figura 3a se muestran las curvas de TG que muestran las combinaciones situadas entre las biomasas simples. En la Figura 3 inciso b se presentan tres regiones características donde se destaca la segunda etapa en donde se encuentran las señales que corresponden a la mayor pérdida de masa que se observa a las temperaturas de 283, 318 y 282 °C con porcentajes de 25.31%, 36.88% y 26.0% para BS/RP (1:1), BS/RP (1:2) y BS/RP (2:1) respectivamente. Para las señales obtenidas en el intervalo de temperaturas de 400 - 600 °C el aumento en la concentración de una u otra biomasa favorece la pérdida de biomasa que corresponde al patrón observado en la biomasa simple que se encuentre en mayor proporción. Este comportamiento se observa en la señal con mayor intensidad en donde se presentan los siguientes resultados para las temperaturas 318, 311 y 313 °C con porcentajes de pérdida de masa de 36.88%, 37.42% y 34.74% para BS/ RP (1:1), BS/RP (1:2) y BS/RP (2:1), respectivamente. Para el tratamiento BS/RP (1:2) se obtuvo la mayor pérdida de biomasa debido al aumento en la proporción de RP que presenta un mayor contenido de volátiles (Figura 3).

La Figura 4 presenta las curvas TG y su derivativo DTG para biomasas simples CA y RP y sus combinaciones CA/RP (1:1), CA/RP (1:2) Y CA/RP (2:1). En la Figura 4a se observa el comportamiento consistente para los casos anteriores en donde las curvas de las biomasas en combinación se ubican entre las curvas de las biomasas simples. En la Figura 4b se presenta el análisis DTG donde se observan las cuatro etapas descritas anteriormente y lo que destaca es que los patrones de intensidad de señales son similares debido a la composición de CA y RP, ya que contienen hemicelulosa, celulosa y lignina. La pérdida de masa en las señales se intensifica al aumentar el contenido de RP, esto queda demostrado en la señal de mayor intensidad presente a 310, 313 y 304 °C con pérdidas de masa de 34.8%, 36.82% y 29.16% para las combinaciones CA/RP (1:1), CA/RP (1:2) Y CA/RP (2:1), respectivamente. La combinación con mayor contenido de RP es la que presenta un mayor porcentaje de pérdida de masa.

Para este análisis se realizó la preparación de una muestra que contenía las tres biomasas analizadas en una proporción equivalente. Los datos de esta biomasa en combinación se presentan en la Figura 5, en el inciso a se observa que la muestra sigue un patrón similar observado en CA y estas dos biomasas se encuentra entre las curvas de las biomasas simples RP y BS. En la Figura 5b se observa una señal máxima de pérdida de masa de 35.08%. a una temperatura de 311 °C.

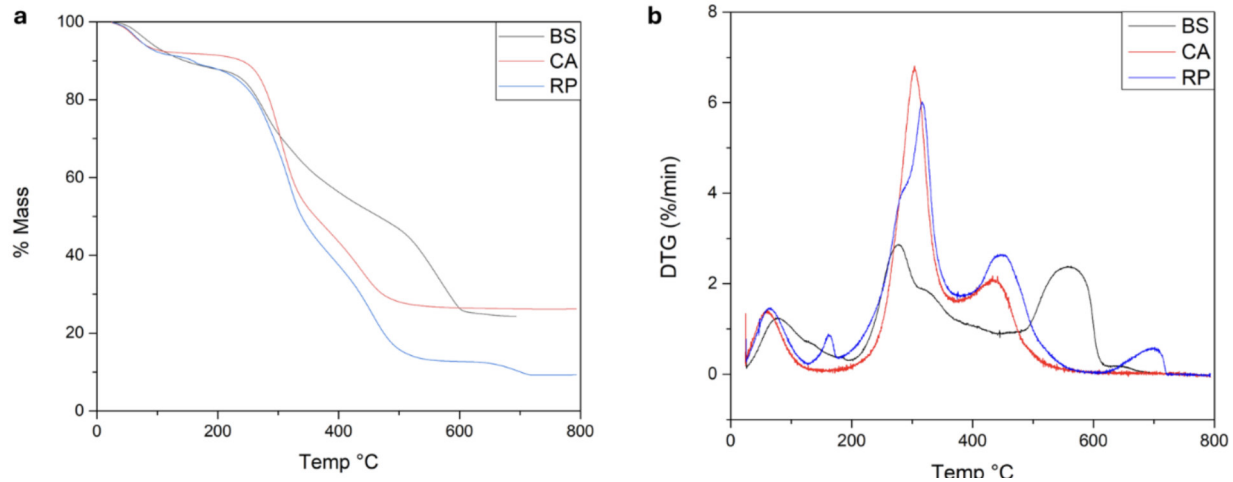


Figura 1: Curva Termogravimétrica TG (a) y análisis derivativo DTG (b) de biomasas simples BS, CA y RP

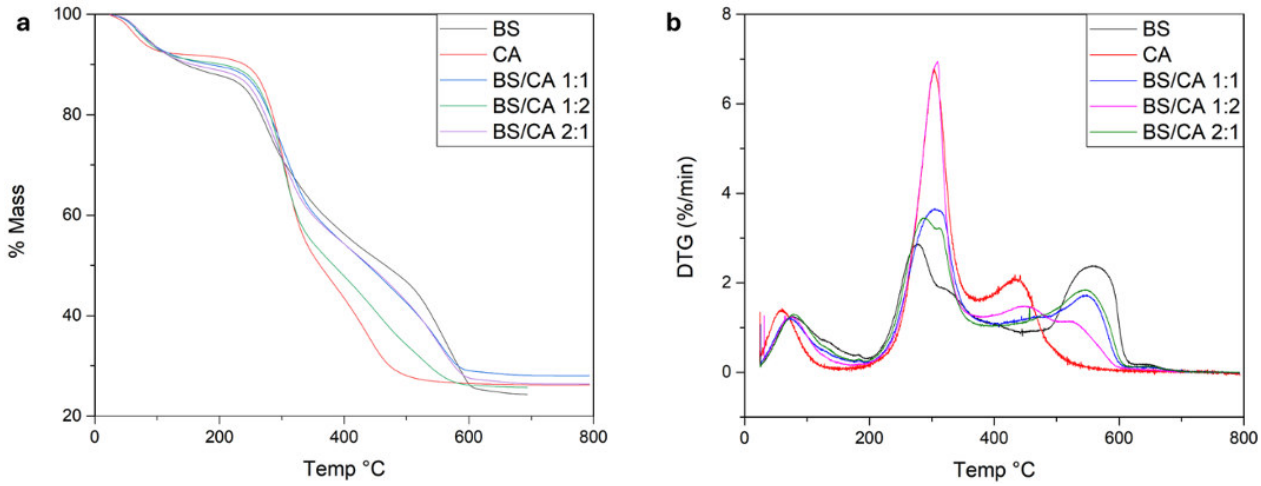


Figura 2: Curva Termogravimétrica TG (a) y análisis derivativo DTG (b) de biomasas simples BS y CA y sus combinaciones BS/CA (1:1), BS/CA (1:2) y BS/CA (2:1)

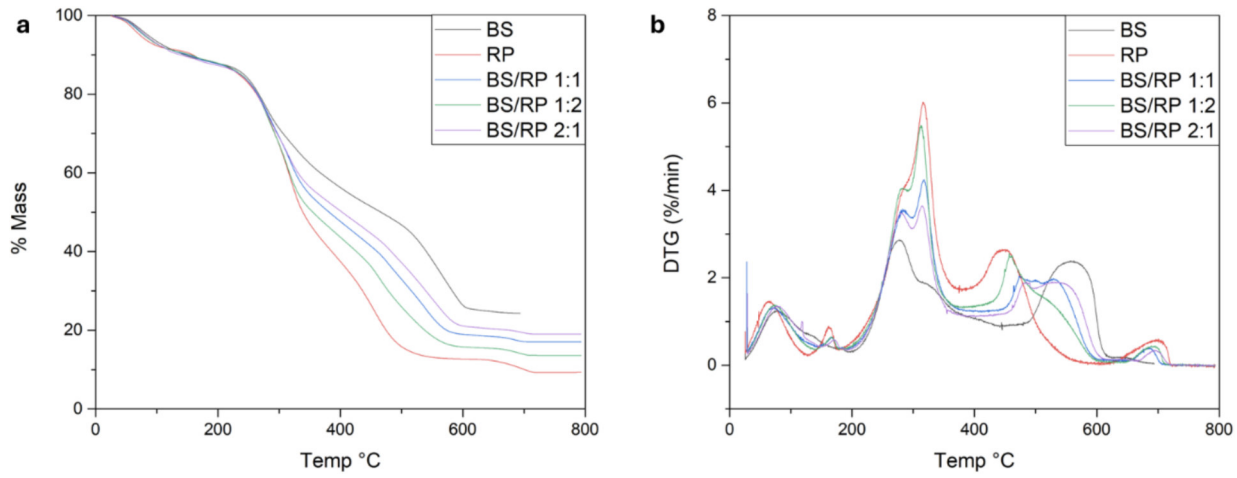


Figura 3: Curva Termogravimétrica TG (a) y análisis derivativo DTG (b) de biomasas vírgenes BS y RP y sus combinaciones BS/RP (1:1), BS/RP (1:2) y BS/RP (2:1)

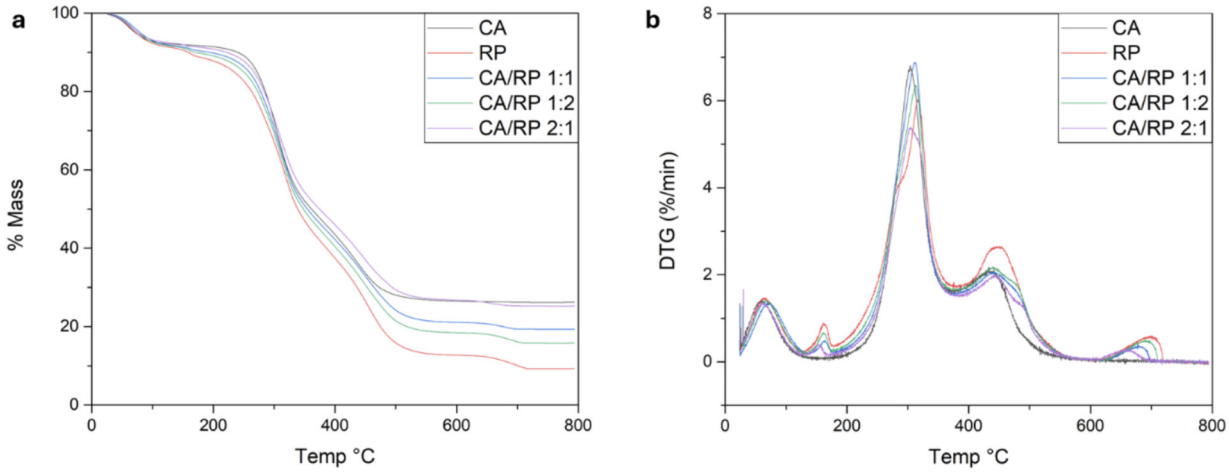


Figura 4: Curva Termogravimétrica TG (a) y análisis derivativo DTG (b) de biomasas vírgenes CA y RP y sus combinaciones CA/RP (1:1), CA/RP (1:2) y CA/RP (2:1)

4. Conclusiones

El análisis termogravimétrico realizado proporciona información sobre los efectos sinérgicos generados al combinar diferentes biomasas. Las cuatro zonas de degradación observadas en los termogramas corresponden a lo reportado en la literatura. El intervalo de temperatura óptimo para la generación de biocarbón se encuentra entre los 300 y 500 °C, temperaturas que se seleccionarán para comenzar la obtención de biocarbonos que serán utilizados en la evaluación de su aplicación en suelos. Los resultados obtenidos del análisis proximal son útiles para comprender el comportamiento observado en los termogramas. En cuanto al análisis elemental, los elementos más relevantes son el carbono y el nitrógeno, ya que son importantes para el uso de los biocarbonos como enmienda de suelo. Los residuos de poda presentaron el mayor contenido de carbono (42.167%), mientras que los biosólidos presentaron el mayor contenido de nitrógeno (6.304%), lo que sugiere que la copirólisis de estas dos biomasas podría mejorar el contenido de estos elementos en los biocarbonos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección Municipal de Medio Ambiente de Celaya, Guanajuato, por las facilidades brindadas para el ingreso al parque Lineal Bicentenario y la obtención de los residuos de poda utilizados en este trabajo de investigación. También agradecemos al Ing. Julio César Toche Flores, Gerente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del grupo TICSA en el municipio de Celaya, Guanajuato, por las facilidades brindadas para la obtención de la muestra de biosólidos. Finalmente, agradecemos al CONAHCYT por el apoyo de beca de posgrado CONAHCYT 2023-000002-01NACF-02843.

Referencias bibliográficas

[1] Ahmad, A., Chowdhary, P., Khan, N., Chaurasia, D., Varjani, S., Pandey, A., & Chaturvedi, P. (2022). Effect of sewage sludge biochar on the soil nutrient microbial abundance and plant biomass: A sustainable approach towards mitigation of solid waste. *Chemosphere*, 287, 132112. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132112

[2] Chen, Q., Liu, H., Ko, J., Wu, H., & Xu, Q. (2019). Structure characteristics of bio-char generated from co-pyrolysis of wooden waste and wet municipal sewage sludge. *Fuel Processing Technology*, 183, 48-54. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.11.005

[3] Dai, Q., Xiang, W., Liu, Q., Wang, M., & Zhang, X. (2022). Co-pyrolysis biochar derived from sewage sludge and lignin: Synergetic effect and adsorption properties. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107898. https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107898

[4] Fan, Z., Zhou, X., Peng, Z., Wan, S., Gao, Z. F., Deng, S., Tong, L., Han, W., & Chen, X. (2023). Co-pyrolysis technology for enhancing the functionality of sewage sludge biochar and immobilizing heavy metals. *Chemosphere*, 317, 137929. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137929

[5] Gbouri, I., Yu, F., Wang, X., Wang, J., Cui, X., Hu, Y., Yan, B., & Chen, G. (2022). Co-Pyrolysis of Sewage Sludge and Wetland Biomass Waste for Biochar Production: Behaviors of Phosphorus and Heavy Metals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2818. https://doi.org/10.3390/ijerph19052818

[6] Ghorbani, M., Asadi, H., & Abrishamkesh, S. (2019). Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 258-265. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.005

[7] Hameed, Z., Naqvi, S. R., Naqvi, M., Ali, I., Taqvi, S. A. A., Gao, N., Hussain, S. A., & Hussain, S. (2020). A Comprehensive Review on Thermal Coconversion of Biomass Sludge Coal and Their Blends Using Thermogravimetric Analysis. *Journal of Chemistry*, 2020, e5024369. https://doi.org/10.1155/2020/5024369

[8] Kończak, M., & Oleszczuk, P. (2020). Co-pyrolysis of sewage sludge and biomass in carbon dioxide as a carrier gas affects the total and leachable metals in biochars. *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123144. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123144

[9] Lin, Y., Liao, Y., Yu, Z., Fang, S., & Ma, X. (2017). A study on co-pyrolysis of bagasse and sewage sludge using TG-FTIR and Py-GC/MS. *Energy Conversion and Management*, 151, 190-198. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.062

[10] Naqvi, S. R., Hameed, Z., Tariq, R., Taqvi, S. A., Ali, I., Niazi, M. B. K., Noor, T., Hussain, A., Iqbal, N., & Shahbaz, M. (2019). Synergistic effect on co-pyrolysis of rice husk and sewage sludge by thermal behavior kinetics thermodynamic parameters and artificial neural network. *Waste Management*, 85, 131-140. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.031

[11] Raj, A., Yadav, A., Arya, S., Sirohi, R., Kumar, S., Rawat, A. P., Thakur, R. S., Patel, D. K., Bahadur, L., & Pandey, A. (2021). Preparation characterization and agri applications of biochar produced by pyrolysis of sewage sludge at different temperatures. *Science of The Total Environment*, 795, 148722. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148722

[12] Sharma, B., Sarkar, A., Singh, P., & Singh, R. P. (2017). Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Management*, 64, 117-132. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.002

[13] Standard Test Method for Ash in Wood. (s. f.). Recuperado el 15 de abril de 2024 de https://www.astm.org/d1102-84r21.html

[14] Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. (s. f.). Recuperado el 15 de abril de 2024 de https://www.astm.org/e0871-82r19.html

[15] Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. (s. f.). Recuperado el 15 de abril de 2024 de https://www.astm.org/e0872-82r19.html

[16] Yu, F., Lv, H., Fan, L., Chen, L., Hu, Y., Wang, X., Guo, Q., Cui, X., Zhou, N., & Jiao, L. (2023). Co-pyrolysis of sewage sludge and poplar sawdust under controlled low-oxygen conditions: Biochar properties and heavy metals behavior. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 169, 105868. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.105868

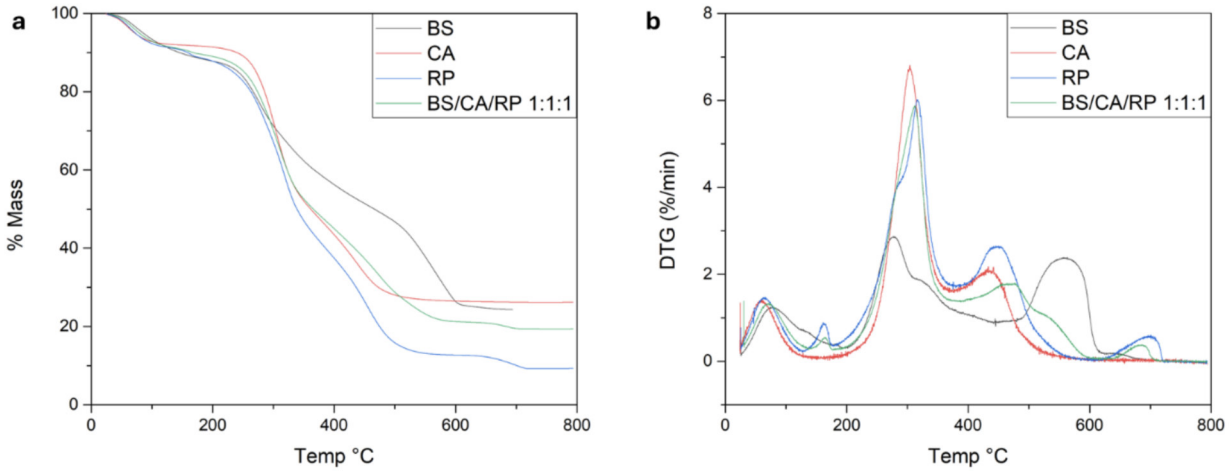


Figura 5: Curva Termogravimétrica TG (a) y análisis derivativo DTG (b) de biomasas vírgenes BS, CA y RP en combinación BS/CA/RP (1:1:1)

Generación y composición de los residuos sólidos urbanos del Municipio de Huatusco, Veracruz

Miguel Ángel Solís Jiménez[1], María del Consuelo Hernández Berriel[*2], Sergio Omar López Gasca[2], Rafael Tejeda García[1], María Guadalupe Vichiqui Calderón[1]

[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, Av. 25 poniente No. 100, Col. Reserva Territorial, Huatusco, Ver., México.

[2]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n, Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de Méx., México. Tel. (52) 722 087 00 ext. 3630

[*]Correo electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen

Para implementar el manejo integral de los residuos sólidos urbanos en una municipalidad, es fundamental tener información reciente sobre su generación y su composición. Por lo que, para mejorar el manejo, el objetivo de este trabajo fue determinar la generación y composición por estrato de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Huatusco, Veracruz. El estudio se dividió en cuatro etapas; la primera fue sensibilizar y capacitar a los estudiantes y profesores participantes del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, así como al personal de Limpia Pública del municipio. En la segunda se delimitó el área de estudio. La tercera etapa comprendió el estudio de generación de residuos conforme a la NMX-AA-61-1985. Por último, se aplicaron las normas NMX-AA-15-1985, NMX-AA-19-1985 y NMX-AA-22-1985, para determinar la densidad y composición de subproductos. La generación per cápita y el peso volumétrico para los tres estratos socioeconómicos detectados fueron 0.567 kg/hab-día con 101.44 kg/m3 para el estrato urbano medio, 0.466 kg/hab-día con 109.06 kg/m3 para el estrato urbano popular y 0.432 kg/hab-día con 91.52 kg/m3 para el estrato rural. Para los estratos urbano medio y popular sobresale respectivamente el 45.25% y 35.88% de Residuos orgánicos, seguidos del 11.64% y 15.78% de Pañales desechables. El estrato rural tuvo como mayor subproducto a Varios (20.85%), seguido de Pañales desechables (17.12%). Determinar la generación y composición de residuos por estrato, permite conocer las cantidades de los subproductos presentes, lo que coadyuva en la toma de decisiones para mejorar su recolección y aprovechamiento y, reducir la disposición final.

Palabras clave: *composición*, *generación per cápita*, *reciclables*, *residuos orgánicos*, *residuos sólidos urbanos*

1. Introducción

A nivel global, los residuos sólidos urbanos (RSU) son un desafío para los países, debido a los impactos sociales, económicos, ambientales y tecnológicos de su gestión (ONU, 2023). Para el 2020, se reportó una generación de 2.126 billones de toneladas de RSU, con un costo de 252,000 millones

de dólares, sin considerar el impacto de la contaminación, la insalubridad y el cambio climático. Se proyecta que para el 2050, se generarán sobre 3.782 billones de toneladas de RSU (UNEP & ISWA, 2024). Para América Latina y el Caribe, la generación de RSU en 2017 alcanzó 540,000 t/día y se espera que para 2050, su producción llegue a las 671,000 t/día (UNEP, 2017).

En México desde los 90's, la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reconoció que se enfrentan grandes desafíos en el manejo integral de los residuos sólidos urbanos (MIRSU), a causa de los altos costos asociados a los sistemas de limpia pública, la falta de conocimiento de los encargados, el desinterés de la ciudadanía y a que en la actualidad, los índices de producción de los RSU han aumentado por diversos factores, entre los cuales se puede destacar el crecimiento demográfico de las ciudades, mayor producción y consumo desmesurado, resultado de la mercadotecnia y la reducción de la vida útil de los productos, entre otros (SEMARNAT, 2020).

Existen en México 2469 municipios (INEGI, 2020) y el estado de Veracruz cuenta con 212 (ORFIS, 2022). De los municipios a nivel nacional menos del 6% tienen estudios de generación y composición de RSU, mientras que, en el estado de Veracruz, apenas el 4.25% (nueve de sus municipios municipios) cuentan con este tipo de estudios en los últimos cuatro años (INEGI, 2023).

Para lograr el MIRSU es importante caracterizar los RSU para dimensionar adecuadamente los requerimientos específicos para cada localidad, de tal manera que proporcione información sobre la cantidad, densidad y composición de los residuos generados (MINAM, 2019; SEMARNAT, 2020). Los estudios de caracterización de residuos son una herramienta importante para los gobiernos, ya que permiten estimar las inversiones necesarias para los procesos a implementar (SEMARNAT, 2022). Un ejemplo claro de ello es que, para una tasa de generación alta, se debe prestar atención al proceso de generación; en otro escenario donde la producción de residuos orgánicos sea mayor, es conveniente invertir en compostaje (SEDEMA, 2021; UAESP & UNC , 2016); y si predominan los valorizables, se debe privilegiar la separación de residuos inorgánicos para su reciclaje (Martínez-Morales, 2016). Debido a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la generación y composición por estrato de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Huatusco, Veracruz.

2. Metodología

El estudio se dividió en cuatro etapas, como se muestra en la Figura 1.

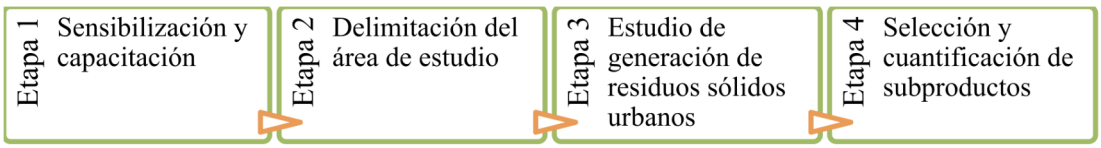


Figura 1: Etapas para el desarrollo de la investigación

2.1. Sensibilización y capacitación

En esta etapa se contó con 17 estudiantes de Ingeniería Industrial y 13 estudiantes de Ingeniería Ambiental, quienes respondieron a la convocatoria para realizar su servicio social; así como cuatro trabajadores de Limpia Pública, cinco docentes del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco (ITSH) y tres docentes del Instituto Tecnológico de Toluca (ITT). Para la sensibilización se les presentó el impacto que tiene la contaminación en el ambiente y en la salud de las personas. La capacitación consistió en ejercicios para la aplicación a la ciudadanía de la cédula de entrevista reportada por Martínez-Morales (2016).

2.2. Delimitación de área de estudio

Se recabo información con el personal de catastro del municipio de Huatusco, Ver. y se complementó con investigación documental en fuentes oficiales como el INEGI (2022), el CONEVAL (2022) y el Gobierno del Estado de Veracruz (GEV, 2021); para conocer el número y tipo de viviendas que existen, así como establecer los estratos socioeconómicos.

2.3. Estudio de generación de residuos sólidos urbanos

El estudio de generación de RSU se realizó aplicando la NMX-AA-61-1985, la cual además de contener los pasos a seguir, presenta la ecuación 1, con la que se determinó el tamaño de muestra para el número de casas a considerar. Cabe mencionar que esta es la norma indicada por la SEMARNAT para este tipo de estudios (SEMARNAT, 2022a).

2.4. Selección y cuantificación de subproductos

Para desarrollar la tercera etapa, diariamente a los RSU recolectados se les aplicó el método de cuarteo descrito en la NMX-AA-15-1985 (SEMARNAT, 2022b), hasta obtener el tamaño de muestra apropiado para determinar el peso volumétrico in situ con la NMX-AA-19-1985 (SEMARNAT, 2022c) y caracterizar los subproductos mediante la NMX-AA-22-1985 (SEMARNAT, 2022d).

3. Resultados y discusión

3.1. Sensibilización y capacitación

En la Figura 2 se presentan como ejemplos fotografías de las sesiones de sensibilización y capacitación, impartidas por profesores del ITT. Cabe mencionar que estas actividades se realizaron mediante el trabajo conjunto entre la alcaldía de Huatusco 2022-2025 y el Tecnológico Nacional de México (TecNM). A los participantes se les capacitó para que, al aplicar las cédulas de entrevista a la población, tuvieran elementos para responder a sus cuestionamientos. La cédula de entrevista

consta de 17 preguntas, entre las que destacan el número de habitantes por casa, su edad y parentesco, el grado de conocimiento sobre el manejo y disposición de los RSU; y su interés para participar en el estudio de generación (Martínez-Morales, 2016).



Figura 2: Sesión de sensibilización y capacitación en el ITSH

3.2. Delimitación del área de estudio

El municipio de Huatusco se localiza en la región montañosa central del estado de Veracruz, en las coordenadas geográficas 19°08′56″*N* y 96°57′58″*O* (Figura 3). En 2020, Huatusco tenía una población de 59,960 habitantes, distribuidos en 76 comunidades y la cabecera municipal, que es la única considerada de tipo urbano y alberga al 55.74% de la población (INEGI, 2022a). Por su parte, el CONEVAL (2022) reportó que el índice general de rezago social del municipio está catalogado como bajo; sin embargo, algunas comunidades son consideradas de medio, alto y muy alto grado de rezago. En la cabecera municipal, el 67.6% se encuentra en situación de pobreza. Conforme a lo anterior, y con el apoyo del Departamento de Catastro de Huatusco, se definieron tres estratos socioeconómicos para clasificar las diferentes colonias y comunidades del municipio. La Tabla 1 muestra los estratos identificados, así como las colonias seleccionadas.

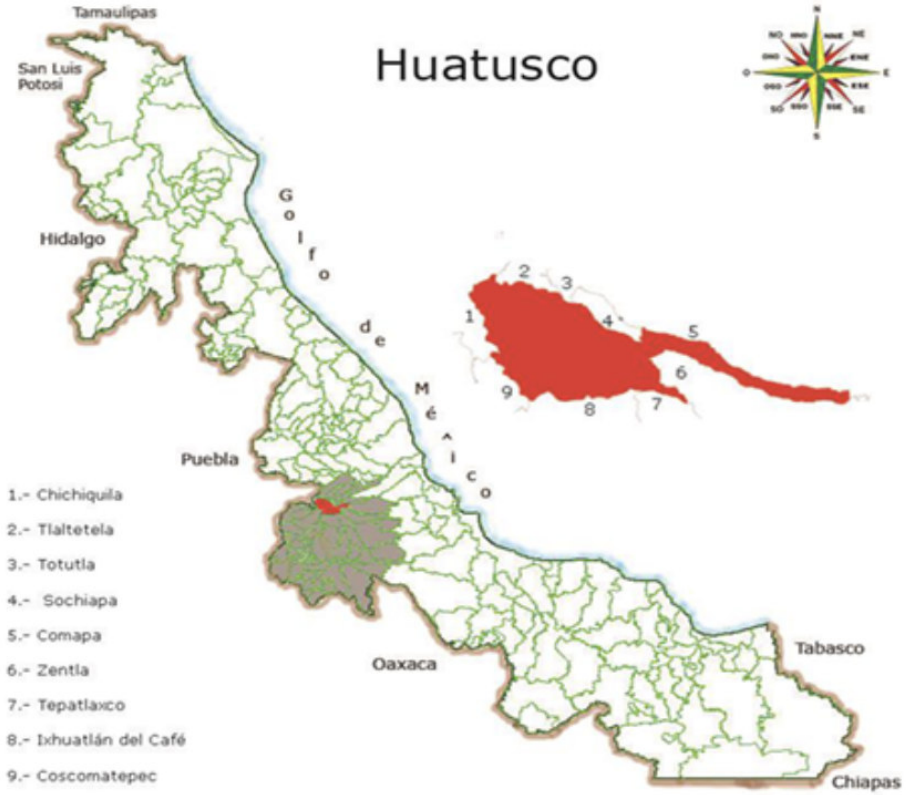


Figura 3: Localización geográfica de Huatusco, Veracruz

Tabla 1: Colonias consideradas en estratos socioeconómicos para el estudio de Huatusco, Veracruz

Urbano-Medio	Urbano-Popular	Rural
Villas la Vista, SETSE 1, SETSE 2, Cafetales, SDTEV y Col. del Maestro	Centenario, 2 de noviembre y El cuatro	Elotepec, Luis Córdoba Reyes y Francisco I. Madero

3.3. Estudio de generación de residuos sólidos urbanos

Este estudio se realizó conforme a la NMX-AA-61-1985 (SEMARNAT, 2022a). El número de casas reportado para Huatusco fue de 16903 en 2020, de las cuales 12,456 se encontraban en la cabecera municipal y 3647 estaban distribuidas en las comunidades. Aplicando la ecuación 1, con un nivel de confianza del 99 % y un error de estimación máximo aceptado de 0.10, se estimó para la cabecera un mínimo de 164 casas y 159 para las comunidades. La Tabla 2 presenta el número de mínimo de casas para los estratos Urbano-Medio, Urbano-Popular y Rural, donde para la cabecera municipal se consideró que el 67.60 % estaban en situación de pobreza (CONEVAL, 2022; Subsecretaría de Planeación, 2022).

Se visitó casa por casa de manera aleatoria sistemática, para aplicarles la encuesta e invitarles a participar en el estudio de Generación y Composición de RSU (ver Figura 4). A las casas que aceptaron se les pegó una calcomanía (ver Figura 5a) y se les explicó el proceso de recolección de sus RSU (ver Figura 5b). Este estudio se inició con el estrato Urbano popular (7 al 15 mayo 2022) y posteriormente con los estratos Urbano-Medio (14 al 22 mayo 2022) y Rural (21 al 29 mayo 2022). En la Figura 6 se muestra una fotografía de la recolección con una camioneta del municipio.

Tabla 2: Estratos socioeconómicos y colonias seleccionadas en Huatusco, Veracruz.

Estrato	**Colonias**	**Número de casas invitadas**	**Número de casas participantes**
Urbano-Medio	Villas la Vista, SETSE 1, SETSE 2	147	81
Urbano-Popular	Centenario, 2 de Noviembre, El Cuatro	153	113
Rural	Elotepec, Luis Córdoba Reyes, Francisco I. Madero	181	162

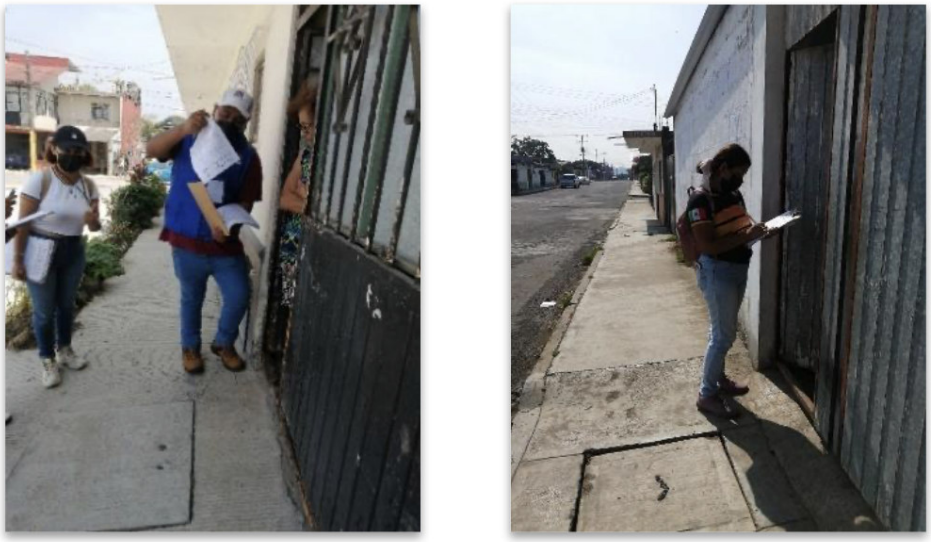


Figura 4: Aplicación de encuestas en las casas seleccionadas

Las bolsas recolectadas de cada estrato socioeconómico se trasladaron a un área techada proporcionada por el H. Ayuntamiento de Huatusco, Ver. Las bolsas se ordenaron de acuerdo con la identificación de la casa (ver Figura 7a). Cada bolsa fue pesada una a una en una báscula de piso como se muestra en la Figura 7b). Los pesos se registraron en formatos previamente elaborados, para llevar el orden de los RSU generados por familia por día.

El cálculo de la Generación per cápita diario (GPCD), se realizó considerando el peso de los RSU registrado cada día de cada casa, dividido entre el número de habitantes registrado en la



Figura 5: a) Calcomanía para identificación de casas, b) Explicación del estudio y entrega de bolsa



Figura 6: Recolección de RSU en los diferentes estratos

aplicación de la encuesta. La GPCD por estrato se muestra en la Figura 8, donde todos los días de la semana genera más RSU el estrato Urbano Medio y lo corroboran los promedios de la Tabla 3, donde su disminución el sábado, permitiría que al menos otro camión recolector se enviara a las comunidades.

Tabla 3: Generación per cápita diaria por estrato.

Estrato	Casas participantes en promedio	Generación promedio (kg/hab-día)	Desviación estándar
Urbano-Medio	81	0.567	0.041
Urbano-Popular	113	0.466	0.018
Rural	162	0.432	0.009



Figura 7: a) Ordenamiento de bolsas y b) Pesaje de bolsas de cada casa

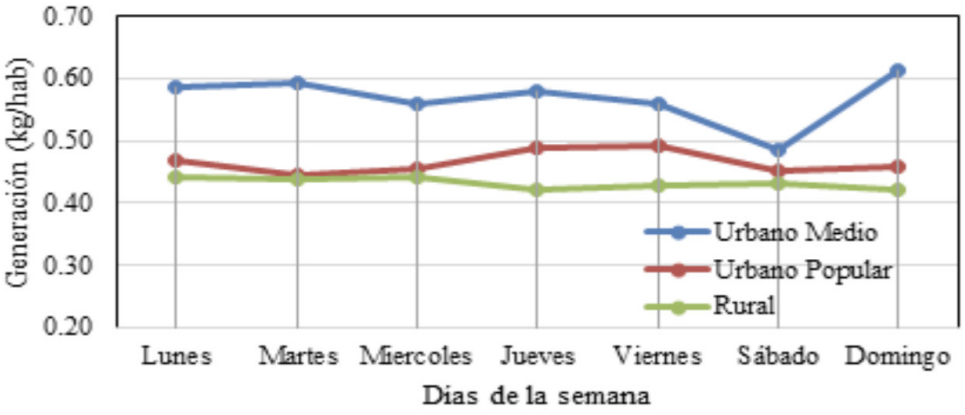


Figura 8: Generación per cápita diaria por estrato en Huatusco, Ver.

3.4. Selección y cuantificación de subproductos

Conforme a la NMX-AA-15-1985, una vez que las bolsas con los RSU fueron pesadas, se vaciaron en un espacio de 4 m x 4 m (ver Figura 9a) aproximadamente y se aplicó el método de cuarteo (ver Figura 9b) (SEMARNAT, 2022b). Para determinar el peso volumétrico, a dos de las partes que no se utilizaron para la separación de RSU, se les realizó el procedimiento establecido en la NMX-AA-19-1985 (SEMARNAT, 2022c) (ver Figura 10). Los valores promedio que se reportan en la Tabla 4, determinando que el menor peso volumétrico lo presentó el estrato Rural.

Para la selección de los subproductos de los RSU, los participantes utilizaron equipo de protección como guantes, batas, cubrebocas y botas (ver Figura 11a). Una vez clasificados los subproduc-



Figura 9: a)Vaciado de bolsas y b)Mezclado y cuarteo



Figura 10: Determinación del peso volumétrico In situ

Tabla 4: Generación per cápita diaria por estrato.

Estrato	**Peso volumétrico (kg/m^3)**
Urbano-Medio	101.44
Urbano-Popular	109.06
Rural	91.52

tos en bolsas diferentes, se pesaron en la báscula de piso y su valor fue registrado en un formato previamente elaborado (ver Figura 11b). Con los pesos de cada subproducto y el total de RSU ca-

racterizados diariamente, para cada estrato socioeconómico se estimó la composición porcentual de los 28 subproductos encontrados. Los subproductos se agruparon tomando como base lo reportado por la SEMARNAT (2022d). En cuanto a Varios se incluyeron: Hule, Polietileno de baja densidad (LDPE, No. 04, plástico de película), Poliestireno expandido (PS, No. 06, unicel o nieve seca), otros plásticos (foamy, envolturas de golosinas y plastilina, etc.), Residuos de medicamentos y Cerámica. Las Figuras 12, 13 y 14 presentan la composición de subproductos para cada estrato socioeconómico identificado en este estudio.



Figura 11: Generación per cápita diaria (GPCD) por estrato en Huatusco, Veracruz.

Al comparar los porcentajes de residuos que generan los tres estratos estudiados, se encontró que el estrato Rural presentó la mayor proporción de Pañales desechables y Trapo (ver Figura 12); para el primer subproducto se debe a que cuentan con mayor número de hijos por familia y con relación a Trapo, en la entrevista comentaron que particulares y asociaciones religiosas y sociales de la cabecera municipal, les regalan ropa económica o de segunda mano, de manera que algunas personas de este estrato la usan hasta que está muy sucia, no la lavan y la desechan entre los RSU. La categoría Varios, también es mayor en este estrato, seguido de PET, Plástico Rígido y Vidrio transparente. La presencia de PET y Vidrio puede atribuirse al consumo de refrescos y cerveza. La baja proporción de Residuos alimenticios en este estrato se debe a que los utilizan como alimento para aves de corral, conejos, borregos y vacas.

Entre los estratos Urbano-Medio y Urbano-Popular, se detectó mayor proporción de Residuos alimenticios, así como Papel y cartón en el primero, mientras que, se producen más Pañales desechables en el Urbano-Popular (ver Figuras 13 y 14). En cuanto a los Residuos de jardín, el estrato Urbano-Popular genera una menor proporción, observándose durante la aplicación de las encuestas que la mayoría vive en vecindades o pequeñas casas sin jardín. La proporción de residuos

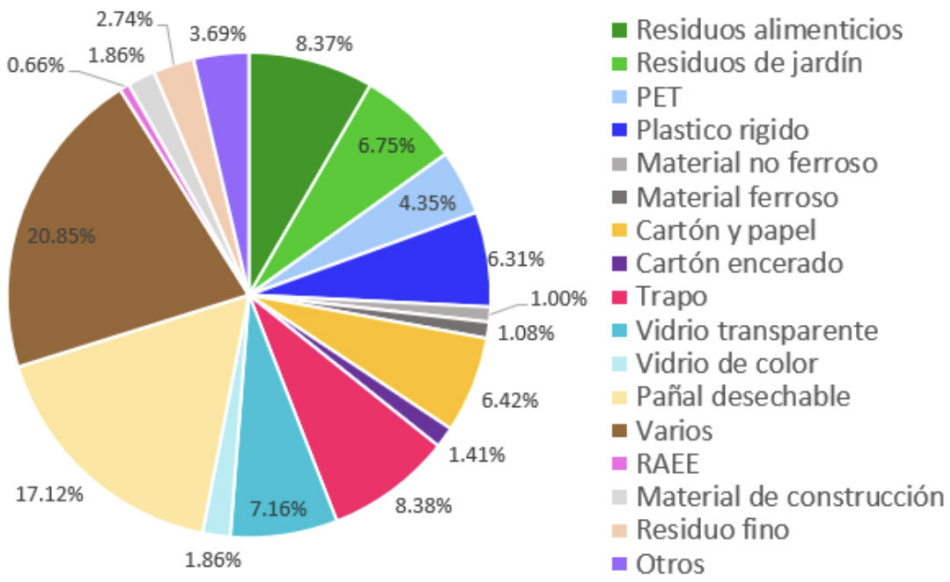


Figura 12: Generación per cápita diaria (GPCD) por estrato en Huatusco, Veracruz.

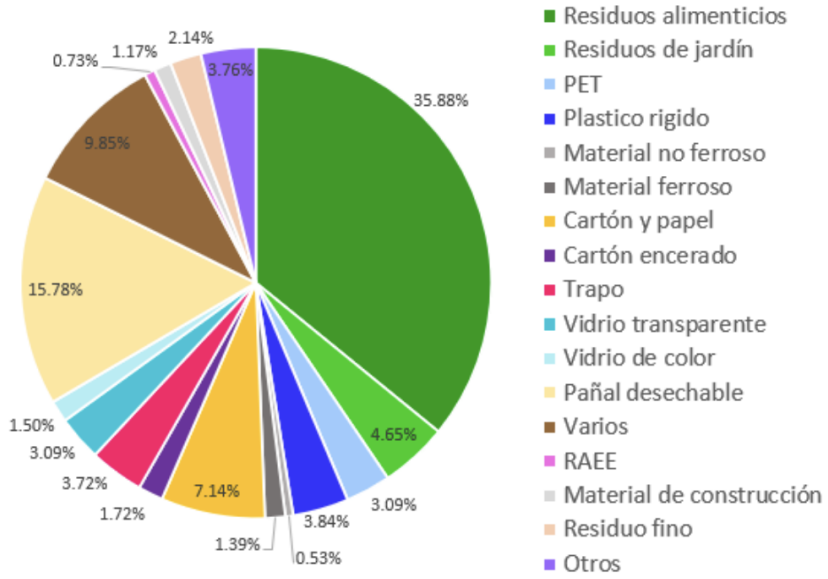


Figura 13: Generación per cápita diaria (GPCD) por estrato en Huatusco, Veracruz.

orgánicos coincide con lo reportado por Hernández-Berriel et al. (2016) para los casos presentados para América Latina y el Caribe.

En la Tabla 5 se muestran las cantidades estimadas de generación de RSU por estrato en casa-habitación, considerando las proporciones para cada uno de ellos y la GPCD (ver Tabla 3). De acuerdo con la información verbal de la Coordinación de Limpia Pública del Ayuntamiento de Huatusco, Ver., la recolección de RSU en el municipio es en promedio de 26,295 kg/día, la cual

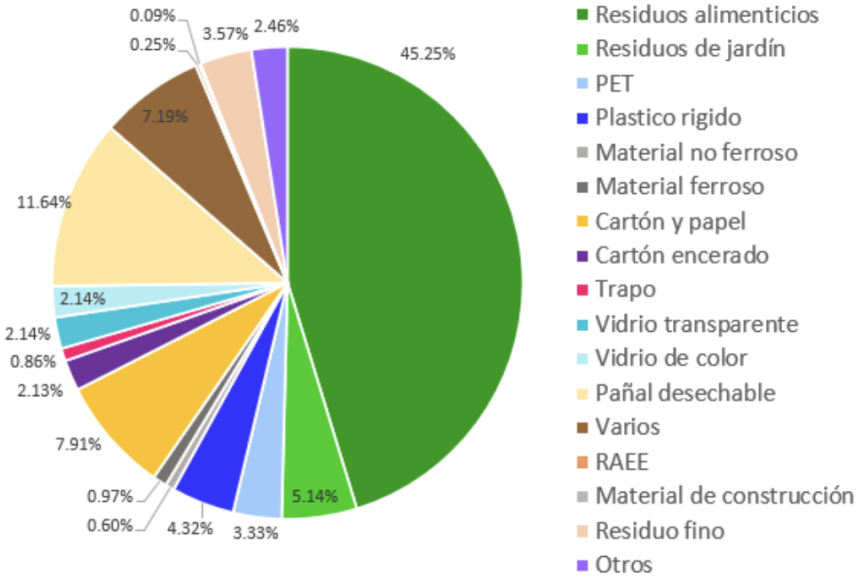


Figura 14: Generación per cápita diaria (GPCD) por estrato en Huatusco, Veracruz.

incluye 2.0 t/día del Mercado "Juárez" de la cabecera municipal. Si se toma como referencia la generación estimada de la Tabla 5 más las 2.0 t/día que se producen y recolectan en el Mercado, resulta una eficiencia de recolección total del 87.26%.

Tabla 5: Generación estimada por estrato

Estrato	Generación estimada (kg/día)
Urbano-Medio	6,139.83
Urbano-Popular	10,528.37
Rural	11,464.54
Total	28,132.75

Los Residuos alimenticios y Residuos de jardinería, suman 50.39%, 40.53% y 15.12%, para los estratos Urbano-Medio, Urbano-Popular y Rural respectivamente (ver Figuras 11, 12 y 13); de manera que, si se recolectaran de forma diferenciada, idealmente se podrían compostar y dejar de llevar a depositar 9.095 t/día al Relleno Sanitario "Los Colorines" de Nogales, Ver. Aunado a lo anterior, se facilitaría la separación de los residuos inorgánicos valorizables: PET (1), HDPE (2), Cartón, Metal ferroso y no ferroso, Vidrio transparente y de color, Cartón encerado y Trapo, que suman 8.592 t/día.

4. Conclusiones

De acuerdo con este estudio, la tasa de generación promedio de 0.469 kgRSU/hab-día en Huatusco está por debajo de la media nacional (1.16 kg/hab-día en 2022), donde la mayor proporción corres-

pondió a los Residuos orgánico (alimenticios y de jardinería), que de aprovecharse para producir composta se reduciría entre el 40 % y 50 % de los residuos dispuestos en Relleno Sanitario.

Los porcentajes estimados de Pañales desechables y Trapo, así como los de PET y Varios, indican la necesidad de implementar programas específicos de educación ambiental para cada estrato socioeconómico, para sensibilizar, concientizar y proyectar la recolección diferenciada. Las proporciones de residuos reciclables caracterizados, evidenció el potencial de aprovechamiento de los residuos valorizables, que ayudaría a impulsar la recolección diferenciada y aumentaría la eficiencia del sistema de recolección mediante mejoras en su proceso.

Agradecimientos

Se agradece a las autoridades del H. Ayuntamiento de Huatusco por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización de este estudio, especialmente al C. Ventura Demuner Torres, Presidente Municipal Constitucional de la administración 2022-2025. De igual forma se agradece a las autoridades del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco y del Instituto Tecnológico de Toluca, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

Referencias bibliográficas

[1] CONEVAL. (2022). Medición de la pobreza. Índice de Rezago Social 2020. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Recuperado el 18 de abril de 2022, de https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_de_Rezago_Social_2020_anexos.aspx

[2] Hernández-Berriel, M. C., Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Lima-Morra, R., Eljaiek-Urzola, M., Márquez-Benavides, L., & Buenrostro-Delgado, O. (2016). Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 32(Esp. Residuos Sólidos), 11-22. https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.02

[3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado el 20 de abril de 2022, de https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/632/datafile/F12/V278

[4] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022a). Huatusco, Veracruz de Ignacio de la Llave (30071). México en cifras. Censo 2020. Recuperado el 10 de julio de 2022, de https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Resumen

[5] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022b). Espacio y datos de México. Recuperado el 20 de agosto de 2022, de https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=30071

[6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2023: Tabulados básicos con estudios de generación de residuos sólidos urbanos. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/

[7] Martínez-Morales, I. N. (2016). Reingeniería del relleno sanitario de Zinacantepec con la revalorización de residuos sólidos urbanos [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Toluca].

[8] Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/523785/Gu%C3%ADa_para_la_caracterizaci%C3%B3n_rsm-29012020__1_.pdf

[9] Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2023). Día Internacional de Cero Desechos: La ONU aboga por el cambio hacia una economía circular. Noticias de la ONU. Recuperado el 17 de agosto de 2022, de https://news.un.org/es/story/2023/03/1519822

[10] Órgano de Fiscalización Superior del Estado de Veracruz (ORFIS). (2022). Panorama Socioeconómico del Estado. En *Informe del Resultado de la Cuenta Pública 2022* (Tomo IV, Volumen 1). Recuperado el 20 de agosto de 2022, de http://orfis.gob.mx/CuentasPublicas/informe2022/

[11] Salas, E. C. (2014). Generación y composición de residuos sólidos domésticos en localidades urbanas pequeñas en el estado de Veracruz, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental.

[12] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2021). Programa de gestión integral de residuos para la ciudad de México. Recuperado el 25 de agosto de 2021, de https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/PGIR/PGIR%202021-2025_N_ago21.pdf

[13] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022a). NMX-AA-61-1985 Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de la generación. Recuperado el 18 de abril de 2022, de http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO34_33.pdf

[14] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022b). NMX-AA-15-1985 Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Muestreo - Método de cuarteo. Recuperado el 18 de abril de 2022, de http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-015-1985.pdf

[15] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022c). NMX-AA-19-1985 Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Peso volumétrico ïn situ". Recuperado el 18 de abril de 2022, de http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-019-1985.pdf

[16] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022d). NMX-AA-22-1985 Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Selección y cuantificación de subproductos. Recuperado el 18 de abril de 2022, de http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-022-1985.pdf

[17] Subsecretaría de Planeación. (2022). Cuadernillo Municipal 2021 Huatusco. Recuperado el 29 de julio 2022, de http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2021/06/HUATUSCO_2021.pdf

[18] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (2.ª ed.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

[19] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). (2017). Aumenta la generación de residuos en América Latina y el Caribe. Recuperado el 20 de agosto de 2024, de https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/aumenta-la-generacion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe

[20] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) & International Solid Waste Association (ISWA). (2024). *Global Waste Management Outlook 2024 - Beyond an age of waste: Turning Rubbish into a Resource*. Recuperado el 12 de agosto de 2024, de https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939

[21] Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP) & Universidad Nacional de Colombia (UNC). (2016). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. Recuperado el 12 de agosto de 2024, de https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

Hacia cero plásticos de un solo uso en el Instituto Tecnológico de Toluca

María del Consuelo Hernández Berriel*, María del Consuelo Mañón Salas, Yolanda Hernández Tamayo, Elsie Jiménez Lozada, Beatriz García Gaitán, Luis Tomás Ávalos López

Instituto Tecnológico de Toluca, Tecnológico Nacional de México, Av. Tecnológico s/n, Colonia Agrícola Bellavista, C.P. 52149, Metepec, Edo. de Méx., México.

*Correo electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen

Los plásticos surgen con la idea de apoyar las actividades humanas, sin embargo, debido a la ineficiente gestión de sus residuos y persistencia en el ambiente, actualmente son un peligro para la diversidad en el planeta y el ser humano. Este trabajo tiene por objetivo presentar lo realizado, los compromisos y retos que tiene el Instituto Tecnológico de Toluca, para lograr la supresión del plástico de un solo uso en sus instalaciones. Para ello se llevó cabo investigación documental; se realizó investigación de campo interna y externa y, se elaboraron propuestas de mejora. El Programa "100% libre de plástico de un solo uso", fue creado por el Tecnológico Nacional de México en 2019 para que sus 256 instituciones contribuyan con la Agenda 2030. A la fecha, en el Instituto Tecnológico de Toluca se han desarrollado videos y actividades para disminuir del uso de materiales desechables. La caracterización evidenció que los subproductos más generados son los residuos Plásticos (23.5%), Papel y cartón (22.7%) y, Residuos de comida y otros orgánicos (12.5%). Se tuvo la participó del 52.9% de los negocios externos, detectando que la mayoría de sus alimentos son vendidos en bolsas de PEBD o en platos o vasos de EPS; seguidos de vasos o botellas de PET y cubiertos de PS. Se proponen campañas constantes de sensibilización y concientización, apoyadas de cursos-talleres para la comunidad tecnológica y negocios externos; para que la supresión de plásticos desechables en la institución y su limitación de ingreso sean apoyadas por convicción.

Palabras clave: *Agentes*, *concientización*, *plásticos de un solo uso*, *sensibilización*, *supresión*

1. Introducción

El término plástico proviene del griego "plastikos", cuyo significado es que se puede moldear. Para elaborar plásticos convencionales se requiere de derivados del petróleo, resinas vegetales y aditivos para mejorar la estabilidad y resistencia. En el mercado existen diversas técnicas para fabricar plásticos, destacando la inyección, la extrusión y el soplado. Entre las características de los plásticos se tiene que son inertes, ligeros, económicos y tienen una alta relación de resistencia/masa (ROTOLIA, 2021; Vázquez-Morillas et al., 2016).

La producción de plásticos fue una realidad en los años 50´s, cuando sus características y diseño se mejoraron, permitiendo que paulatinamente desplazaran al metal, vidrio y madera, diversificándose su aplicación y de manera paralela, su producción se ha incrementado en millones de toneladas desde 1.7 en 1950 a 288 en 2012 y, alcanzó las 369 en 2019 (Plastics Europe, 2013; 2020).

Los tipos de plásticos se identifican por número y entre ellos se tienen a: No. 1 Polietileno-Tereftalato (PET), utilizado para empaques de alimentos, especialmente en botellas, que tarda en degradarse 1000 años; No. 2 Polietileno de Alta Densidad (PEAD/HDPE), usado en tuberías, canalones, tapas y botellas para detergente y champú, que se degradan entre 50 y 100 años. No. 3 Policloruro de Vinilo (PVC), se utiliza en cañerías industriales, carcasas de teléfonos y ordenadores y en revestimientos de cables eléctricos, su vida útil son 50 años; No. 4 Polietileno de Baja Densidad (PEBD/LDPE), para fabricación de bolsas, sacos y películas transparentes (laminados), que tardan 150 años en degradarse; No. 5 Polipropileno (PP), se usa en textiles, popotes, dispositivos médicos, material de laboratorio, componentes automovilísticos, juguetes, cucharas, ganchos, que se degrada en 500 años; No. 6 Poliestireno sólido (PS) es utilizado en envases de alimentos, popotes, autopartes y molduras, mientras que el Poliestireno expandido (EPS, unicel) se usa como aislante y para fabricar vasos y platos térmicos, que se degradan en 500 años; y el No. 7 se utiliza para Otros Plásticos como el policarbonato (techos), el acrílico (lentes y cubiertas de lámparas) y el nylon (redes y textiles) (FHB & BFFP, 2020; Soluciones de embalaje en plástico, 2023).

Los largos periodos de degradación que requieren los plásticos son parte del problema, donde sus residuos representan entre el 9 y 14% de los residuos sólidos urbanos (RSU) y se espera se incremente de manera directa al producto interno bruto de los países (Hernández-Berriel et al., 2019; Plastics Europe, 2013; Vázquez-Morillas et al., 2016). La pandemia por COVID-19 incrementó el consumo de plásticos de un solo uso, conocidos también como desechables; los cuales representan el 50% de la producción mundial, que se estimó en 2022 en 400 millones de toneladas. Desafortunadamente gran parte de estos residuos llegan al mar y su persistencia ha puesto en riesgo la vida marina, prueba de ello es que sobre 100,000 tortugas y mamíferos marinos y, un millón de aves marinas mueren anualmente (Gobierno de México, 2021; NU, 2020; PNUMA, 2023; SEMARNAT-PNUMA-UAM, 2023).

Los residuos plásticos son contaminantes visibles y fuente de contaminantes invisibles, como los microplásticos y los aditivos utilizados para la elaboración de los plásticos. Con respecto a los microplásticos, el problema es que organismos en la base de la cadena alimenticia los ingieren accidentalmente o por confundirlos con sus presas y éstos son comidos por otros de mayor tamaño, ocasionando bioacumulación y efectos secundarios como obstrucción del tracto digestivo, problemas de fecundidad, crecimiento y la muerte por inanición (Vázquez-Morillas, et al., 2020). Entre los aditivos utilizados para mejorar las características de los plásticos, se tiene el Bisfenol A (BPA), que es un disruptor endócrino y se le relaciona con cáncer, trastornos del desarrollo e infertilidad (Ecologistas en acción, 2024a; 2024b; SCP/RAC-PNUMA-MAP, 2021).

Ante este panorama, es evidente que debe evitarse el consumo de plásticos de un solo uso, es por ello que el Tecnológico Nacional de México (TecNM) presentó en 2019 la iniciativa del programa "TecNM:100% libre de plástico de un solo uso" (TecNM, 2019). Como parte de este programa (TecNM, 2023; 2024), este documento tiene por objetivo presentar las actividades realizadas, así como los compromisos y los retos que tiene el Instituto Tecnológico de Toluca (ITTol), para lograr la supresión del plástico de un solo uso en sus instalaciones.

2. Metodología

2.1. Investigación documental

Se realizó investigación documental sobre la Agenda 2030 y el programa "TecNM: 100% libre de plástico de un solo uso", consultando fuentes oficiales tanto de Naciones Unidas, como del Gobierno de México (GM) y del TecNM; con el fin de documentar los antecedentes e identificar puntos de partida para propuestas.

2.2. Investigación de campo

Tomando en cuenta que la presencia de plásticos de un solo uso en el ITTol, depende de actores internos y externos, el trabajo de investigación se dividió en investigación interna y externa:

- Investigación de campo interna.
  La investigación de campo dentro del ITTol, comprendió el acopio de información mediante entrevistas directas a las personas que han colaborado en el Programa "TecNM: 100% Libre de plástico de un solo uso"; y se realizó la caracterización de los RSU producidos en el ITTol, con base en la normatividad vigente mexicana NMX-AA-15-1985 y NMX-AA-22-1985 (SEMARNAT, 2017a).

- Investigación de campo externa.
  La investigación externa se realizó aplicando un cuestionario de 31 preguntas cerradas a los negocios aledaños al ITTol, elaboradas previamente en Microsoft Forms 365 (Microsoft, 2023). También se aplicó a los negocios internos que dan servicio de alimentos a la Comunidad del ITTol. Este cuestionario, que por razones de espacio no se presenta, tuvo como fin conocer los tipos de plásticos que utilizan los negocios para la venta de sus productos y su disposición a cambiar por recipientes amigables con el ambiente.

2.3. Elaboración de propuestas

De acuerdo con los resultados de la investigación documental y de campo, se elaboraron propuestas para mejorar el manejo de los RSU en el ITTol y coadyuvar en la supresión del plástico de un solo uso en sus instalaciones, involucrando a los negocios aledaños al instituto.

3. Resultados y discusión

3.1. Investigación documental

La Agenda 2030 fue publicada en 2018 como un plan de acción global, que se enfoca en las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y la participación colectiva; para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para el desarrollo sostenible, con dimensiones económica, social y ambiental. En ella se establecen 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas, en áreas como Igualdad de género, Salud, Educación, Ambiente y Paz (NU, 2018).

Ante la celebración del 50 aniversario del Día Mundial del Medio Ambiente establecido por la Organización de Naciones Unidas (ONU, en español) en 1972, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) declaró el 30 de enero de 2023, que la celebración del 05 de junio de ese año se centraría en las soluciones a la contaminación por plásticos y que Costa de Marfil sería el país anfitrión (PNUMA, 2023).

En México, la LXIV Legislatura de la Cámara de Diputados publicó en diciembre 2019 el documento "Prohibición del uso de bolsas de plástico. Derecho comparado a nivel internacional y estatal", el cual contribuye a abordar las temáticas de los ODS de la Agenda 2030: 3 Salud y bienestar, 6 Agua limpia y saneamiento, 7 Energía asequible y no contaminante, 9 Industria innovación e infraestructura, 11 Ciudades y comunidades sostenibles, 12 Producción y consumo responsables, 13 Acción por el clima, 14 Vida submarina, 15 Vida de ecosistemas terrestres y 17 Alianza para lograr los objetivos. Este documento tuvo por "objeto mostrar cómo, a través de la legislación y las políticas públicas que emanan de ésta, se está afrontando y atacando la problemática del uso de las bolsas de plástico y sus consecuencias…" e "identifica que a nivel federal han sido presentadas en la LXIV Legislatura diversas propuestas para prohibir el uso de las bolsas de plástico, transitar al uso de materiales biodegradables e, incluso, proponer un impuesto federal sobre las bolsas de plástico de un solo uso". Si bien aborda diez de los 17 ODS, destaca el 14, a que concibe "conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible". Como ejemplos del compromiso de México por eliminar los plásticos de un solo uso se tiene que 29 de las 33 entidades federativas contemplan desde el 2021 en sus legislaciones de gestión de residuos, a los plásticos de un solo uso y la corresponsabilidad del gobierno y los sectores productivo, comercial, académico y a la sociedad en general. Se ha prohibido el uso de las bolsas de plástico en 17 estados, se estipula la disminución en cinco, la eliminación en cuatro y en diez se contemplan sanciones. Como apoyo en 15 estados se promueve el uso de bolsas reutilizables y materiales biodegradables, resaltando San Luis Potosí, que ofrece estímulos fiscales por producción, promoción, distribución y utilización de bolsas biodegradables (Cámara de Diputados, 2019; Reyes-Jaime et al., 2024).

Por su parte el TecNM, comprometido con el desarrollo sostenible del país, el 19 agosto 2019 arranca la Iniciativa "TecNM:100% Libre de Plástico de un solo", con la presentación de la *Comisión de Seguimiento*, integrada por cinco Directores de Institutos Tecnológicos Federales y cinco

Descentralizados. Esta iniciativa en su Primera Etapa consistió en concientizar y realizar acciones para suprimir la utilización de plásticos de un solo uso en los 254 instituciones que conforman el TecNM (126 son Institutos Tecnológicos Federales, 122 Institutos Tecnológicos Descentralizados, cuatro Centros Regionales de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODE), un Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica (CIIDET) y un Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET)). Para finales de 2019, 246 instituciones obtuvieron su *Certificado de Reconocimiento*. La Segunda Etapa se desplegó entre 2020 y 2021, llevando a cabo seis acciones y lograron su *Certificado de Reconocimiento*, las 254 instituciones que conforman el TecNM. La Tercera Etapa inició a principios del 2022, con dos objetivos; el primero fue prever que la Iniciativa continuara sin contratiempos en el regreso de las actividades presenciales después de la pandemia de COVID 19 y el segundo fue implementar acciones que permitieran el tratamiento o disposición de productos plásticos como mascarillas, guantes, botellas de desinfectante, mamparas protectoras, caretas, etc.; así como aperturar el campo de acción. El 6 de junio 2023 inició la Cuarta Etapa (ver figura 1), cuyo objetivo fue verificar y consolidar el aprendizaje y concientización de la comunidad tecnológica, procurando la búsqueda de la calidad de vida mediante la transformación de hábitos y buenas prácticas, tendientes a la eliminación del 100 % de la utilización de plástico de un solo uso en las instalaciones de sus 254 instituciones (TecNM, 2019; 2023; 2024).



Figura 1: Imagen del programa “100 % libre de plástico de un solo uso” del TecNM

3.2. Investigación de campo

La presencia de plásticos de un solo uso en el ITTol depende de las interacciones entre actores internos y externos, especialmente cuando realizan la compra-venta y consumo de alimentos que requieren empaque para su conservación y/o traslado, hasta que son consumidos.

Los actores internos detectados fueron: estudiantes, docentes, profesores investigadores, personal administrativo de todos los departamentos y personal de mantenimiento. Entre los actores

externos se detectaron los negocios aledaños a la institución, las familias de los estudiantes y los proveedores de los servicios de cafetería, seguridad, limpieza y jardinería.

Investigación de campo interna

El organigrama del ITTol inicia con la Dirección y se divide en tres Subdirecciones: Planeación y Vinculación, Académica y, Servicios Administrativos; las cuales cuentan con seis, 11 y cinco departamentos, respectivamente. El programa "TecNM: 100 % Libre de Plástico de un solo uso", forma parte del Sistema de Gestión Ambiental (SGA), el cual depende directamente de la *Subdirección de Planeación y Vinculación*. Entre las acciones que se han desarrollado en el ITTol destacan las siguientes:

1. Actividades de difusión para la sensibilización y concientización; mediante videos difundidos en la página de la institución y redes sociales (ver Figura 2). Estos videos han sido desarrollados por el *Departamento Comunicación y Difusión* y el SGA del ITTol.

2) Recolección diferenciada de RSU. Esta actividad la realiza el Depto. de Recursos Materiales y Servicios junto con el Programa Ambiental Institucional (PAI), donde en este último, estudiantes de Servicio Social separan el papel, cartón, PET y latas de aluminio para su entrega a centros de acopio para su reciclaje (ver Figura 3).

3) Eliminación de compras de plásticos de un solo uso en todos los departamentos, para oficinas y eventos.

4) Promoción de uso de utensilios de materiales distintos al plástico de un solo uso en cafetería, oficinas y eventos.

5) Como parte de la "Declaración de compromisos de la 4ª. Etapa "Reforzamiento de buenas prácticas", el ITTol el 18 de junio 2024 inauguró su Planta Purificadora "Agua para Todos", la cual produce 5000 L/día y tienen como meta sustituir la compra de agua en garrafón en oficinas, así como la compra de agua embotellada por estudiantes y personal en general.

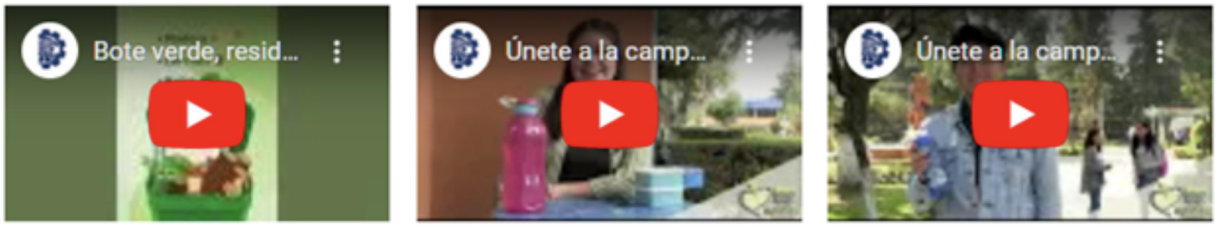


Figura 2: Videos del ITTol para el programa "TecNM:100 % libre de plástico de un solo uso"

Para conocer los tipos de plásticos que se producen, se realizó primero la caracterización de los RSU de un día de labores en el ITTol, la cual se comprendió 27 subproductos, agrupados en nueve



Figura 3: Separación de PET y latas de aluminio en el ITTol para reciclaje

en la Figura 4 (SEMARNAT, 2017b), donde puede apreciarse que la mayor proporción la tienen los rubros de plásticos, papel y cartón, seguidos de Residuos de comida, jardines y otros orgánicos. En el rubro de Otros (24.5 %) se incluyeron residuos de Loza, Cerámica, Medicamentos, Electrónicos y Varios (residuos difíciles de separar que suman 10.7 %), así como Finos que son partículas menores a 200 mallas (5.6 %). Cabe mencionar que el Papel higiénico se recoge directamente de todos los sanitarios, sin embargo, entre los residuos caracterizados de los tambos donde la Comunidad debe depositar los RSU separados, se contabilizó el 5.1 %. También se encontraron 620 g de aceite para motor y 2.14 kg de aserrín con aceite que, al ser residuos peligrosos, no se incluyeron en la caracterización reportada.

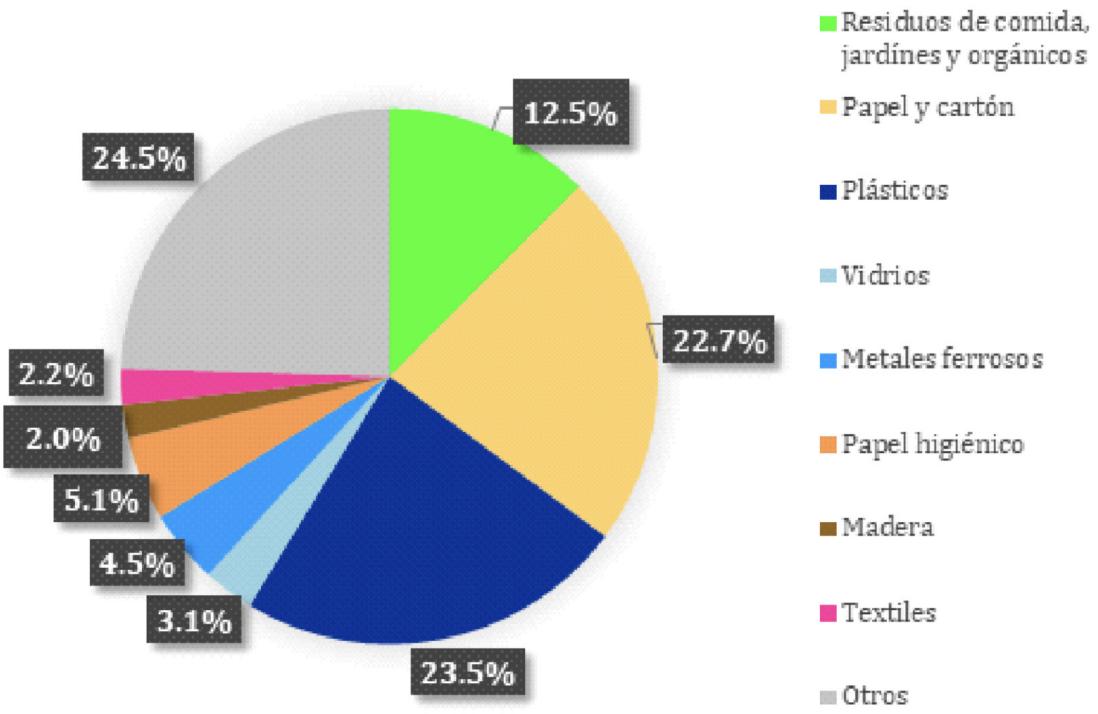


Figura 4: Caracterización de los RSU y plásticos del ITTol

El 23.5% del rubro Plásticos está integrado por: 11.2% de EPS (unicel), 4.3% de PET (botellas), 3.3% de PEBD (bolsas y polipapel), 3.1% de PEAD (tapitas y cubetas), 2.1% de laminados (envolturas dulces, galletas, etc.), 0% de PP (cubiertos desechables), 0.6% de acrílico (protectores de lámparas), 0.2% de PS (envases de yogurt) y el resto de poliuretano, policarbonato, polipiel, guantes de látex, hule, fomy y otros materiales plásticos de un solo uso.

Investigación de campo externa

Se ubicaron 85 negocios en las cercanías del ITTol, así como la Cafetería y un Kiosco que dan servicio interno a la comunidad tecnológica. Se identificaron los negocios externos en tres zonas (Zona A, 44 negocios; Zona B, 30 negocios y Zona C, 13 negocios) y con ayuda de estudiantes de servicio social, se visitó a todos los negocios, logrando que el 52.9% de ellos respondiera el cuestionario. En la Figura 5 se muestra en color azul la ubicación del ITTol, en color amarillo los dos negocios de alimentos internos, en color verde los negocios que respondieron el cuestionario y en color rojo los que se negaron.

De los 45 negocios externos que respondieron el cuestionario, tres fueron ambulantes, tres solo venden bebidas, dos son papelerías que también venden golosinas y una tienda que solo vende dulces (no alimentos), por lo que el 76% oferta alimentos preparados y bebidas.

El 75% de los negocios entrevistados separa sus residuos, de éstos el 59% segrega en orgánicos e inorgánicos, el 34% separa los reciclables de los no reciclables y el resto segrega, pero confunde los tipos de residuos. La tercera parte de los negocios separa entre el 80 y el 100% de sus residuos, el 11% entre el 50 y el 79%, mientras que el resto separa menos de la mitad de sus residuos.

Dos de los 45 negocios declararon que no generan residuos plásticos y el 27% desconoce los diferentes tipos de plásticos. En la Figura 6 se presentan los tipos de plásticos, que identifican los negocios en los recipientes que expenden alimentos y/o bebidas; donde los más conocidos son el EPS y el PET, seguidos de bolsas y polipapel (PEBD) y el celofán; y lo que menos identifican son el PS y el PP.

El 98% de los negocios aledaños al ITTol ofrece servicio para llevar y el 75% también brinda alimentos y/o bebidas para consumo en su local; mencionando que el servicio para llevar es de frecuente a muy frecuente de lunes a sábado.

Si bien la mayoría utiliza plásticos de un solo uso, el 20% mencionó que sirve alimentos para llevar en recipientes reusables de los mismos clientes y el 38% declaró que emplea materiales biodegradables. Entre los materiales y recipientes que utilizan para la venta de sus productos para llevar destacan las bolsas de PEBD y el EPS (platos, contenedores y vasos térmicos), seguidos del PET y PS (ver Figura 7). Los entrevistados mencionaron que la elección del material del recipiente mayoritariamente se debe al costo-beneficio (29 de 45 negocios) y por las características del producto (caliente y/o líquido) (23 de 45 negocios).

A la pregunta ¿Cómo calificaría la importancia de utilizar materiales amigables con el ambiente ?, la mayoría respondió que Muy importante, seguido de Importante (ver Figura 8), lo cual es



Figura 5: Ubicación de negocios aledaños (íconos verdes y rojos) e internos (íconos amarillos) del ITTol (ícono azul)

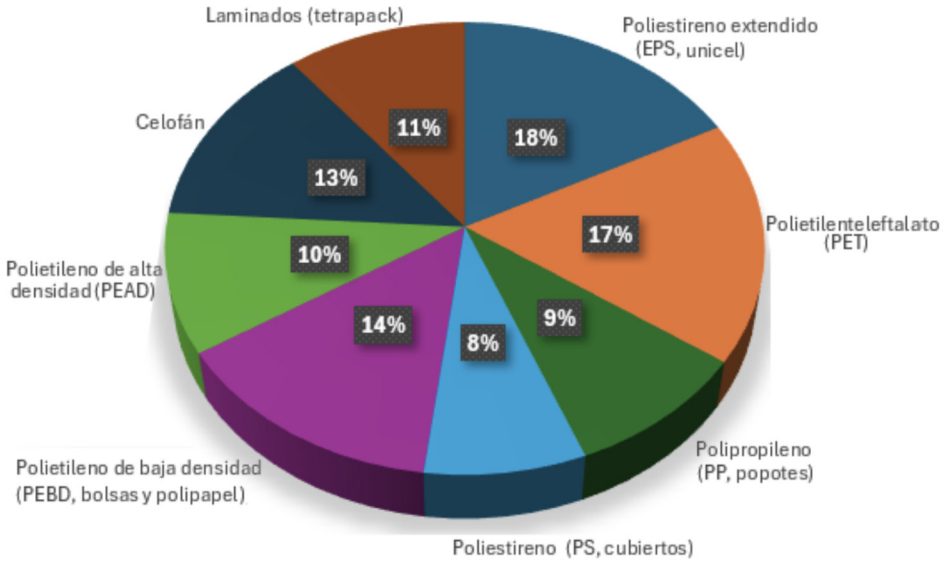


Figura 6: Tipos de plásticos que identifican en los negocios aledaños al ITTol

congruente con el 89% que contestó afirmativamente al cambio de materiales amigables con el ambiente, aunque esta respuesta es superior al 76% que respondió, que podría considerar alternativas a los empaques que actualmente utiliza (Acharya, 2018; WWF; 2017).

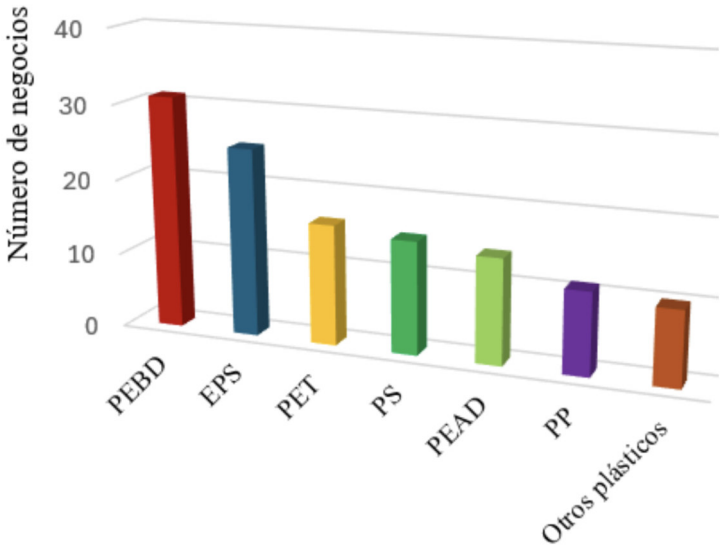


Figura 7: Tipos de plásticos en recipientes y materiales para venta de alimentos y bebidas

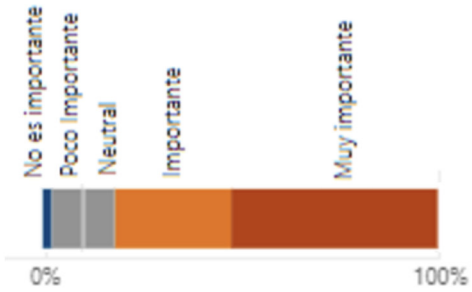


Figura 8: Importancia de utilizar materiales amigables con el ambiente

3.3. Elaboración de propuestas

Conforme a la cronología del programa "TecNM: 100% Libre de plástico de un solo uso", el punto de partida identificado fue la Cuarta Etapa "Reforzamiento de buenas prácticas". Las propuestas para afrontar los retos que este programa demanda, se presentan a continuación agrupadas en cinco temáticas:

1. Diagnóstico sobre el uso de plásticos en el contexto interno y externo del ITTol:
    - Encuestas a la comunidad ITTol (Administrativos, docentes, estudiantes, servicios).
    - Encuestas a personal de servicios externos.
    - Cuestionarios a negocios aledaños.
    - Caracterización de RSU y plásticos al inicio, mediados y final de semestre.
    - Entrevistas al personal de compras y adquisiciones

2) Sensibilización y concientización:

- Campaña constante mediante videos en página oficial, redes sociales y murales en paredes dentro del ITTol.
- Inclusión en el Curso de inducción para los estudiantes de nuevo ingreso, una plática sobre el Sistema de Gestión de Calidad (SGC), el SGA, el PAI y este programa.
- "Charlas Ambientales de cinco minutos" a estudiantes en aulas, por estudiantes de Servicio Social y de asignaturas como "Taller de Ética" y "Desarrollo Sustentable".
- "Charlas de Salud" al personal de Seguridad, Limpieza, Jardinería, Cafetería, Kioscos, Docente y No docente.
- Promover concursos y exposiciones de fotografía sobre los impactos de los plásticos.

3) Programa de capacitación docente y no docente.

- Curso-taller al cuerpo directivo (director, subdirectores y jefes de departamentos).
- Curso-taller en los periodos intersemestrales y durante el semestre (dos horas cada viernes) en el ITTol.
- Curso-taller para estudiantes de Servicio Social para las "Charlas Ambientales de cinco minutos".
- Curso-taller durante el semestre para el personal de Seguridad, Limpieza, Jardinería y Alimentos (cafetería y kioscos).
- Curso-taller de sensibilización ambiental para la liberación de "Créditos Ambientales" para estudiantes.

4) Compras amigables con el ambiente:

- Preferir adquirir materiales reusables para laboratorios, oficinas y eventos institucionales.
- Privilegiar compras a proveedores cuyos productos no empleen empaques plásticos.

5) Reforzar la supresión de plásticos de un solo uso:

- Fomentar el uso de los utensilios diferentes al plástico, especialmente de un solo uso.
- Supresión en cafeterías de implementos, materiales y enseres de plásticos de un solo uso.
- Privilegiar materiales biodegradables para empaque y movilidad de alimentos.
- Incentivar económicamente el uso recipientes reusables, preferentemente vidrio y metal.
- Reemplazar máquinas de refrescos en PET por refrescos en lata de aluminio.

- Promover el relleno gratis de botellas reusables en la Planta Purificadora “Agua para Todos”.
- Limitar el acceso de alimentos al ITTol en empaques de plástico desechable.

Cabe mencionar que las “Charlas ambientales de cinco minutos” podrían realizarse en tres momentos a lo largo del semestre a todos los grupos de estudiantes; así como llevar a cabo la caracterización de subproductos de RSU al inicio, mediados y finales de cada semestre, con el fin de llevar un registro sobre la reducción de plásticos de un solo uso.

4. Conclusiones

Ante los riesgos ambientales y de salud que representan los plásticos, especialmente los desechables, es imperante sensibilizar, informar y concientizar a la comunidad del ITTol y a los negocios aledaños.

Si bien se han realizado acciones importantes en el ITTol como parte del programa “TecNM:100 % Libre de plástico de un solo uso”, se requiere redoblar y sumar esfuerzos para institucionalizar las buenas prácticas de esta iniciativa.

Los residuos de plásticos representan cerca de la cuarta parte de los RSU en el ITTol, donde sobresalen los elaborados con EPS (unicel), PET (botellas) y PEBD (bolsas y polipapel) y, coinciden con aquellos que mayormente identifican los negocios, en los recipientes que expenden alimentos y/o bebidas a la comunidad del ITTol.

La elección del material de los recipientes de plástico que utilizan en los negocios externos al ITTol, es por costo-beneficio, seguido de las características de los alimentos y bebidas, detectando que en el 27 % de ellos se desconoce los diferentes tipos de plásticos.

El que la mayoría de los negocios haya calificado de Muy importante e Importante la utilización de materiales amigables con el ambiente y, estén dispuestos en considerar alternativas para sustituir los empaques plásticos que utiliza actualmente, representa un apoyo a la supresión de plásticos de un solo uso en el ITTol.

La participación positiva de los diferentes actores de la comunidad motiva y es primordial para la implementación con éxito de la iniciativa “TecNM:100 % Libre de plástico de un solo uso” en el ITTol.

Agradecimientos

Los autores reconocen y agradecen a los negocios externos e internos su participación; a los estudiantes de Servicio Social del ITTol que apoyaron en la aplicación de encuestas y caracterización de subproductos de RSU; al Depto. de Comunicación y Difusión, al Depto. de Recursos Materiales y Servicios, al SGA y al PAI del ITTol, por la información y facilidades brindadas para este trabajo; así como al personal de Limpieza.

Referencias bibliográficas

[1] Acharya, A. (2018). Cinco cosas que puede hacer para poner fin a la contaminación por plásticos. Banco Mundial Blogs. Recuperado de https://blogs.worldbank.org/es/voices/cinco-cosas-quepuede-hacer-para-poner-fin-la-contaminacion-por-plasticos

[2] Cámara de Diputados. (2014, 1 de julio). Prohibición del uso de bolsas de plástico: Derecho Comparado a Nivel Internacional y Estatal SAPI-ISS-19. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/

[3] Ecologistas en Acción. (2024a). Disruptores endocrinos. Recuperado de https://futurosintoxicos.org/categoria/contaminacion-ambiental/disruptores-endocrinos/

[4] Ecologistas en Acción. (2024b). ¡Grandes contaminadores fuera de la agenda de la UE!. Recuperado de https://futurosintoxicos.org/2024/06/27/grandes-contaminadores-agenda-ue/

[5] FHB & BFFP. (2020). El Atlas del Plástico 2020. Fundación Heinrich Böll & Break Free From Plastic (BFFP). Recuperado de https://mx.boell.org/sites/default/files/2021-04/WEB_Atlas_plasticos_Mexico_04.pdf

[6] Gobierno de México. (2021). Contaminación por plástico. Procuraduría Federal del Consumidor. Recuperado de https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es#:~:text=Los%20pl%C3%A1sticos%20de%20un%20solodesechan%20tras%20un%20solo%20uso

[7] Hernández-Berriel, M. C., Mañón-Salas, M. C., Buenrostro-Delgado, O., Carreño de León, M. C., & de la Rosa Gómez, I. (2019). Generación de plásticos versus actividades económicas en cuatro municipios del Estado de México. Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos, 12(1), 30-38.

[8] Microsoft. (2024, 11 de julio). Microsoft Forms. Recuperado de https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/online-surveys-polls-quizzes

[9] Naciones Unidas (NU). (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content

[10] Naciones Unidas (NU). (2020). La marea de plástico causada por el COVID-19 también es un peligro para la economía y la naturaleza. Recuperado de https://news.un.org/es/story/2020/07/1478011

[11] Plastics Europe. (2013). Plastics – the Facts 2013. Recuperado de https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2013-Plastics-the-facts.pdf

[12] Plastics Europe. (2021). Plásticos – Situación en 2020. Recuperado de https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES_Plastics_the_facts-WEB-2020_May21_final_updatedJuly2021.pdf

[13] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2023). El Día Mundial del Medio Ambiente 2023 se centrará en las soluciones a la contaminación por plásticos con Costa de Marfil como país anfitrión. Recuperado de https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-dia-mundial-del-medio-ambiente-2023-se-centrara-en

[14] Reyes Jaime, A., Aguilar Ibarra, A., Ángeles Hernández, M., & Güereca Hernández, L. P. (2024). Legislaciones estatales para los plásticos de un solo uso en México: ¿Qué sectores están incluidos? Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 40, 105-117. https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/54930

[15] ROTOLIA. (2021). ¿Cuál es el origen del plástico? Recuperado de https://www.rotolia.com/blog/cual-es-el-origen-del-plastico/#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%201907%20elcalor%2C%20electricidad%20y%20a%20los%20solventes

[16] SCP/RAC-PNUMA-MAP. (2021). Centro de Actividad Regional para el Consumo y la Producción Sostenibles. Recuperado de https://ipen.org/sites/default/files/documents/plastics_and_additives_final-low-o-es.pdf

[17] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017a). Normatividad aplicable al tema de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Recuperado de https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/normatividad-aplicable-al-tema-de-residuos

[18] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017b). Guía de Diseño para la Identificación Gráfica del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos. Recuperado de https://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/residuos/solidos/Documents/guia-diseno.pdf

[19] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Diagnostico Básico para la Gestión Integral de Residuos. Recuperado de https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD003864.pdf

[20] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), PNUMA, & Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). (2023). Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica (INFCP). Primera edición. Recuperado de https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2023/NFCP_2023.pdf

[21] Soluciones de embalaje en plástico. (2023). El Manual de los Tipos de Plástico. Recuperado de https://solucionesdeembalaje.com/guia-completa-tipos-plastico/

[22] Tecnológico Nacional de México (TecNM). (2019). Conforman Comisión TecNM:100

[23] Tecnológico Nacional de México (TecNM). (2023). Cuarta etapa de Iniciativa "TecNM 100

[24] Tecnológico Nacional de México (TecNM). (2024). Convocatoria TecNM:100

[25] Vázquez-Morillas, A., Velasco-Pérez, M., Espinosa-Valdemar, R. M., Morales-Contreras, M., Hernández-Islas, S., Ordaz-Guillén, M. Y. L., & Almeida-Filgueira, H. J. (2016). Generación, legislación y valorización de residuos plásticos en Iberoamérica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32, 63-76. https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.05

[26] Vázquez-Morillas, A., Cruz-Salas, A. A., Álvarez-Zeferino, J. C., Rosado-Piña, V. L., Beltrán-Villavicencio, M., Mendoza-Sánchez, M., & Espinosa-Valdemar, R. M. (2020). Monitoreo de microplásticos en playas. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/343322519_Monitoreo_de_microplasticos_en_playas

[27] World Wildlife Fund (WWF). (2017). 6 formas de reducir el impacto de las bolsas plásticas. Recuperado de https://www.wwf.org.mx/?304370%252Freduce-el-impacto-de-lasbolsas-plasticas

Parte III

Tratamiento y valorización de residuos

Complemento alimenticio canino a base de residuos cárnicos y vegetales

Francisco Jesús Alvirde Díaz, María del Consuelo Hernández Berriel*, Laura Verónica Díaz Archundia, Nicolás Flores Álamo, Fredy Cuellar Robles

Instituto Tecnológico de Toluca, Tecnológico Nacional de México, Av. Tecnológico s/n, Colonia Agrícola Bellavista, C.P. 52149, Metepec, Edo. de México, México.

*Correo electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen

Actualmente, uno de los mayores problemas de la sociedad es la generación de residuos, los cuales en su mayoría son desaprovechados. La generación de residuos sólidos en México en 2018 fue 120,128t/día, de los cuales el 46.42% correspondió a residuos orgánicos. Entre los residuos orgánicos destacan los residuos cárnicos y vegetales, los cuales conforme a la NOM-161-SEMARNAT-2011, son considerados residuos de manejo especial y contribuyen con las emisiones de CH_4, CO_2, N_2O y NH_3. Los residuos cárnicos y sus subproductos son contaminantes de acuíferos, generan malos olores y son fuentes de riesgos biológicos. Una forma de reducir los residuos cárnicos y vegetales es aprovechándolos para alimento de ganado o de animales de compañía; por lo que el objetivo del presente trabajo fue elaborar un complemento nutrimental para mascotas caninas a base de residuos cárnicos y vegetales. Para ello, se investigó en fuentes documentales, se realizó trabajo de campo mediante el estudio de mercado (incluyendo entrevistas con dueños de mascotas) y se determinaron las materias primas idóneas, con las cuales se formuló un complemento alimenticio. Los resultados obtenidos muestran que la elaboración de este alimento puede aportar hasta 486.25KJ de energía y 17.28g de proteína por cada 100g de complemento, además de tener una alta palatabilidad y una amplia vida de anaquel, por otro lado, su producción ayudaría a disminuir el impacto ambiental que generan estos residuos, evitando la generación de 448.15t de CO_2 equivalentes por cada tonelada de residuos orgánicos que fueran aprovechados.

Palabras clave: *complemento alimenticio*, *emisiones CO_2e*, *residuos orgánicos*, *residuos cárnicos*, *residuos vegetales*

1. Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por siglas en inglés), estima un desperdicio global de entre un cuarto y un tercio de los alimentos producidos anualmente para consumo humano, esto representa sobre 1,300,000,000t de alimentos desechados o no consumidos, los cuales son considerados residuos de manejo especial conforme a la NOM-161-SEMARNAT-2011 (DOF, 2013; FAO, 2012). El Banco Mundial dio a conocer en 2018 el estudio

"Pérdidas y Desperdicios Alimentarios en México"basado en el análisis de 79 alimentos, según el cual se desperdician 20,400,000t/año, que corresponden al 34% de los alimentos que se producen en el país, lo que implica grandes impactos ambientales, económicos y sociales (GM, 2018). El Banco de Alimentos de México (BAMX), organización de la sociedad civil sin fines de lucro, reportó en 2022 que un tercio del alimento producido se desperdició, lo que equivale a 38t/min (GM, 2022).

Por otro lado, durante el 2021, el tamaño del mercado mundial de alimento para mascotas fue valorado en 110,530,000,000 de dólares ($USD), estimando que para el año 2029 esta cifra aumentará a 163,700,000,000 $USD, debido incremento de personas que poseen una mascota alrededor del mundo, especialmente en países en vías de desarrollo (Carbajo, 2023). El tamaño del mercado en México registrado durante el año 2023 fue de 2,530,000,000 $USD, previendo un crecimiento anual del 5.40%.

En México el desperdicio de alimentos existe por diversas razones, desde una incorrecta manipulación, baja demanda o simplemente defectos estéticos; motivos que no precisamente impedirían que estos fueran aprovechados, como los desperdicios producidos en rastros, carnicerías y mercados, los cuales son aproximadamente 390,750t de residuos cárnicos (RC) (CMC, 2023) y 1,300t de residuos vegetales (RV) (GM, 2022). Estos residuos pudieran ser utilizados para la elaboración de alimento para mascotas. Conforme a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue elaborar un complemento nutrimental para mascotas caninas, a base de RC y RV.

2. Metodología

Para alcanzar el objetivo general de elaborar un complemento alimenticio para mascotas a base de RC y RV, se plantearon una serie de objetivos específicos, cuya consecución se consiguió mediante el desarrollo de las etapas que se muestran en la Figura 1 y se describen a continuación.

2.1. Estudio de mercado

Un estudio de mercado consiste en reunir, planificar, analizar y comunicar de manera sistemática los datos relevantes para la situación de mercado específica que afronta una organización (Kotler et al., 2004). Para ello se recabó información documental sobre la cantidad y características de los productos que actualmente se encuentran el mercado para la alimentación canina.

Se investigó sobre los municipios del Estado de México, mediante fuentes secundarias como SEDESOL, INEGI, INAFED y PROFECO, con el fin de conocer aquellos lugares donde se comercializan más productos cárnicos y vegetales; además se investigaron diferentes sitios con potencial para la recolección apropiada de RC y RV. También se realizó entrevistas mediante un cuestionario a dueños de mascotas caninas de diferentes edades y estatus social, elaborada en Google Forms (Google, 2024), con el fin de recabar información de manera preliminar (Tabla 1).

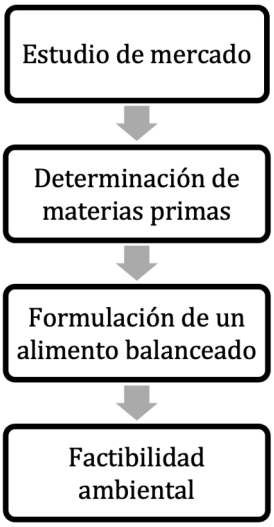


Figura 1: Etapas para la elaboración de alimento canino

Tabla 1: Cuestionario a dueños de mascotas caninas

No.	Pregunta
1	¿Tienes mascotas?
2	¿Qué tipo de mascota tienes?
3	¿Qué tipo de alimento le proporcionas a tu mascota?
4	¿Crees que este tipo de alimentación es adecuada para tu mascota?
5	¿Por qué eliges un alimento para mascotas?
6	¿Cuánto gastas regularmente a la semana en la alimentación para tu mascota?
7	¿Qué formato de gramaje compras regularmente?
8	¿Conoces los requerimientos nutricionales para tu mascota?
9	¿Adquirirías un complemento alimenticio para mejorar la alimentación de tu mascota?

Fuente: Cuestionario realizado a dueños de mascotas caninas mediante Google Forms (Google, 2024)

2.2. Determinación de materias primas

Se recorrieron diferentes comercios buscando RC y RV. Para los primeros se visitaron carnicerías, pollerías y rastros; mientras que para los segundos se asistió a mercados y verdulerías. Se recolectaron diversos RC y RV, a los cuales se les realizó una evaluación visual, seleccionando aquellos via-

bles para ser utilizados en la elaboración del complemento alimenticio para perros. Posteriormente se planificó el traslado de los RC y RV, observando las normas NOM-024-ZOO-1995, NOM-009-ZOO-1994 y NOM-060-SAG/ZOO-2020 para productos cárnicos (DOF, 1995; DOF, 2007; DOF, 2020).

2.3. Formulación de un alimento balanceado

Debido a la vida de anaquel y versatilidad para ser almacenado, se optó por realizar un alimento seco, por lo que se realizaron pruebas para determinar el tamaño adecuado para la deshidratación de los RC y RV seleccionados. Posteriormente, conforme a los reportes de nutrientes de la USDA (2019), se propusieron cuatro formulaciones con los RC y RV, variando el porcentaje de proteína. Se seleccionó una formulación, tomando en cuenta su funcionalidad y sus propiedades físicas.

2.4. Factibilidad ambiental

Para la estimación del impacto ambiental evitado al elaborar el complemente canino, se consideró lo reportado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en ingles), para calcular las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) que no se producirían al aprovechar los RC y RV como residuos orgánicos (RO), conforme a la Ecuación 1 (Hernández- Cervantes, 2022).

$$CO_2e = 4{,}2 \text{ (t de RO)} \tag{1}$$

3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan la información recabada, su análisis e interpretación para la elaboración de un complemento alimenticio para mascotas caninas a base de RC y RV.

3.1. Estudio de mercado

Según ITC Trade, en 2020, México importó alimentos para mascotas por un valor de 123,022,000 $USD en comparación con 104,266,000 $USD en 2017. Entre los países de donde importa México se tienen Estados Unidos, Canadá y Francia, destacando Estados Unidos con la participación del 82.2% de las importaciones. Los alimentos para mascotas importados en México suelen ser productos premium de los Estados Unidos, donde el exportador más importante es Royal Canin. Los principales actores en este mercado son ADM, General Mills Inc., Mars Incorporated, Nestlé (Purina) y Schell Kampeter Inc. (Diamond Pet Foods) (ordenados alfabéticamente) (Mordor Intelligence, 2022).

De acuerdo con la investigación documental en el Estado de México, el lugar donde se comercializan más productos cárnicos es el municipio de Mexicaltzingo, debido a que su principal actividad económica es el comercio de productos cárnicos. Mientras que la mayor comercialización

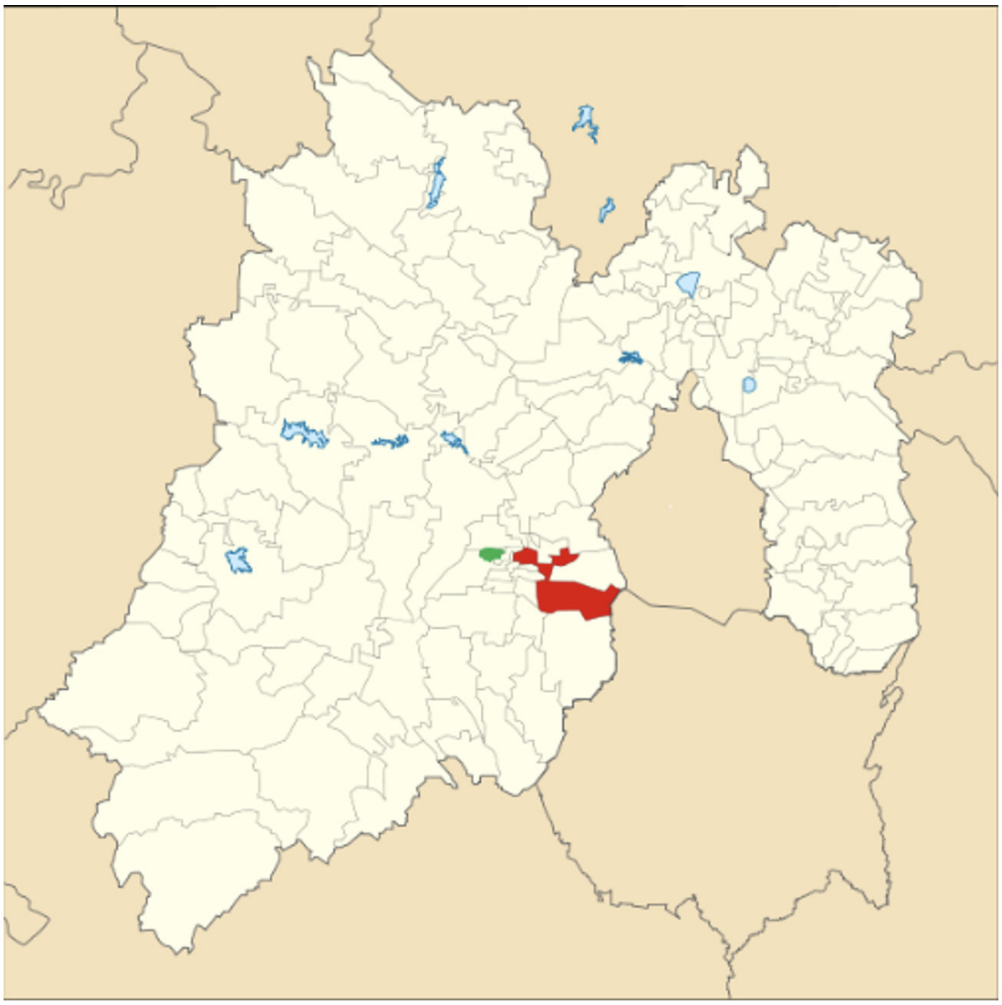


Figura 2: Ubicación de Mexicaltzingo (verde) y Tianguistenco (rojo) en el Estado de México

de verduras se realiza en Santiago Tianguistenco de Galeana, en su reconocido tianguis semanal de los martes, ya que ocupa cerca de 60 calles del municipio. En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica de estos dos municipios (GEM, 2023; INEGI, 2021).

Analizando las respuestas obtenidas de 92 personas, por medio del cuestionario realizado en Google Forms (Google, 2024), en un rango de edades de 17 a 68 años, se obtuvo que un 98% cuentan con mascotas, de las cuales 48.9% tiene solo perros, 16.3% solo gatos y el resto ambos. La mayoría de los dueños entrevistados (79.3%) contestó en la pregunta 3 que el alimento que proporciona a sus mascotas son croquetas (Figura 3), seguido del alimento húmedo y las sobras de comida. Más de la mitad de los dueños (65.2%) creen que estas son una opción nutritiva (pregunta 4). Al momento de escoger un alimento (pregunta 5), las principales razones fueron en orden descendente: nutrientes (25%), costo (22.8%), por recomendación (20.7%), calidad (15.2%), tiempo (12%), comodidad (1.1%) o por su palatabilidad (1.1%). De acuerdo con la pregunta 6, los dueños gastan regularmente por semana entre $50 y $250 MXN; en formatos de gramaje (pregunta 7) que

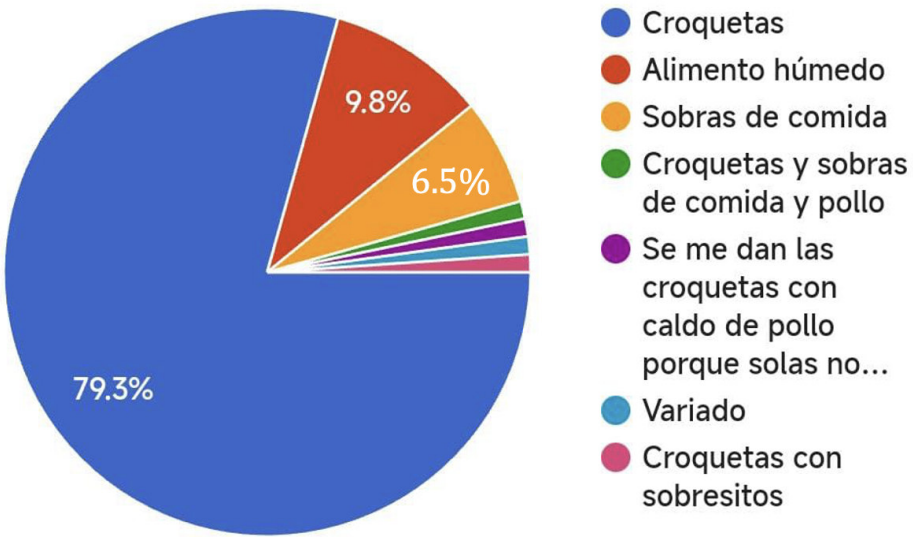


Figura 3: Tipo de alimento proporcionado a mascotas

van de 1 kg a 25 kg. Para la pregunta 8 el 59.8% desconoce los requerimientos nutricionales de su mascota. En cuanto a la pregunta 9, el 84% de los dueños estarían dispuestos a adquirir un complemento alimenticio.

3.2. Determinación de materias primas

Después de visitar carnicerías, pollerías y el Rastro del municipio de Mexicaltzingo, se decidió por el Rastro municipal para los RC; y para los RV se eligió el mercado del municipio de Santiago Tianguistenco, debido a la cantidad de RO que se generan semanalmente.

Residuos cárnicos

La propuesta inicial para los RC fue el comprar a un precio mínimo aquellos que fueran útiles y no estuvieran contaminados o en mal estado en el Rastro municipal de Mexicaltzingo. Debido a que son desperdicios que usualmente se desechan. Se platicó con el personal de este Rastro y se llegó al acuerdo para apartar algunos elementos como hígado de cerdo o pulmones de res. Se realizaron las actividades de recolección inmediatamente después de los sacrificios del ganado, lo cual se realiza regularmente por las mañanas. Al ser residuos frescos, fue posible tener días efectivos para realizar el traslado, preparación y transformación del producto. El transporte se hizo inmediatamente una vez recolectada, evitando tiempos muertos ya que, al tratarse de productos perecederos están expuestos a bacterias, pudiendo ser afectados también por las condiciones climáticas que se presenten durante el mismo traslado, por lo que el mismo se realizó en un contenedor tipo hielera a una temperatura no mayor a 4 °C (Figura 4) como lo establece la NOM-024-ZOO-1995 (DOF,



Figura 4: Transporte de los RC obtenidos del rastro de Mexicaltzingo

1995), para evitar la proliferación de bacterias o elementos que comprometan la integridad de la carne y la selección se realizó en cuanto se llegó al área de trabajo donde se procesaría el producto con óptima calidad higiénico-sanitaria, considerando las condiciones y lineamientos establecidos en la NOM-009-ZOO-1994 (DOF, 2007) de igual forma utilizando como referencia la NOM-060-SAG/ZOO-2020 (DOF, 2020).

Residuos vegetales

Se decidió utilizar los RV del mercado que se establece los martes en el municipio de Santiago Tianguistenco. Su recolección se realizó en el mercado (Figura 5) que se establece los martes en el municipio de Santiago Tianguistenco, principalmente en las tardes, ya que en ese momento es cuando los comerciantes suelen desechar los productos ya que no son viables para la venta al consumidor. Los RV son desechados regularmente en el mismo lugar, a la espera de que estos sean recolectados por el servicio de saneamiento, el transporte al tratarse de productos orgánicos, los cuales en su mayoría estaban sucios debido a que habían sido directamente extraídos de la tierra sin ser procesados, fueron transportados en contenedores separados, evitando contaminación cruzada entre las verduras y las frutas, mientras que la selección se realizó al llegar al área de trabajo, cada uno de los diferentes RV fueron lavados con agua potable. Una vez limpios se llevó a cabo la selección, facilitando determinar a detalle el estado de los vegetales y su viabilidad para ser procesados. Los RV seleccionados fueron tratados con una solución de yodo al 0.5% durante para eliminar microorganismos.

3.3. Formulación de un alimento balanceado

Pruebas de deshidratación

El hígado de cerdo y el pulmón de res fueron cortados a diferentes tamaños, para ser deshidratados en un horno modelo Food Dehydrator 6 de la marca Vevor a una temperatura de 70 °C



Figura 5: Residuos vegetales generados en el mercado del municipio de Santiago Tianguistenco

durante 8 horas. Estas pruebas se realizaron para determinar el tamaño adecuado para maximizar la extracción de agua de los RC.

La humedad extraída en cada pieza de RC se presenta en las Tablas 2 y 3 para hígado de cerdo y pulmón de res, respectivamente. El tamaño adecuado para deshidratar el hígado de cerdo fue de 10cm x 1.5cm x 0.5cm (muestra 3, Tabla 2) y, para el pulmón de res fue de 7cm x 2cm x 0.5cm (la muestra 1, Tabla 3).

Tabla 2: Resultados de la deshidratación de hígado de cerdo

No. muestras	Tamaño inicial	Tamaño final	%Hbh
1	9cm x 1cm x 0.5cm	3.5cm x 0.4cm x 0.3cm	68.64
2	3cm x 1cm x 1cm	2cm x 1cm x 0.3cm	66.15
3	10cm x 1.5cm x 0.5cm	9cm x 1cm x 0.2cm	69.37
4	2cm x 1cm x 0.5cm	1.5cm x 0.8cm x 0.3cm	63.66
5	5cm x 5cm x 1.5cm	4cm x 4cm x 0.8cm	60.49
6	15cm x 10cm x 1.5cm	15cm x 8cm x 1cm	58.05

Tabla 3: Resultados de la deshidratación de pulmón de res

No. muestras	Tamaño inicial	Tamaño final	%Hbh
1	4cm x 2cm x 1.5cm	3.5cm x 1.5cm x 1cm	80.17
2	2cm x 2cm x 1cm	2cm x 1.5cm x 0.8cm	77.11

Continúa en la siguiente página

No. muestras	Tamaño inicial	Tamaño final	%Hbh
3	7cm x 2cm x 0.5cm	6cm x 1cm x 0.2cm	76.04
4	18cm x 10cm x 0.8cm	15cm x 8cm x 0.5cm	76.61
5	4cm x 2cm x 1.5cm	3.5cm x 1.5cm x 1cm	74.66

Los resultados del secado de los RV se presentan en la Tabla 4, el cual se realizó a 60 °C durante 7 horas. Cabe mencionar que no se realizaron pruebas a diferentes tamaños, debido a que se utilizaron los recomendados por Keogh (2016) y Cabascango (2018).

Tabla 4: Extracción de humedad por deshidratación en RV

Residuo vegetal	Peso inicial (g)	Peso final (g)	%Hbh
Calabaza bola (rodajas)	103.20	7.27	92.96
Zanahoria (rodajas)	131.61	16.19	87.70
Jícama (rodajas)	57.21	7.14	87.52
Manzana (rodajas sin centro)	123.36	23.36	81.06
Calabaza (rodajas)	80.78	6.71	91.69
Espinaca (tiras, de máximo 5mm de ancho)	76.91	7.64	90.07
Plátano (rodajas)	67.45	18.55	72.50
Pera (rodajas sin centro)	147.67	9.41	93.63
Melón (cubos de 5mm por lado máximo)	156.71	19.87	87.32

Composición de las formulaciones propuestas

Los nutrientes son componentes de la dieta que cumplen una función específica dentro del organismo y que contribuyen al crecimiento, la conservación de los tejidos y la salud. Por un lado, los nutrientes esenciales que no pueden ser sintetizados por el organismo, en cantidades suficientes para cubrir sus necesidades, deben estar presentes en la dieta. Los nutrientes no esenciales pueden sintetizarse por el organismo mediante síntesis de nuevo o a partir de la dieta (FAO, 2019). Debido a lo anterior, se propusieron cuatro formulaciones para elaborar el complemento canino, variando las cantidades de proteína animal (hígado de cerdo o pulmón de res) y vegetales (Tabla 5).

Tabla 5: Formulaciones propuestas para complemento alimenticio canino

No. Formulación	Proteína animal (%)	Proteína vegetal (%)	Composición de proteína vegetal
1	80	20	15% calabaza, 25% zanahoria, 25% manzana, 10% pera, 10% plátano, 10% melón, 5% espinaca
2	70	30	20% calabaza, 20% zanahoria, 20% manzana, 5% pera, 20% plátano, 10% melón, 5% espinaca
3	60	40	10% calabaza, 25% zanahoria, 20% manzana, 10% pera, 15% plátano, 10% melón, 10% espinaca
4	50	50	20% calabaza, 15% zanahoria, 15% manzana, 5% pera, 20% plátano, 20% melón, 5% espinaca

En las Tablas 6 y 7 se enlistan los nutrientes contenidos para las formulaciones propuestas de 200g, tomando como base los datos publicados por la USDA (100g), para la nutrición canina (USDA, 2019).

Tabla 6: Nutrientes contenidos en 200g utilizando hígado de cerdo

Nutritivo	Unidad	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
Energía (Factores generales de Atwater)	calorías	232.260	215.680	200.160	189.900
Energía (Factores específicos de Atwater)	kJ	972.500	903.030	838.080	794.800
Proteína	g	34.578	30.521	26.701	23.695
Lípidos totales (grasas)	g	5.934	5.265	4.592	4.024
Ceniza	g	2.563	2.427	2.465	2.947

Nutritivo	Unidad	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
Carbohidratos, por diferencia	g	8.374	10.382	12.509	15.343
Fibra dietética total	g	0.892	1.275	2.04	3.035
Azúcares, total	g	2.817	4.262	5.688	7.326
Sacarosa	g	0.864	1.248	1.740	2.232
Glucosa (dextrosa)	g	0.667	1.130	1.435	1.887
Fructosa	g	1.171	1.661	2.299	2.632
Lactosa	g	0	0	0	0
Maltosa	g	0.002	0.004	0.004	0.010
Galactosa	g	0.002	0.004	0.004	0.012
Almidón	g	0.364	0.825	0.942	1.304

Tabla 7: Nutrientes contenidos en 200g utilizando pulmón de res

Nutritivo	Unidad	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
Energía (Factores generales de Atwater)	calorías	165.060	156.880	149.760	147.900
Energía (Factores específicos de Atwater)	kJ	690.900	656.630	626.880	618.800
Proteína	g	26.258	23.240	20.460	18.495
Lípidos totales (grasas)	g	4.094	3.655	3.211	2.874
Ceniza	g	1.827	1.783	1.913	2.487

Continúa en la siguiente página

Nutritivo	Unidad	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
Carbohidratos, por diferencia	g	4.421	6.923	9.545	12.873
Fibra dietética total	g	0.892	1.275	2.040	3.035
Azúcares, total	g	2.816	4.261	5.688	7.326
Sacarosa	g	0.864	1.248	1.740	2.232
Glucosa (dextrosa)	g	0.666	1.130	1.435	1.887
Fructosa	g	1.170	1.660	2.299	2.632
Lactosa	g	0	0	0	0
Maltosa	g	0.002	0.003	0.004	0.010
Galactosa	g	0.002	0.003	0.004	0.012
Almidón	g	0.364	0.825	0.942	1.304
Fructosa	g	1.170	1.660	2.299	2.632
Lactosa	g	0	0	0	0

Una vez realizadas las pruebas, se seleccionó la formulación 2 con 70% proteína animal y 30% proteína vegetal (Tabla 5), cuidando el equilibrio entre nutrientes, proteínas, vitaminas y minerales. La preparación para el complemento canino requiere que los RC seleccionados sean lavados, cortados (muestra 3 de Tabla 2 para hígado de cerdo y muestra 1 de Tabla 3 para para el pulmón de res), deshidratados y molidos para ser espolvoreados en los RV cortados, finalmente estos son deshidratados y empacados (Figura 6). La combinación de RC y RV permite elaborar un complemento alimenticio canino, más palatable y con un olor más atractivo para las mascotas.

3.4. Factibilidad ambiental

La cantidad de RO aprovechados en la elaboración de un complemento canino según la formulación 2 utilizando 70% de proteína animal (pulmón de res o hígado de cerdo) y 30% de proteína vegetal (Tabla 5), se estimó de 106,704 kg/año, lo que conforme a la aplicación de la Ecuación 1, se evitaría emitir al ambiente 448.15t CO_2e/año (Ecuación 2), las cuales se producen (Hernández-Cervantes, 2022).

$$CO_2e = 4{,}4\ \frac{tCO_2e}{tRO}(106{,}704t\text{ de RO/año}) = 448{,}15t\text{/año de } CO_2e \quad (2)$$



Figura 6: Fotografía de producto empacado

4. Conclusiones

La elaboración de un complemento alimenticio para mascotas caninas a base de residuos es factible, aportando hasta 215.82kcal (903.03kJ) de energía y 30.52g de proteína por cada 200g de hígado de cerdo, entre otros componentes nutricionales, mientras que el pulmón de res aporta 156.93kcal (656.63kJ) de energía y 23.24g de proteína, lo que resulta atractivo para los consumidores que cuentan con una mascota canina y busca un complemento alimenticio que aporte nutrientes.

El aprovechamiento de los residuos cárnicos y vegétales, generados en el Rastro del municipio de Mexicaltzingo y mercado del municipio de Santiago Tianguistenco, EdoMéx respectivamente, es mínimo y, de realizase este proyecto, los comerciantes pueden obtener remuneraciones por lo que anteriormente se desechaba como mermas, además de evitar que se liberen a la atmosfera 448.15t/año de CO_2e.

Referencias bibliográficas

[1] Cabascango, O. (2018). *Manual de deshidratación*. Universidad Técnica del Norte (UTN ECOPAR/ PPD).

[2] Carbajo, M. C. (2023). El crecimiento de la industria pet food: una oportunidad llena de desafíos. Recuperado de https://allpetfood.net/entrada/el-crecimiento-de-la-industria-pet-food-una-oportunidad-llena-de-desafios-54444#:~:text=En%202021%2C%20el%20tama%C3%B1o%20dellos%20principales%20impulsores%20del%20mercado

[3] Consejo Mexicano de la Carne (CMC). (2022). Producción cárnica de México en 2022. Recuperado de https://comecarne.org/produccion-carnica-de-mexico-en-2022/

[4] Diario Oficial de la Federación (DOF). (1995). Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995: Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4883147&fecha=16/10/1995#gsc.tab=0

[5] Diario Oficial de la Federación (DOF). (2007). Norma Oficial Mexicana NOM-009-ZOO-1994: Proceso sanitario de la carne. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4994967&fecha=31/07/2007#gsc.tab=0

[6] Diario Oficial de la Federación (DOF). (2013). Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013#gsc.tab=0

[7] Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020). Norma Oficial Mexicana NOM-060-SAG/ZOO-2020: Especificaciones zoosanitarias para la transformación de despojos animales y su empleo en la alimentación animal. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5663772&fecha=08/09/2022#gsc.tab=0

[8] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Recuperado de https://www.fao.org/4/i2697s/i2697s00.htm

[9] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). Glosario de términos. Recuperado de https://www.fao.org/3/am401s/am401s07.pdf

[10] Gobierno de México (GM). (2018). México prepara lineamientos para atender la pérdida y desperdicios de alimentos. Recuperado de https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-prepara-lineamientos-para-atender-la-perdida-y-desperdicios-de-alimentos

[11] Gobierno de México (GM). (2022). Evita el desperdicio de alimentos. Recuperado de https://www.gob.mx/profeco/documentos/evita-el-desperdicio-de-alimentos

[12] Gobierno del Estado de México (GEM). (2023). Municipio Mexicaltzingo. Recuperado de https://estadodemexico.com.mx/municipio/mexicaltzingo/

[13] Google. (2024). Alimentación en mascotas: cuestionario de Google Forms. Recuperado de https://docs.google.com/forms/d/16H1pKETaLUvFburaDZVjNpeG4N3RH71ENgrpPLVJz4I/edit

[14] Hernández-Cervantes, M. (2022). Ríos de basura: México, la otra historia de la agenda 2030. Recuperado de https://ethic.es/2022/11/mexico-basura-reciclaje-agenda2030/

[15] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Encuesta Nacional de Bienestar Autorreportado 2021. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/ENBIARE_2021.pdf

[16] Keongh, M. (2016). *El arte de deshidratar*. Editorial Gaia Ediciones.

[17] Kotler, P., Bloom, P., & Hayes, T. (2004). *El marketing de servicios profesionales*. México: Editorial Paidós Ibérica S.A. de C.V. Recuperado de https://books.google.co.ve/books?id=FgSV_iL3pzMC&printsec=frontcover&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false

[18] Maturana, M. (2020). Comida deshidratada para perros. Recuperado de https://vetsandclinics.com/es/comida-deshidratada-para-perros#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20beneficios%20tiene%20la%20comidaaw%20impide%20el%20crecimiento%20bacteriano

[19] Mordor Intelligence. (2022). Análisis del tamaño y la participación del mercado de alimentos para mascotas en México. Recuperado de https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/mexico-pet-food-market

[20] Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (2019). FoodData Central Search Results. Recuperado de https://www.usda.gov/

Degradación de pañales de rechazo infantiles en una planta de composta

Jose Abraham Chanes Gordillo[*,1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[1], Rosa María Espinosa Valdemar[1], Víctor Manuel Sandoval Islas[1], Mariana Elizabeth Ballesteros López[1], Judith López Jardines[2], Viviana Aketzalli Frias Rojas[2]

[1]1Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo #180, Col. Reynosa Tamaulipas, Delg. Azcapotzalco, México.

[2]Instituto Politécnico Nacional, Planta de Composta María Luisa Stampa Ortigoza, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, 07738, CDMX, México.

[*]Correo electrónico: chgja@azc.uam.mx

Resumen

En la fabricación de pañales infantiles una proporción de éstos es rechazada por cuestiones de control de calidad durante su producción, los cuales, en el mejor de los casos, son enviados a rellenos sanitarios en donde su valorización es nula. Debido a ello, en este trabajo se planteó su tratamiento en la Planta de Producción de Composta, Laboratorio y Vivero "Dr. Héctor Uriel Mayagoitia Domínguez" del Instituto Politécnico Nacional (PPCLV), a través del composteo, combinando pañales de rechazo infantiles con diferentes porcentajes de residuos orgánicos: poda, hojarasca, acolchado (mulch) y excretas de origen animal. Se formaron 2 pilas de 10 m^3: una pila testigo con 100% de residuos orgánicos y una pila con 2.5% del volumen de pañales de rechazo y 97.5% de residuos orgánicos. El proceso tuvo una duración de 171 días, realizándose simultáneamente la aireación y el riego de forma manual, y en ocasiones con ayuda de maquinaria. La caracterización fisicoquímica se realizó al inicio, intermedio y al finalizar el proceso, determinando pH, humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, cenizas y nitrógeno total. En la caracterización final adicionalmente se determinaron coliformes totales y fecales, *Salmonela spp.*, huevos de helminto, macronutrientes, fitotoxicidad y elementos traza. Los resultados obtenidos permitieron concluir que el tratamiento de pañales desechables de rechazo mediante compostaje es factible, puesto que se logró una disminución de la masa del 24%, además de una composta de calidad tipo A y B según la normatividad local, obteniendo así una alternativa de tratamiento para estos residuos.

Palabras clave: *tratamiento*, *biológico*, *caracterización*, *residuos*

1. Introducción

El crecimiento demográfico en México, especialmente en las áreas metropolitanas, ha generado flujos financieros derivados de la oferta y la demanda de diversos productos, entre los que destacan los pañales desechables, ya que han pasado de ser un objeto de lujo a pertenecer a la canasta básica mexicana dentro del grupo de higiene personal (Profeco, 2020). Aunque proporcionan comodidad

para los usuarios, el problema es que, después de su uso, se convierten en residuos cuya degradación resulta complicada debido a la forma en que se desecha este tipo de material, en forma compacta y empaquetada por sus propias cintas adhesivas, evitando que el material pueda tener mayor área de contacto en los sitios de disposición final, por lo que la parte plástica lo encapsula, evitando la descomposición correcta y ralentizando el proceso.

Los datos actualizados sobre la fabricación de pañales y el porcentaje de ellos que no cumplen con el control de calidad, pañales de rechazo, no es pública, por lo que la información con la que se cuenta es escasa y la poca que se encuentra no es reciente, de forma que según el INEGI en 2013 se vendieron 9 mil 729 millones de pañales para niños (El financiero 2014), otro dato menciona que en México, se fabrican aproximadamente 4,900 millones de pañales desechables al año (Market Data México s/f). Estos datos colocan a México entre los principales consumidores de pañales.

Los parámetros de control de calidad para seleccionar pañales de rechazo durante el proceso de fabricación pueden ocurrir debido a defectos en los materiales, problemas en la maquinaria, errores en el ensamblaje, o fallas en el control de calidad, aunque esta información tampoco es pública, Ucelo (2008) menciona que para que un pañal sea considerado de rechazo debe de incluir algunos de los siguientes defectos: presencia de quemaduras, cubierta sucia o contaminada, pulpa expuesta o sucia, tela rota o rasgada, cintas adhesivas al revés o pegamento sobre la pulpa, los pañales defectuosos se retiran de la cadena de producción y se desechan convirtiéndose en residuos que en el mejor de los casos, se envían a rellenos sanitarios para su disposición final (Diapersmachine 2023) .

Desde hace muchos años el Área de Tecnologías Sustentables (ATS) de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (UAM A) ha desarrollado una línea de investigación para la degradación de pañales desechables infantiles usados, se han propuesta distintas alternativas para su tratamiento y se cuenta con dos patentes, degradación por *Pleutorus ostreatus* (Espinosa y Delfín 2001) y degradación por composteo (Espinosa et al 2023). Otra alternativa que se comenzó a desarrollar es la de tratar los pañales desechables infantiles que son rechazado durante el proceso de fabricación por no cumplir con el control de calidad.

La tasa de rechazo de pañales en el proceso de fabricación de pañales puede variar dependiendo de factores, como la tecnología utilizada, el nivel de automatización, los estándares de calidad de la empresa, y la eficiencia del proceso de manufactura. Sin embargo, en la industria de productos desechables, se estima que el rechazo puede oscilar entre es del 3% del total de la producción (Iragorri y Kuratomi 2022). Si se considera el 3%, como taza de rechazo y se toma el dato de 4,900 millones de pañales desechables fabricados al año, equivaldría a 147 millones de pañales desechables rechazados, cifra muy alta de materiales de primera calidad, que se convierten en residuos.

De acuerdo con la problemática descrita, en este estudio se planteó el objetivo de tratar los pañales infantiles de rechazo en una planta de composta, buscando una alternativa que permita disminuir la cantidad de éstos que son llevados a sitios de disposición final.

2. Metodología

2.1. Recolección y obtención de sustratos

Los pañales infantiles de rechazo fueron proporcionados por el Área de investigación Tecnologías Sustentables, de la UAM A, los cuales tenían algunos años almacenados y que por lo mismo había perdido una parte importante de material celulósico. Los residuos de jardinería, ramas, hojas secas, desechos de comida, estiércol y el acolchado fueron proporcionados por la PPCLV del IPN.

2.2. Acondicionamiento del sustrato para su composteo

Los pañales de rechazo ya se encontraban triturados por lo que se registró su masa y posteriormente fueron transportados a la PPCLV del IPN. Las ramas y troncos fueron triturados en la planta para obtener el acolchado; en cuando al resto de los materiales, no se requirió acondicionamiento.

2.3. Montaje de las pilas

Se trabajó con dos pilas, una pila testigo (PT) y la pila con pañales de rechazo (PR). Previo al montaje de las pilas se obtuvo el peso volumétrico de los pañales de rechazo, y con base en estos resultados se determinó la masa a utilizar para la conformación de la pila con 2.5% en volumen de pañales de rechazo. En la Tabla 1 se puede observar la composición en p de esta pila.

Tabla 1: Composición de las pilas de compostaje.

Sustrato	Proporción en volumen (%)	Volumen (m^3)	Masa (kg)
Pañal	2.5	0.25	50
Acolchado	67.5	6.75	94.9
Alimento, pasto y estiércol	30	3.00	47.3

Los pañales de rechazo en conjunto con los otros residuos se homogenizaron con ayuda de maquinaria y del personal de la PPCLV, para la formación de ambas pilas; En la Figura 1 se puede observar el proceso de montaje de la pila de pañales desechables.

2.4. Monitoreo del proceso

La medición de la temperatura de las pilas y de la temperatura ambiente se realizó en días hábiles con un termómetro digital de vástago marca Alla France, tomando 3 puntos a diferentes alturas.

Disminución de masa y volumen

La disminución de la masa de los pañales de rechazo se calculó al inicio y al final del proceso de compostaje utilizando la Ecuación 1:



Figura 1: Formación de la pila de pañales desechables

$$\text{Disminución de masa (\%)} = \frac{\text{Masa inicial - Masa final}}{\text{Masa inicial}} \times 100 \quad (1)$$

Aireación y riego

La aireación y riego se realizaron simultáneamente. La aireación era de forma manual y en ocasiones con ayuda de maquinaria, dependiendo de las actividades de la PPCLV del IPN y se efectuaba cuando disminuía la temperatura interna, por lo que era variable entre las pilas. El riego se realizó con mangueras y dependía del volteo, variando el tiempo de contacto que tenía el agua con las pilas. La cantidad de agua suministrada a las pilas no era la misma en todos los casos, debido a la escasez en ese momento en la CDMX, (Figura 2).

2.5. Caracterización fisicoquímica del producto

La caracterización de las pilas se realizó conforme a la Norma Ambiental NADF-020- AMBT-2011, para lo cual se tomaron muestras en tres diferentes etapas del proceso de compostaje, al inicio, a la mitad y al final del proceso. A continuación, se presentan las metodologías bajo las cuáles se llevaron a cabo las determinaciones, considerando la normatividad vigente:

- Determinación de humedad: Termogravimetría
- Determinación de nitrógeno total: NOM-021- SEMARNAT-2000
- Determinación de materia orgánica: NMX-AA-018-1984



Figura 2: A) Aireación manual B) Aireación con maquinaria

- Determinación del contenido de cenizas: NMX-AA-018-1984
- Determinación de la relación C/N: NMX-AA-087-1985
- Determinación de conductividad eléctrica: NOM-021- SEMARNAT-2000
- Determinación de pH: NMX-AA-025-1984
- Determinación de coliformes totales y fecales: NOM-004- SEMARNAT-2002
- Determinación de Salmonella: NOM-004- SEMARNAT-2002
- Determinación de fitotoxicidad- NADF-020-AMBT-2011
- Determinación de huevos de helmintos: NOM-004- SEMARNAT-2002
- Elementos traza: NOM-004- SEMARNAT- 2002
- Determinación de macronutrientes: Soil Test Handbook HANNA Instruments

La determinación del Índice de Geminación, se utilizaron semillas de rábano, mediante la técnica establecida en la NADF-020-AMBT-2011 empleando las Ecuaciones 2, 3 y 4.

$$GR = \frac{\text{n° de semillas germinadas en el extracto}}{\text{n° de semillas germinadas en el blanco}} \times 100 \quad (2)$$

$$ER = \frac{\text{elongación de radículas en el extracto}}{\text{elongación de radículas en el blanco}} \times 100 \quad (3)$$



Figura 3: A, B, C, D, E) Plásticos identificados B) Separación de plásticos.

$$IG = \frac{GR \times ER}{100} \tag{4}$$

donde GR es el porcentaje de germinación de las semillas y ER es el porcentaje de crecimiento de las raíces.

El tamizado de las pilas se realizó, manualmente, al finalizar el proceso mediante el uso de un tamiz proporcionado por la PPCLV para separar el acolchado y los residuos plásticos provenientes de los pañales desechables, los cuales posteriormente se pesaron (Figura 3).

3. Resultados y discusión

Se presentan los resultados promedio del monitoreo de las pilas durante los 107 días que duró el proceso.

3.1. Monitoreo de temperatura

En la Figura 4 se muestra los resultados del comportamiento de la temperatura en la PR. Después de los primeros 3 días, se observó que la pila ascendía a 60 °C, cruzando la barrera de la primera fase mesófila e iniciando la fase termófila. Las temperaturas se mantuvieron por encima de los 70 °C durante varios días; este comportamiento se debió a la composición de los pañales que retuvieron la humedad, lo que fue un elemento importante para evitar cambios bruscos de temperatura.

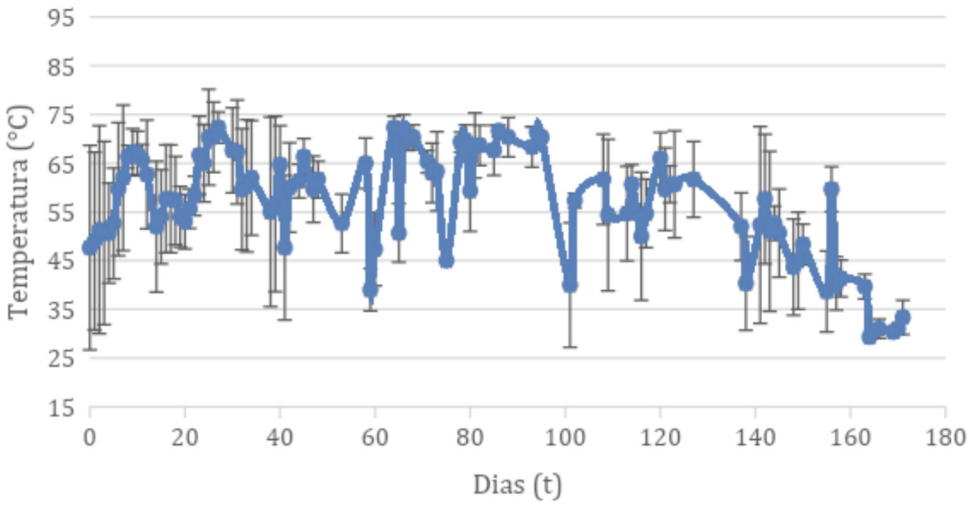


Figura 4: comportamiento de la temperatura vs tiempo en PR

Si la temperatura interna difiere de la temperatura externa en al menos 10 °C, esto indica que la pila requiere enriquecimiento de oxígeno e hidratación para volver a un estado termofílico estable (SMACM, 2011).

A los 102 días se observó un descenso en la temperatura, iniciándose así una segunda fase mesófila, para posteriormente comenzar la fase de maduración.

El comportamiento de la temperatura en la PT fue similar a la PR siendo el valor de máximo alcanzado fue de 74° C, para para que al día 109 empezó a disminuir e iniciar la etapa de maduración.

3.2. Caracterización fisicoquímica

pH

El pH depende de los materiales que componen la pila y varía en cada etapa del proceso. En la fase termófila debido a la transformación de amonio en amoníaco se alcaliniza, posteriormente se estabiliza con valores cercanos a neutralidad. En la Figura 5 se observa que en la pila testigo, el valor inicial fue de 7.5, y al final se obtuvo un valor de 7.3, por lo que la variación no fue significativa, el mismo caso se presentó en la pila de pañales de rechazo con un valor inicial de 7.5 mientras que al final fue de 7.4, siendo los valores muy parecidos entre sí.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la pila de testigo comenzó con un valor de 2,7 dS/m y finalmente alcanzó un valor de 4,6 dS/m.; estos resultados son similares a los de la pila de PR que comenzó con cifras de 2,3. dS/m, finalizando con un dato de 4,4 dS/m. Esto es común en los procesos de

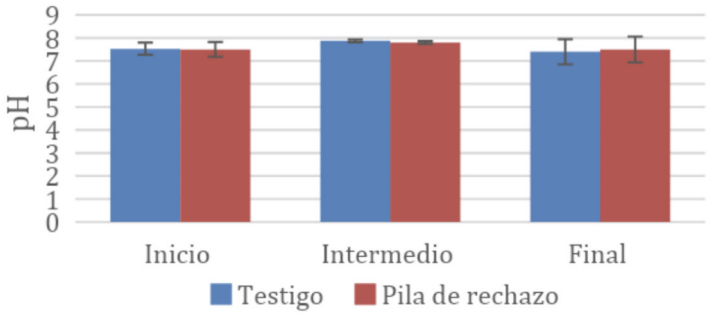


Figura 5: Monitoreo del pH

compostaje debido a que las sales tienden a concentrarse a medida que la materia orgánica se mineraliza (Sotelo, 2013).

Humedad

El porcentaje de humedad presentó valores bajos, de acuerdo con la Figura 6 se tienen valores iniciales de 28% y 30% para la PT y la PR, respectivamente. Esto debido a la naturaleza de los sustratos secos que se utilizaron, la falta de agua en las instalaciones, y el manejo de las pilas; sin embargo, para la PR se puede observar un incremento cercano al 42%, finalizando con una proporción del 25%, mientras que para la PT se puede observar un incremento hasta el 40%, finalizando con un 26% de humedad.

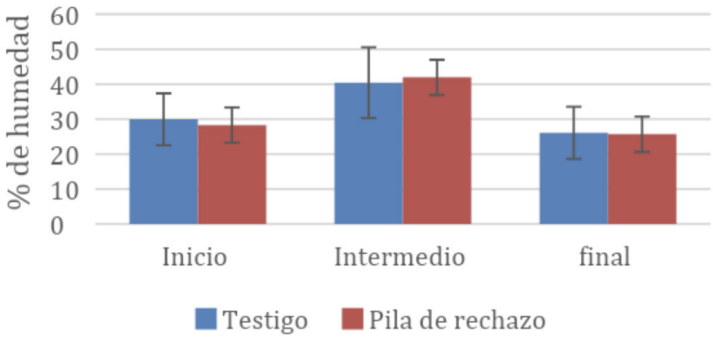


Figura 6: Monitoreo de la humedad

Materia orgánica

La PT mostró un contenido inicial de 31%, en el punto intermedio aumentó a 48%, y al final llegó al 42%, Para la PR los valores iniciales, intermedios y finales oscilaron entre un 20% - 31% de materia orgánica, por lo que se puede considerar que no hubo cambio significativo; sin embargo, aunque no es el comportamiento esperado, esto se puede deber a la proporción que ocupa el material

celulósico de los pañales desechables, dado que la materia orgánica debe disminuir debido a la mineralización del material (SCFI,2018). El comportamiento de las pilas es diferente al de un proceso de compostaje normal.

Relación Carbono/Nitrógeno

En la PT se observó una relación inicial de 30 de C: N, con un aumento considerable, alcanzando valores de 44.6, teniéndose al finalizar el proceso se obtuvo una relación de 44.07. Para la pila de PR se tuvo una relación inicial de 30, para después lograr una disminución de 27 en la relación C: N y finalizando con valores de 28.

3.3. Evaluación de la calidad de la composta final

Microbiológicos y Metales

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la caracterización de la composta final obtenida.

Tabla 2: Resultados de la caracterización de la composta final obtenida

Parámetros	Pila Testigo	Pila de Rechazo	Tipo de Composta "A"
pH	7.3	7.4	6.7 – 7.5
Conductividad (dS/m)	4.6	4.4	<4
Humedad (% masa)	26	25	25-35
Materia orgánica (% MS)	42	31	20
Cobre (mg/kg)	53.42	29.5	70
Níquel (mg/kg)	20.34	6.52	25
Cadmio (mg/kg)	0	0	0.7
Plomo (mg/kg)	130.59	90.13	45
Zinc (mg/kg)	187.11	169.48	200
Cromo total (mg/kg)	19.42	8.25	70
Coliformes fecales (NMP/g base seca)	50	812	<1000
Huevos de helmintos (NMP/g base seca)	Ausente	Ausente	1 en 4 g de base seca
Salmonella (NMP/g base seca)	Ausente	Ausente	<3

Las pruebas microbiológicas e identificación de metales que se realizaron son favorables, ya que todos los indicadores entran dentro de los valores permisibles de acuerdo con la normatividad vigente de la Ciudad de México.

Macronutrientes

La prueba de macronutrientes, para P y K, si bien se realizó por una prueba cualitativa, permite observar que para ambas pilas se logró conservar niveles óptimos de potasio, elemento de vital importancia para el correcto crecimiento de las plantas, mientras que para el caso del fósforo en la PT se observaron niveles bajos, y en la PR niveles medios. En la pila testigo se mantiene un mayor requerimiento nutricional que proporcionara la composta. En la Tabla 3 se pueden observar los resultados.

Tabla 3: Resultados de los macronutrientes

Pila	P	K
Testigo	Traza	Alto
Rechazo	Medio	Alto

Fitotoxicidad

El índice de germinación (Ig) muestra la existencia de factores que promueven o inhiben la germinación, mediante el crecimiento de la radícula del rábano en este caso. (Tabla 4)

Tabla 4: Resultados de la fitotoxicidad

	Blanco	Testigo	Rechazo
Índice de germinación (Ig) (%)	100	193	163

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 4, se observa que la PR y PT superaron el índice de germinación del blanco. Para la PT se tuvo un incremento del 93%, mientras que en la PR el aumento fue de 63%; esto se puede deber a la calidad de los nutrientes que contiene las pilas, siendo estos resultados muy favorables y alentadores, indicando que la etapa de maduración fue alcanzada en el producto final.

Disminución de masa

Después del proceso de tamizaje ver figura 7, se juntó todo el material residual de los pañales de rechazo colocados inicialmente en las pilas. Se manejó una masa inicial de 50 kg de pañales de rechazo, de la cual se obtuvo una masa final de 38 kg, teniendo una disminución total del 24% de pérdida de masa. Este valor es bajo, pero se debe considerar que los pañales venían de un periodo de almacenamiento muy largo y que había perdido una gran cantidad de celulosa, que es la parte



Figura 7: Proceso de tamizaje

degradable, por lo que la mayor parte correspondió a los plásticos que no son degradables, aun así, puede inferirse que todo el material celulósico se degradó, ya que en la separación ya no se observó este material.

Comparación de las compostas finales con la NADF-020-AMBT-2011

La evaluación de la calidad de las compostas obtenidas se realizó mediante la comparación de la norma NADF-020-AMBT-2011, que establece las características generales que deben cumplir los tres tipos de composta terminada, denominados tipo A, B y C, siendo A la de mejor calidad (Tabla 5).

La calidad de la composta obtenida, en su mayoría corresponde al tipo A y B, predominando el tipo A y sólo en el caso de la C/N es tipo C, por lo que puede considerarse un producto de calidad que Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación.

4. Conclusiones

Los ensayos realizados en la Planta de Producción de Composta y Vivero del IPN con residuos originarios del mismo instituto y pañales de rechazo proporcionados por el Laboratorio de Tecnologías Sustentables de la UAM se trataron mediante un proceso de composteo, que es un reflejo de la realidad a la que se enfrentaría la implementación de este tratamiento.

Se dio cumplimento al monitoreo de la temperatura y se evaluó la calidad final del tratamiento de acuerdo con la norma NADF-020-AMBT- 011, en donde la mayoría de los parámetros cumplieron los parámetros de calidad, presentando una clara tendencia hacia el tipo A.

En cuanto a la eficiencia de degradación de pañales de rechazo, ésta fue de 24%, valor un tanto esperado dado que se trataba de pañales que estuvieron almacenados por mucho tiempo y habían

Tabla 5: Comparación de la composta final

Parámetro	Pila Testigo	Pila de rechazo
Humedad (% masa)	A	A
pH	A	A
Conductividad (dS/m)	B	B
Materia Orgánica (% MS)	B	B
Relación C:N	C	C
Fitotoxicidad (% IG)	A	A
Cadmio (mg/kg)	A	A
Cobre (mg/kg)	A	A
Cromo total (mg/kg)	A	A
Níquel (mg/kg)	A	A
Plomo (mg/kg)	B	B
Zinc (mg/kg)	B	A
Coliformes fecales (NMP/g base seca)	A	A
Salmonella (NMP en 4 g base seca)	A	A
Huevos de helmintos viables	A	A

perdido material celulósico, pero no material plástico, por lo que en el balance final había una alta concentración de dicho material.

Finalmente, al ser la primera vez en México en que se realiza experimentación a esta escala, se determinó que la degradación de pañales de rechazo mediante compostaje aerobio en la Planta de Producción de Composta y Vivero del IPN es factible.

La realización de este proyecto tiene grandes contribuciones ya se enfrentaron retos como la escasez de agua, problemáticas de temporadas, laborales y de instrumental que influyeron en el proceso; pero que son parte de las condiciones reales de un proceso en campo. Estudios consecutivos pueden aportar conocimiento para mejorar la eficiencia del este tratamiento El compostaje de pañales desechables infantiles de rechazo es una opción viable en el país para dar tratamiento a este tipo de residuos, que actualmente se disponen, en el mejor de los casos en rellenos sanitarios y se puede obtener un producto de alta calidad que cumple con la normatividad mexicana vigente.

Referencias bibliográficas

[1] Diapers Machines. (16 de febrero de 2023). Cómo se hacen los pañales desechables. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de https://www.diapermachines.com/es/2023/02/16/como-se-hacen-los-panales/

[2] Espinosa, V., & Delfín, A. (2001). Patente No 205107: Método para el tratamiento de pañales desechables usados. México PA/a/1997/002757. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

[3] Espinosa, V., Sotelo, N. P., Quecholac, P. X., & Vázquez, M. A. (2023). Patente No. 400289: Método para el composteo de pañales desechables usados. México MX/a/2014/002763. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

[4] Hernández, A. (2014). Venta de pañales para adulto crece 15

[5] Iragorri, J. D., & Kuratomi, A. A. (2022). Los ingenieros vallecaucanos que hicieron de los pañales defectuosos una industria ecoamigable. El País, 27 de marzo de 2022.

[6] MarketDataMéxico. (s.f.). Cantidad de pañales vendidos en México. MarketDataMéxico. Recuperado el 18 de agosto de 2024, de https://www.marketdatamexico.com/es/article/importaciones-pa%C3%B1ales-bajaron-2021

[7] Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO). (2020). Canasta Básica: importancia y avances. México, D.F. Recuperado el 15 de agosto de 2024, de http://profeco.gob.mx/transparencia/trasnsfocaliza/Nota_Productos_canastas_basicas.pdf

[8] SMACM. (2011). NADF-020-AMBT-2011: Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México.

[9] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). (2018). NMX-AA-180-SCFI-2018: Productos orgánicos y fertilizantes – Composta Especificaciones y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación, 12 de diciembre de 2018.

[10] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (DBGIR). Recuperado el 25 de marzo de 2023, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf

[11] Sotelo, P. X. (2013). Compostaje de pañales desechables usados mediante pilas aireadas y biorreactores aerobios. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, UAM Azcapotzalco, México.

[12] Ucelo, A. (2008). Diseño e implementación del sistema de eficiencia global de los equipos (OEE) en una línea de producción de pañales desechables e investigación de propuesta viable para la degradación de estos productos no reciclables en la empresa ALTENVASA. Universidad de San Carlos, Guatemala. Trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniera Industrial.

Transformando residuos urbanos en nutrientes para cultivos del campo experimental del Centro Universitario del Sur

José Daniel Guevara-Gómez, Cruz Ariana Cortés-Galván, Uriel Cortes Vela, Liliana Carolina Córdova-Albores*

Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, Av. Enrique Arreola Silva No. 883, Colón, Cd. Guzmán, Jalisco, México.

*Correo electrónico: liliana.cordova@cusur.udg.mx

Resumen

La presente investigación busca explorar la viabilidad de transformar residuos urbanos en composta fértil, para incorporarse a la producción de hortalizas en el Centro Universitario del Sur (CUSur) como caso de estudio. Se utilizaron residuos de poda, pasto, desechos de frambuesa y excretas de conejo y pollo para la elaboración de composta. El material obtenido se incorporó al suelo y posteriormente se establecieron leguminosas (ayocote) y hortalizas (cebollín y chile chiltepín) en surcos de 3 m. El ayocote con una densidad de plantación de 10 plantas por surco, 30 cm entre plantas; el chile a 10 plantas por surco con 30 cm entre plantas y por último el cebollino 15 plantas por surco con 20 cm entre ellas. Se tomaron muestras de suelo, composta, mezcla de suelo y composta sin cultivo y muestra de suelo con cultivo 30 días después de la integración de las compostas y se evaluaron cuatro iones principales NO_3-, K+, Ca+, Na+ en la enmienda de materia orgánica y así observar el crecimiento de los cultivos. Los resultados mostraron que la transformación de residuos urbanos en composta es una práctica viable y beneficiosa para la agricultura. La composta elaborada con residuos del CUSur presentó un impacto positivo en la enmienda de materia orgánica del suelo, la absorción de nutrientes por parte de las plantas y el crecimiento vegetal.

Palabras clave: *Agricultura orgánica, composta, residuos urbanos, nutrientes*

1. Introducción

La generación de residuos urbanos representa un desafío ambiental, económico y social para el contexto actual, la búsqueda de soluciones sostenibles para la gestión de estos desechos es crucial para reducir su impacto al ambiente y promover prácticas ecológicas. Una de las opciones para el aprovechamiento de los residuos orgánicos urbanos es la transformación en composta, ésta ofrece una alternativa viable y ecológica para convertir los materiales en un recurso valioso y amigable

para la agricultura contribuyendo así la problemática desde la raíz y a su vez obtener un beneficio importante para el ambiente y la sociedad (Martínez, 2019).

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003), "un residuo" es aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido, o semisólido, o líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que pueden ser susceptibles de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final, dicha ley considera una agrupación y subclasificación de los residuos. Por otra parte, el Gobierno de México (2013), considera a la composta como un tipo de abono orgánico que se obtiene a partir de la descomposición de residuos orgánicos como restos de comida, hojas, ramas y otros materiales biodegradables.

Este proceso se realiza mediante la descomposición de los materiales orgánicos por la acción de microorganismos y otros factores como la temperatura, humedad y el oxígeno, los cuales buscan al descomponerse, crean materiales aprovechables los cuales pueden proporcionar múltiples beneficios en los cultivos mejorando la salud y crecimiento de las plantas, enriqueciendo el suelo en aspectos físicos, químicos, biológicos y proporcionando nutrientes vitales. Además, incrementa la retención de humedad y la capacidad del suelo para intercambiar cationes, sirve de alimento para microorganismos, estabiliza el pH y la temperatura del suelo permitiendo una mayor absorción de nitrógeno por las plantas debido a la relación carbono/nitrógeno (Bueno et al., 2006).

El resultado del aprovechamiento de residuos orgánicos para la obtención de composta en la agricultura orgánica está limitado a aquellos residuos orgánicos que garanticen su inocuidad siguiendo la normatividad de cada agencia certificadora según sea el caso (Nieto et al., 2002), es por ello, que la presente investigación se realizó con materiales aptos para poder aplicarlos en cultivos de alimentos como: pasto, restos de poda, frambuesa, excretas de conejo, desechos de comida de una cafetería y gallinaza, los cuales al ser compostados fueron incorporados a tres cultivos: el ayocote, el cebollín y el chile chiltepín.

Por otra parte, alimentarse sanamente conlleva la dificultad de elegir alimentos nutritivos, de bajo costo y libres de sustancias contaminantes. Ante este panorama Nestlé (2019) menciona que "el huerto constituye una alternativa viable y sustentable para quién se interese por lograr una mejor calidad de vida, las plantas se alimentan de las sustancias que se encuentran en los suelos; pero los suelos, poco a poco, van empobreciendo y perdiendo su valor nutritivo" por lo que recurrir a los abonos es indispensable para renovar las sustancias perdidas.

El primer cultivo utilizado en el presente trabajo fue Phaseolus coccineus conocido comúnmente como ayocote, ésta es una leguminosa valiosa de Mesoamérica, resistente a la sequía y plagas, benéfica para la seguridad alimentaria en climas difíciles. Este cultivo prefiere suelos sueltos y bien drenados, con un pH de 6.0 a 7.0, y crece mejor en climas cálidos sin heladas. Requiere precipitaciones moderadas y mejora la fertilidad del suelo por su capacidad de fijar nitrógeno. Nutricionalmente, es rica en proteínas, aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas, lo cual contribuye a una dieta saludable. Su cultivo es sustentable y ofrece beneficios ambientales y nutricionales, siendo un alimento versátil y un aliado contra la erosión del suelo (Gómes, 2022).

Por otra parte, el cebollino (Allium schoenoprasum) es una hortaliza que requiere una ubicación soleada con buena circulación de aire. La temperatura ideal es entre 15 y 20 °C, aunque puede tolerar un rango más amplio, desde -10 °C hasta 30 °C y el pH óptimo del suelo debe estar entre 6.0 y 7.0. Prefiere una humedad relativa del 60 al 80 % y necesita riego regular, evitando tanto el secado completo del suelo como el exceso de agua que podría causar pudrición de raíces. Al menos 6 horas de luz solar directa al día son esenciales para su crecimiento. (Castillo et al., 2006).

El cebollino es rico en vitaminas A, C y K, y minerales como potasio, calcio y hierro, ofreciendo beneficios para la salud como la reducción del riesgo de enfermedades cardíacas y mejora de la salud digestiva. Para su nutrición, prefiere un suelo bien drenado y rico en materia orgánica, beneficiándose de una fertilización regular con un fertilizante equilibrado (InfoAgronomo, 2020).

Por último, el chile chiltepín es una hortaliza que prospera en suelos sueltos, bien drenados, con buena retención de humedad, ricos en materia orgánica y un pH ligeramente ácido de 6.0 a 6.8, sin sales ni metales pesados. Prefiere un clima cálido a templado, con temperaturas promedio de 18 a 25 °C y una precipitación anual de 700 a 1200 mm. La siembra puede darse en láminas o macetas, e incluso al aire libre de 5 cm de distancia entre semillas y de 35 a 40 cm de distancia entre plantas, se recomienda germinar primero la semilla y después incorporar las plantas al terreno para tener una probabilidad mayor del crecimiento de las plantas. El terreno debe de contar con condiciones aptas para el cultivo, con suficiente materia orgánica, requiere alta humedad relativa durante el crecimiento y al menos 6 horas de sol diarias para la fotosíntesis (Amadel, 2023). Necesita un suministro constante de macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así como micronutrientes como calcio, magnesio, hierro, zinc y manganeso. Para que la producción de chile chiltepín sea exitoso se requiere de un análisis de suelo para ajustar la nutrición y mantener la humedad adecuada, de esta manera el cumplir con los requerimientos asegura un mejor crecimiento y desarrollo de la planta, mayor producción de calidad de frutos y mayor resistencia a plagas

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental del Centro Universitario del Sur (CUSur), “Las Limas” ubicado entre las coordenadas 19.728566, -103.459820, en Ciudad Guzmán, Jalisco, México durante marzo-junio del 2024. Lo primero fue establecer una composta con todos los residuos orgánicos generados por el Centro Universitario, el cual se detalla a continuación.

2.1. Elaboración de composta

Se implementó la metodología de Crespo (2008) basada en la elaboración de composta que consta de tres etapas:

La primera etapa consistió en la recolección y clasificación de residuos, mediante el cual se obtuvieron residuos orgánicos procedentes de diversas fuentes dentro del CUSur, incluyendo pasto obtenido del desmalezado (10 costales), restos de poda de diversos árboles (4 costales), desechos

de frambuesa (40 kg) excretas de conejo (6 costales) y pollo (un costal) y otros residuos biodegradables provenientes de un restaurante (4 costales). Los residuos se clasificaron de acuerdo a su origen y disposición final en materia verde, materia seca. La materia verde proporciona nitrógeno (N) el cual es esencial para el desarrollo de microorganismos descomponedores. En el caso de los materiales secos aportan carbono (C) y sirven como fuente de energía para estos. Adicionalmente se eliminaron elementos no biodegradables, como plásticos y metales, con la finalidad de tener una composta de calidad y en proporciones adecuadas de C/N.

Posteriormente se elaboró la composta, preparando una pila de 6 x 2 x 1 m mezclando los residuos orgánicos clasificados, hojas secas y tierra. La pila se mantuvo durante 70 días húmeda y aireada mediante el volteo con bieldo cada semana durante el proceso de descomposición, el cual se monitoreaba periódicamente para garantizar las condiciones óptimas de humedad, temperatura y aireación.

2.2. Implementación de huerto con hortalizas.

Se establecieron parcelas con dimensiones de 10 x 13 m de largo y surcos con una distancia de 80 cm entre ellos, cada surco se conformó de una dimensión de 3 m en los cuales se estableció el chile chiltepín, el ayocote y el cebollino. Durante la investigación se sembraron 10 ejemplares por surco, en total se plantaron 3 surcos de cada cultivo (Figura 1).

Considerando que el cultivo de ayocote es una guía, se instalaron tutores con dos varetas y rafia en cada surco con la intención de que se mantuvieran suspendidos.

Las plantas de cebollinos se sembraron con una distancia de 20 cm entre cada uno. Asimismo, se estableció el chile chiltepín plantado con una separación de por lo menos 30 cm entre cada ejemplar. Según el Gobierno de México (2018) considera benéfico el implementar dentro de la agricultura un sistema de riego por goteo debido a que es una fuente eficiente de ahorro de agua ya que suministra la cantidad necesaria para la planta, es por ello que en el campo experimental se aplicó dicho sistema dentro del cual se utilizó una membrana de 25 000 L y una bomba de succión de 8m 196cc Wp30 5.5HP, misma que alimenta el sistema de riego que está conformado por tuberías y cintilla con la finalidad de obtener un riego preciso y uniforme regándose cada segundo día.

2.3. Aplicación de composta y toma de muestras

Una vez elaboradas las parcelas y previo al establecimiento de los cultivos, se tomaron muestras representativas al azar del suelo, las cuales representaron los valores del tratamiento control (Muestra de suelo sin enmienda. MSSE). Posteriormente se tomaron muestras al azar de la composta tamizada (Muestra composta. MC), seguido del tamizaje de la composta, esta se agregó al suelo, aproximadamente 20 kg de composta por surco o cama, y se tomaron muestras al azar (Muestra de suelo con composta. MSC). Finalmente se sembraron los cultivos previamente mencionados y 5 dias posteriores a la emergencia se tomaron muestras al azar en cada cultivo para comprobar que



Figura 1: Establecimiento de los cultivos: a) cebollino, b) chile chiltepín, c) ayocotes.

la adición de la composta funciona como enmienda al suelo y mejora las condiciones de los cultivos. Adicionalmente 3 meses posteriores al establecimiento de los cultivos se tomaron muestras en los surcos para evaluar la absorción de los nutrientes de cada cultivo en particular (chile:Ch; cebollino: C y ayocote: Ay) (Tabla 1).

2.4. Análisis de iones en la composta y suelo

Cada muestra colectada se analizó con el Kit Horiba Laqua Twin (Proain, 2020), este consta de 4 iones: nitrato (NO_3-), potasio (K+), calcio (Ca+), y sodio (Na+) siguiendo las indicaciones de los equipos. En un recipiente limpio se colocó una cantidad de 50 g de las muestras obtenidas, añadiendo 50 ml de agua destilada, se agitaron durante dos minutos con la finalidad de crear una mezcla homogénea y dejándose reposar por dos horas. Una vez transcurrido el tiempo se calibró el kit con las soluciones y posteriormente se tomaron 100 µl de muestra para colocarlo en el sensor. Al realizar el análisis, el kit midió automáticamente las partes por millón de cada ion y los resultados se mostraron en la pantalla. Se registraron los resultados con la finalidad de obtener las tablas de comparación de cada muestra. Debido a que la composta se estableció en los meses

Tabla 1: Descripción de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Simbología
Muestra de suelo sin enmienda	MSSE
Muestra de composta	MC
Muestra de suelo con composta	MSC
Cultivo de chile	Ch
Cultivo de cebollino	C
Cultivo de ayocote	Ay

de mayores temperaturas en la zona (marzo a mayo con temperaturas promedio de 35 °C), volteo constante cada tercer día y humedad aproximada de 60 % y se mantuvo tapada para mantener las condiciones óptimas de fermentación, no se consideró necesario el análisis microbiológico.

3. Resultados y discusión

El proceso de compostaje duró aproximadamente 70 días, cada tercer día se volteaba y se humedecía, favoreciendo el proceso de descomposición de los materiales utilizados. De los análisis de iones (Figura 2), los resultados obtenidos del suelo, mostraron que la concentración de iones fue mayor en la parcela con enmienda orgánica (MSC) que en la parcela sin ella (MSSE), quedando en evidencia que la adición de composta como enmienda realmente aporta nutrientes significativos al suelo, sin embargo, se puede apreciar que cada cultivo tiene diferente demanda, por ejemplo, el chile (Ch) contiene como fuente más utilizada el N,P,K comprobando que está asimilando los nutrientes de forma correcta, por otro lado, el cebollino (C) está utilizando menor cantidad de nutrientes, sin embargo son aprovechados para su desarrollo y reproducción por división de bulbos, de acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que este cultivo demanda más el ion calcio. Finalmente, el ayocote (Ay) exhibe una tasa de requerimientos más alta, ya que iones calcio (Ca+), sodio (Na+) y potasio (K+) en la muestra tienen valores inferiores respecto a todas las muestras.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se deduce que los cultivos están utilizando de forma eficaz los iones adicionales provenientes de la composta. Esta técnica nos brinda una alternativa valiosa, ya que puede ser sostenible y libre de residuos dañinos al no utilizar ninguna clase de molécula química residual.

En otros estudios se ha comprobado que los residuos que se generan en las escuelas o universidades pueden ser aprovechados. En su estudio Jara-Samaniego et al. (2020), mencionaron que, de acuerdo con los tipos de desechos de la universidad, una vez identificados, caracterizados y mezclados adecuadamente, pueden ser gestionados y aprovechados para obtener composta de calidad que puede ser usado como abonos orgánicos ricos en materia orgánica y macronutrientes; con valores de pH cercanos a la neutralidad y baja concentración de sales dentro de los rangos establecidos en las normativas especializadas. A diferencia de estos autores que sólo evalúan la

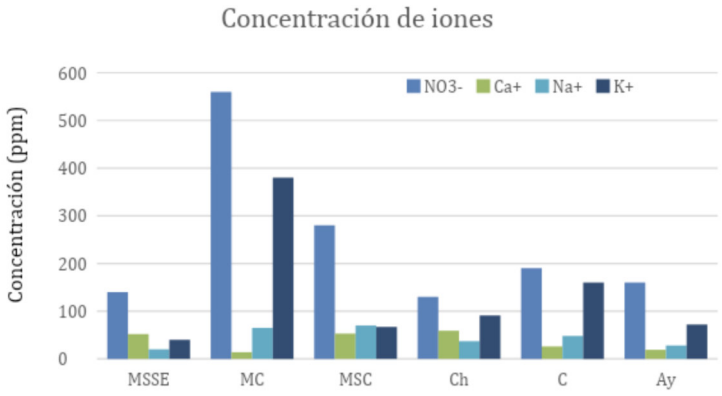


Figura 2: Minerales presentes en las muestras de suelo y composta. MSSE: muestra de suelo sin enmienda, MC: muestra composta, MSC: muestra de suelo con composta, Ch: chile chiltepín, C: cebollino, Ay: ayocote.

germinación para comprobar que las compostas no generan fitotoxicidad, en este trabajo se sembraron hortalizas de consumo continuo y habitual haciendo de estos residuos transformados un recurso para mejorar la nutrición de las hortalizas y el manejo de los residuos sólidos generados en el centro universitario.

4. Conclusiones

Los resultados del estudio demostraron que la transformación de residuos urbanos en composta es una práctica viable y beneficiosa para la agricultura. La composta elaborada con residuos del CUSur presentó un impacto positivo en la enmienda de materia orgánica del suelo, la absorción de nutrientes por parte de las plantas y el crecimiento vegetal. La adición de enmienda orgánica a un suelo natural mejoró la concentración de sales minerales y la conductividad eléctrica, creando un ambiente más favorable para el crecimiento de chile chiltepín, cebollino y ayocotes. Se recomienda la aplicación de enmienda orgánica como una práctica agrícola amigable para mejorar la productividad del suelo y obtener cosechas más abundantes y generosas libres de químicos.

5. Agradecimientos

Se agradece todo el apoyo que recibimos por parte del equipo universitario de la Licenciatura en Trabajo Social y la Licenciatura en Agrobiotecnología del Centro Universitario del Sur.

Referencias bibliográficas

[1] Amadelu, M. (2023). Chiltepin. Recuperado de https://es.scribd.com/document/632589928/CHILTEPIN

[2] Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M. J., & Cabrera Capitán, F. (2006). Factores que afectan al proceso de compostaje. Recuperado de https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf

[3] Castillo, M. M. P., Ramírez, V. F., Castillo, G., & Miranda, C. S. (2006). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(1), 112-119. Recuperado de http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3253/Lopez_Baez_LI_MC_EDAR_%202018.pdf?sequence=2

[4] Crespo, M. (2008). El Oro Café de la Agricultura: Compost. Recuperado de http://148.202.248.73/F/?func=direct&doc_number=000147871&local_base=UDG01

[5] Gobierno de México. (2013). ¿Qué es la composta? Recuperado de https://www.gob.mx/epn/articulos/que-es-la-composta

[6] Gobierno de México. (2018). Sistemas de riego en la agricultura. Recuperado de https://www.gob.mx/siap/articulos/en-la-agricultura-los-sistemas-de-riego-son-utilizados-para-un-aprovechamiento-optimo-del-agua?idiom=es

[7] Gomes, L. (2022). Allium schoenoprasum: cuidados y características del cebollín. Grama Cesped. Recuperado de https://grama-cesped.com/plantas/como-cuidar-allium-schoenoprasum

[8] Guevara González, R. G., Pons Hernández, J. L., & Torres Pacheco, I. (2018). Manual práctico para el cultivo del chile. Google Books. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=nil3DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=chile+chiltepin+requerimientos+edafoclim%C3%A1ticos&ots=MZ6dwmwEFv&sig=JLCK5veA9WWbGjdJxal35jPvNOE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[9] InfoAgronomo. (2020). Manual de Cultivo de Cebollín o Cebollina. Recuperado de https://infoagronomo.net/manual-de-cultivo-de-cebollin-o-cebollina/

[10] Jara-Samaniego, J., Gallegos, J., & Pullopaxi, A. (2020). Biotransformación de residuos orgánicos generados en la escuela superior politécnica de Chimborazo-Ecuador mediante compostaje. *InterSedes*, 21(44), 189-201. https://doi.org/10.15517/isucr.v21i44.43944

[11] Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. (2003). Diario Oficial de la Federación (DOF), México, 8 de octubre.

[12] Martínez, J. (2019). Residuos Sólidos Urbanos: Una Problemática Ambiental y Oportunidad Energética. *Ciencia UANL*. Recuperado de https://cienciauanl.uanl.mx/?p=9350

[13] Nestlé. (2019). Guía de huertos orgánicos. Recuperado de https://www.nestle.com.ec/sites/g/files/pydnoa396/files/2020-04/Libro_Guia_de_Huertos_Organicos.pdf

[14] Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Larrinaga-Mayoral, J. A., & García-Hernández, J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (Capsicum annuum L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 27(8), 417-421. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000800006&lng=es&tlng=es

Evaluación fisicoquímica de los bioprocesos de composteo y biosecado con residuos agroindustriales (bagazo de naranja)

Oscar Emiliano Escobar Sánchez[1*], Fabián Robles Martínez[1]

[1]Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Av. Acueducto s/n, Barrio La Laguna Ticomán, C.P. 07340, Gustavo A. Madero, Ciudad de México.

[*]Correo electrónico: oescobars1600@alumno.ipn.mx

Resumen

El biosecado es un bioproceso que deriva del composteo, compartiendo varías características entre sí, sin embargo, el fin último de cada uno de ambos bioprocesos difiere. El composteo tiene como objetivo degradar y estabilizar los residuos orgánicos obteniendo una enmienda orgánica, mientras que, el biosecado busca reducir el contenido de humedad de los residuos para poder ser utilizados como un combustible en un incinerador. Mediante la realización de una pila de composteo y una pila de biosecado, ambas con la misma composición, con una masa inicial de 340 Kg y cuyo principal componente fue bagazo de naranja (58.82% w/w), se evaluó el desarrollo de ambos bioprocesos a través del monitoreo de la temperatura ambiente, temperatura interna de las pilas, contenido de humedad, pH, carbono orgánico, solidos volátiles y poder calorífico. Ambas pilas tuvieron una fase termofílica alcanzando temperaturas máximas de 69.19 °C (composteo) y 70.08 °C (biosecado). El proceso de biosecado duró 54 días, con una masa final de 167.16 kg y una reducción de humedad del 85.90%, alcanzando un poder calorífico de 13,147.25 kJ/kg, mientras que el proceso de composteo tomó 110 días con una producción de composta de 273.71 kg (con una humedad final de 44.68%). Ambos bioprocesos resultaron ser favorables para valorizar residuos de bagazo de naranja, siendo el biosecado el que resultó más atractivo en términos de recursos y tiempos de proceso.

Palabras clave: *Fase termofílica*, *bagazo de naranja*, *tratamiento aerobio*, *poder calorífico*

1. Introducción

En la actualidad, tanto el sector agrícola como el agroindustrial son fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos. En el primer sector los residuos se pueden generan por la poda de cultivos, la extracción de la cosecha, el desyerbe, o el descarte de frutos y semillas por daño (Chávez Porras & Rodríguez González, 2016), y en el sector agroindustrial después del procesado de los alimentos se pueden generar bagazos (de caña, de agave, de cítricos), cascarillas (de arroz o trigo), cáscaras de diversos frutos y productos descartados por mala calidad o contaminación microbiana.

En México se estima que la generación de residuos agrícolas (biomasa residual) durante el año 2012 fue de 52.102 millones de toneladas en base seca durante el periodo de cosecha (SEMARNAT, 2020).

Uno de los residuos agroindustriales con mayor generación en México son los generados a partir de la producción de naranja. En el año 2019 México fue el quinto productor mundial de naranja con una producción de 4.7 millones de toneladas, de las cuales 0.9 millones de toneladas fueron procesadas (FAO, 2021), dejando un remanente estimado de entre 0.44 y 0.62 millones de toneladas de residuos de naranja (Zema et al., 2018). Dos tratamientos que ayudan a mitigar el impacto ambiental de este tipo de residuos son el biosecado y el composteo, ambos tratamientos aportan para la valorización y transformación de los residuos en productos útiles (Ballesteros Vázquez, 2022; Contreras Cisneros, 2021).

La primera aparición del término biosecado tuvo su origen en un reporte por Jewell et al. (1984) para lograr diferenciar entre el secado de estiércol lechero y el composteo. De manera general, el biosecado es un proceso biológico aerobio que tiene como objetivo reducir la humedad e incrementar el poder calorífico (PC) de los residuos a través del aprovechamiento de la actividad de los microorganismos presentes en los mismos residuos (Gajewska et al., 2019; Robles Martínez et al., 2013). Incrementar el PC de los residuos orgánicos (RO) facilita su uso como una fuente de combustible (Ab Jalil & Basri, 2012), con una capacidad de competir, en términos energéticos, con combustibles tradicionales como lo son la madera y el carbón (Ballesteros Vásquez et al., 2022). Inicialmente, el biosecado fue empleado en la década de los 90's como un pretratamiento de residuos sólidos urbanos previo a su incineración. Posteriormente, en varios países de Europa, como lo son Alemania e Italia, se volvió un proceso ampliamente utilizado (Rada et al., 2010), y en la actualidad se ha convertido en un proceso altamente empleado en otras partes del mundo (Kasiński et al., 2021; Hemidat et al., 2019).

Por otro lado, el proceso de compostaje o composteo, del latín compositum, se refiere al proceso de biodegradación de una mezcla de sustratos, en condiciones aerobias, y que tiene como principal protagonista a una comunidad microbiana conformada por varias poblaciones (Díaz et al., 2007). El composteo es una tecnología que permite disminuir el volumen y la masa de diferentes RO, y al mismo tiempo, reduce la cantidad de patógenos. Adicional a lo anterior, dicho proceso genera mejoradores de suelos y fertilizantes de uso importante en la agricultura (Zhao et al., 2020). Si bien ambos bioprocesos podrían permitir gestionar los RO generados en el sector agrícola y agroindustrial, es necesario evaluar el desarrollo de ambos, así como los productos generados al final de cada uno. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar diferentes características físicas y químicas durante las diferentes etapas del biosecado y del composteo de residuos de bagazo de naranja.

2. Metodología

2.1. Elaboración de las pilas

Se elaboraron dos pilas semi estáticas al interior de un Espacio Tipo Invernadero (ETI) dentro de las instalaciones de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional (IPN). El montaje de las pilas se realizó el día 11 de octubre del 2023, la pila BS corresponde al proceso de biosecado, mientras que la pila CS corresponde al proceso de composteo. Las pilas fueron compuestas por residuos de bagazo de naranja, pasto (fresco), mulch, hojarasca y composta (como inoculo). Las cantidades y porcentajes de residuos correspondientes a ambas pilas están descritos en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición de las pilas de BS y CS

Residuo	**Masa (kg) (w/w)**	**Composición (%)**
Bagazo de naranja	200.0	58.82
Pasto (fresco)	50.0	14.71
Mulch	50.0	14.71
Hojarasca	20.0	5.88
Composta	20.0	5.88
TOTAL	340.0	100

Se utilizaron el mismo tipo de residuos con el fin de comparar ambos procesos. Para mantener el suministro de aire en las pilas, semanalmente se realizó un volteo mecánico mediante medios manuales los miércoles por la mañana (señalados con líneas punteadas negras en las Figuras). En el caso de la pila CS, se le adicionaron 67.9 L de agua al inicio del proceso y posteriormente durante cada volteo se le fue añadiendo más agua con la finalidad de mantener la humedad entre un 40-70 %. Las pilas se armaron tratando de formar una pirámide truncada. Las dimensiones de las pilas se detallan en la Tabla 2. Una vez iniciados ambos procesos, las pilas presentaron una pérdida de masa y volumen conforme avanzó el proceso, sin embargo, para mantener constante la altura, se aplicó un ajuste en las medidas del largo y ancho de ambas pilas.

Tabla 2: Dimensiones de las pilas de BS y CS

Dimensión	**BS [m]**	CS [m]
Alto	0.70	0.70
Ancho inferior	1.60	1.80
Largo inferior	2.50	2.80
Ancho superior	0.80	0.70
Largo superior	1.30	1.00
Volumen (m3)	1.65	1.78

Los residuos de pasto, mulch y hojarasca, al igual que la composta utilizada para armar las pilas fueron obtenidos de la Planta de Composta y Vivero del IPN, mientras que los residuos de

bagazo de naranja se obtuvieron de la productora de jugos Junamex S. A de C. V. Los residuos de bagazo de naranja fueron generados el mismo día que se elaboraron las pilas. En Tabla 3 se enlistan las características fisicoquímicas de los residuos utilizados y de BS y CS.

Tabla 3: Características de los residuos utilizados en las pilas (base seca) (n=3)

Residuo	**pH**	**% SV**	**% Humedad**	**% C.O.**	**% M.O.**
Bagazo de naranja	3.93 ± 0.02	96.44 ± 0.56	71.30 ± 2.36	45.31 ± 1.47	78.12 ± 2.54
Pasto (fresco)	6.07 ± 0.03	91.74 ± 0.56	48.49 ± 2.32	32.59 ± 1.07	56.19 ± 1.85
Mulch	6.65 ± 0.10	98.44 ± 1.80	20.11 ± 5.30	27.33 ± 2.21	47.12 ± 3.81
Hojarasca	6.41 ± 0.20	82.43 ± 2.48	20.84 ± 1.37	53.27 ± 0.48	91.83 ± 0.82
Composta	7.56 ± 0.41	45.68 ± 6.88	29.61 ± 5.27	19.40 ± 3.85	33.45 ± 6.63
CS	5.20 ± 0.09	84.29 ± 2.68	63.36 ± 6.94	31.20 ± 1.11	53.80 ± 1.91
BS	5.08 ± 0.21	73.95 ± 6.32	67.46 ± 3.81	26.27 ± 1.96	45.28 ± 3.38

2.2. Monitoreo de las pilas

Desde el inicio hasta el término de ambos procesos se monitorearon parámetros tanto de las condiciones ambientales como de control. Los parámetros de las condiciones ambientales se tomaron al interior y al exterior del ETI. En la Tabla 4 se describen los parámetros que se monitorearon. Para poder dar seguimiento a los cambios en las propiedades físicas y químicas del material procesado en las pilas de BS y CS, se tomaron alrededor de 50 g de material a partir de una muestra de la parte central de cada pila, esto se realizó cada semana los lunes, miércoles y viernes por la mañana, durante el desarrollo completo de ambos bioprocesos.

Tabla 4: Parámetros medidos durante el desarrollo de las pilas

Parámetros	**Unidad**	**Frecuencia**
Condiciones ambientales		
Temperatura interior y exterior del ETI	°C	Todos los días; 1 lectura cada h
Humedad relativa del ETI (Interior y Exterior)	%	1 vez al día; lunes, miércoles y viernes 12:00 h
Control		
Pérdida de masa	kg	Al inicio y al final del proceso
Pérdida de volumen	m^3	Al inicio y al final del proceso
Temperatura lateral derecha, lateral izquierda, central y superior interna	°C	Todos los días; 1 lectura cada h

Continúa en la siguiente página

Tabla 4: Parámetros medidos durante el desarrollo de las pilas (*continuación*)

Parámetros	Unidad	Frecuencia
Humedad interna de la pila	%	1 vez al día; lunes, miércoles y viernes
pH	-	1 vez al día; lunes, miércoles y viernes
PC (Solo para BS)	kJ/kg	Al inicio y al final del proceso
Materia orgánica (MO)	%	1 vez a la semana
Sólidos volátiles (SV) (Solo para BS)	%	Al inicio y al final del proceso

La temperatura al interior y al exterior del ETI se midió mediante el uso de dos termopares conectados a un equipo de adquisición de datos de la marca OPTO 22, el cual se mantuvo conectado a una computadora para almacenar los datos. De la misma forma, la temperatura interna de las pilas se monitoreo a partir de cuatro termopares ubicados en la parte lateral derecha (D-CS y D-BS), lateral izquierda (I-CS y I-BS), central (C-CS y C-BS) y superior (S-CS y S-BS) de cada pila los cuales estaban conectados al mismo sistema de adquisición de datos tal y como se muestra en la Figura 1.

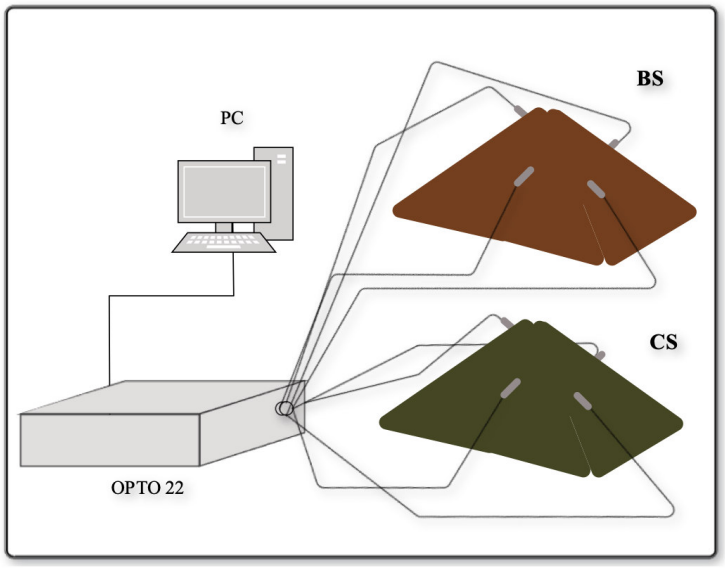


Figura 1: Esquema del sistema de monitoreo de temperatura en las pilas BS y CS.

La humedad relativa interna y externa del invernadero se monitoreo mediante un termohigrómetro de la marca Control Company. La humedad del material orgánico se determinó siguiendo el procedimiento por método gravimétrico establecido en la norma técnica NMX-AA-16-1984 (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología [SEDUE], 1984), cada determinación se realizó a partir de una muestra de 5 g (peso húmedo) de material. Los SV se determinaron mediante la ignición de 1 g de muestra (peso seco) durante 4 h a 600 °C en una mufla marca Barnstead Thermolyne

modelo 1300, las determinaciones se hicieron a cada residuo que componía el material BS debido a la heterogeneidad de la muestra. El pH se determinó conforme al método potenciométrico establecido en el procedimiento de la norma NMX-AA-25-1984 (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología [SEDUE], 1984) utilizando un potenciómetro de la marca Thermo Fisher Scientific modelo Orion 410A+. La determinación de MO se realizó conforme al procedimiento establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002) mediante la oxidación por dicromato de potasio. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

La determinación del PC se realizó mediante un calorímetro de bomba de oxígeno de la marca Parr modelo 1108 en conjunto con una unidad de ignición de la marca Parr modelo 2901. El procedimiento experimental se realizó conforme las indicaciones del manual y de acuerdo con la metodología establecida en la NMX-AA-33-1985 (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología [SEDUE], 1985)

3. Resultados y discusión

3.1. Condiciones ambientales

La temperatura promedio registrada al interior del ETI fue de 16.72 °C, sin embargo, hubo registros de temperaturas máximas de hasta 51.56 °C al inicio del experimento (Figura 2), lo cual favoreció la fase termofílica en BS y CS, y a su vez la reducción de humedad en BS. La temperatura ambiental tuvo un efecto directo en la temperatura de la superficie de las pilas, dado que según Orozco et al., (2019) el calor generado (13 %) por la actividad microbiana no es suficiente para calentar la superficie de las pilas, es decir se requieren de condiciones ambientales (temperatura y radiación solar) favorables para eliminar la humedad de los residuos. La temperatura ambiente máxima al interior del ETI fue mayor (51.56 °C) en comparación al exterior (36.76 °C), y en general las temperaturas internas fueran mayores, resultando conveniente realizar pilas en un espacio de estas características, dado que favorece la reducción de humedad.

La humedad relativa promedio en el interior y exterior del ETI fue de 34.48 % y 27.53 %, respectivamente (Figura 3). Además, en el interior del ETI fue donde se presentaron los valores de humedad relativa más altos, hasta de 67.58 %.

3.2. Temperatura interna de las pilas

Incrementar y mantener una temperatura termofílica en ambos bioprocesos es vital para reducir la cantidad de patógenos en los residuos. Temperaturas mayores a 55 °C cumplen con este propósito (Collick et al., 2007), tanto en BS como en CS se cumple esta condición en los primeros 15 días, en donde se registraron temperaturas máximas de 69.19 °C y 70.08 °C en C-CS y en S-BS, respectivamente (Figura 4). El perfil de temperaturas de BS y CS en la fase de arranque y en la fase termofílica son similares, la fase de arranque ocurre durante el día 1 y en los días del 2 al 15 tiene

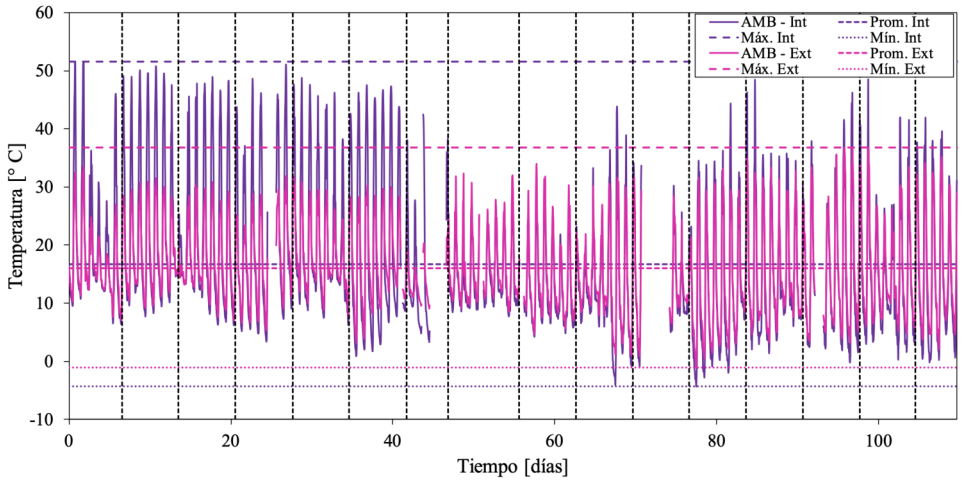


Figura 2: Perfil de temperatura ambiente al interior y exterior del ETI

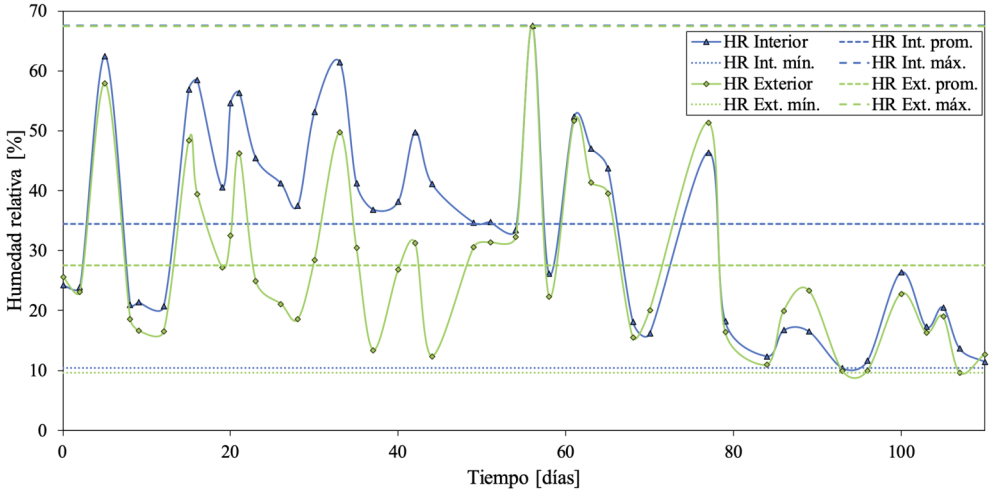


Figura 3: Humedad relativa al interior y exterior del ETI.

lugar la fase termofílica, sin embargo la fase termofílica en CS tiene una mayor duración, caso contrario ocurre en BS, debido a que el contenido de humedad en BS fue de 33.7 % (Figura 5) para el día 16, dificultando así el metabolismo de los microorganismos, dado que se requiere mantener un rango de humedad de 50-70 % durante un proceso aerobio (Pilar Bernal et al., 2017) tal y como ocurre en CS en donde mediante la adición de agua se mantuvo una humedad promedio de 51.8 %.

3.3. Contenido de humedad

La humedad en BS se redujo en un 78.43 % para el día 26, aumentando esta reducción a un 85.90 % para el día 54, respecto al valor inicial. Es decir, únicamente se redujo un 4.73 % del contenido de humedad total en 28 días adicionales de proceso, de forma que no es necesario alargar la duración del proceso de biosecado de BS por más de 26 días, lo cual se asemeja con lo reportado por Rada

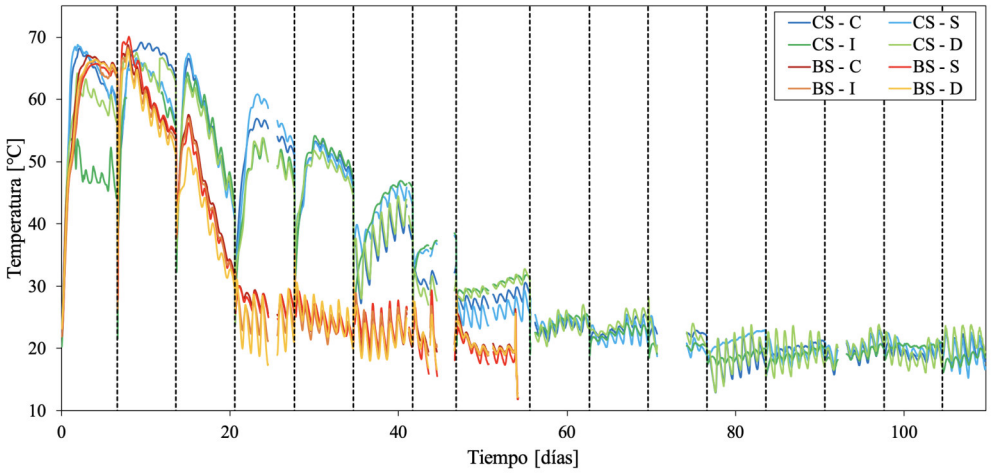


Figura 4: Perfil de temperatura de BS y CS durante

et al. (2009), quienes mencionan que el proceso de biosecado debe durar alrededor de 2 semanas, sin embargo el biosecado de residuos con alto contenido de humedad (como el caso de BS) puede incrementar la duración del proceso. Por otro la humedad en CS se mantuvo en 51.8 % y tuvo una duración total de proceso de 110 días, es decir poco más de 15 semanas, lo cual corresponde a la duración promedio del composteo bajo un esquema de condiciones industriales (Mortier et al., 2016) (Figura 5).

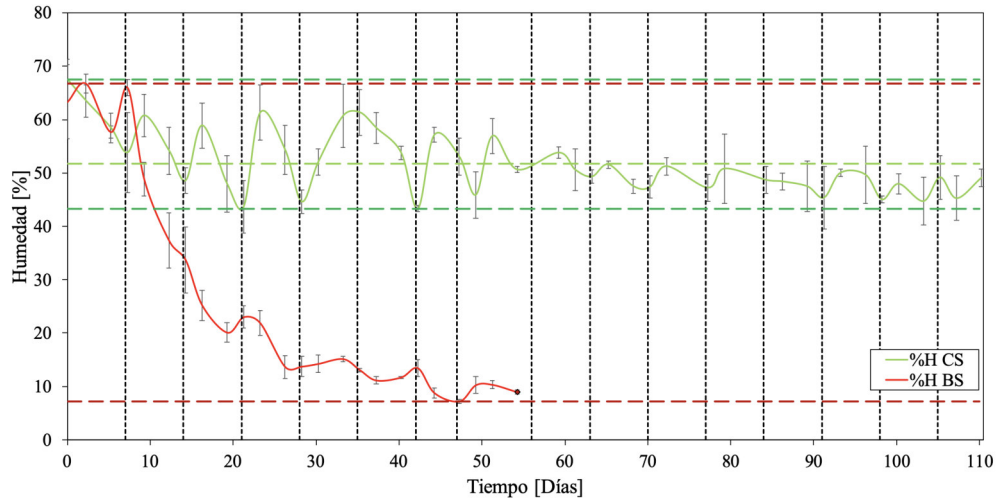


Figura 5: Perfil de humedad de BS y CS (n=3).

3.4. pH

Por otro lado, el comportamiento del cambio de pH en CS y BS fue muy similar (Figura 6) Tanto CS como BS iniciaron con un pH ligeramente acido de 5.09 y 5.21, respectivamente, el pH en CS en el

día 110 fue de 8.34, mientras que el pH en BS en el día 54 fue de 7.8. Usualmente la composta al final del proceso finaliza en un rango de pH alrededor de 8-8.5 (Diaz et al., 2007), muy parecido a lo reportado durante el biosecado de residuos de naranja en donde al final del proceso se obtuvo un material con un pH de 8.23 (Contreras Cisneros, 2021), similar a lo obtenido durante el presente trabajo. Aún cuando se tienen condiciones ácidas en las biopilas, se ha reportado que el compostaje de residuos de naranja frescos genera una composta con un pH de 8.4, esto debido principalmente a la degradación y mineralización de los compuestos orgánicos (Gelsomino et al., 2010).

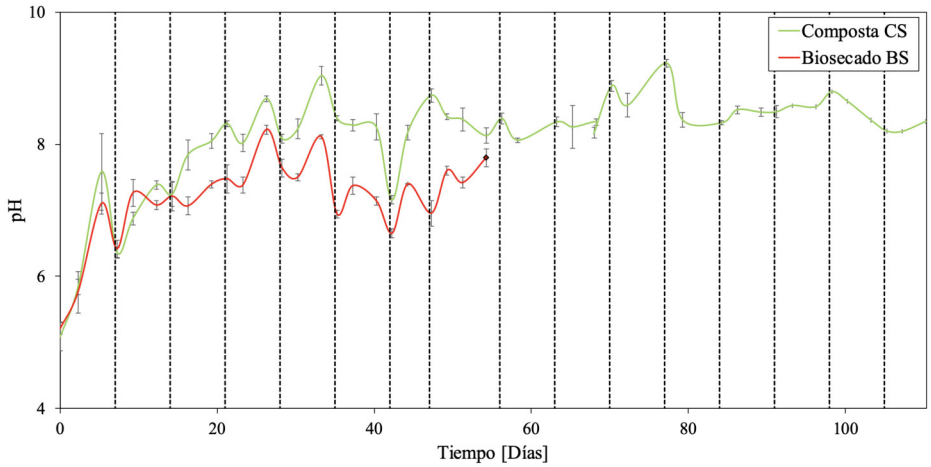


Figura 6: Perfil de pH de BS y CS (n=3).

3.5. Materia orgánica

La estabilización de la MO durante el composteo es importante para reducir la fitotoxicidad de algunos compuestos. En el caso de CS el contenido de materia orgánica se redujo en un 47.16% (Figura 7), es recomendable que esta reducción no supere el 50% del contenido de MO inicial (Diaz et al., 2007), tal y como es el caso. Por otro lado la reducción en BS fue solo del 20.60%.

3.6. Reducción de masa y de volumen

Además, tanto CS como BS presentaron una pérdida de masa y de volumen. Hubo una reducción de masa (w/w) de 19,72% en CS, mientras que la masa de BS se redujo en 51.34% (Figura 8). La diferencia entre los cambios de masa de CS y BS se debe a que el cambio de masa en BS es principalmente por la reducción del contenido de humedad, lo cual no ocurre de la misma forma en CS. Sin embargo, la reducción del volumen en CS es superior que en BS, debido a que la degradación en CS es mayor que en BS, que esto a su vez disminuye la porosidad de la pila y por lo tanto su volumen (Agnew & Leonard, 2003).

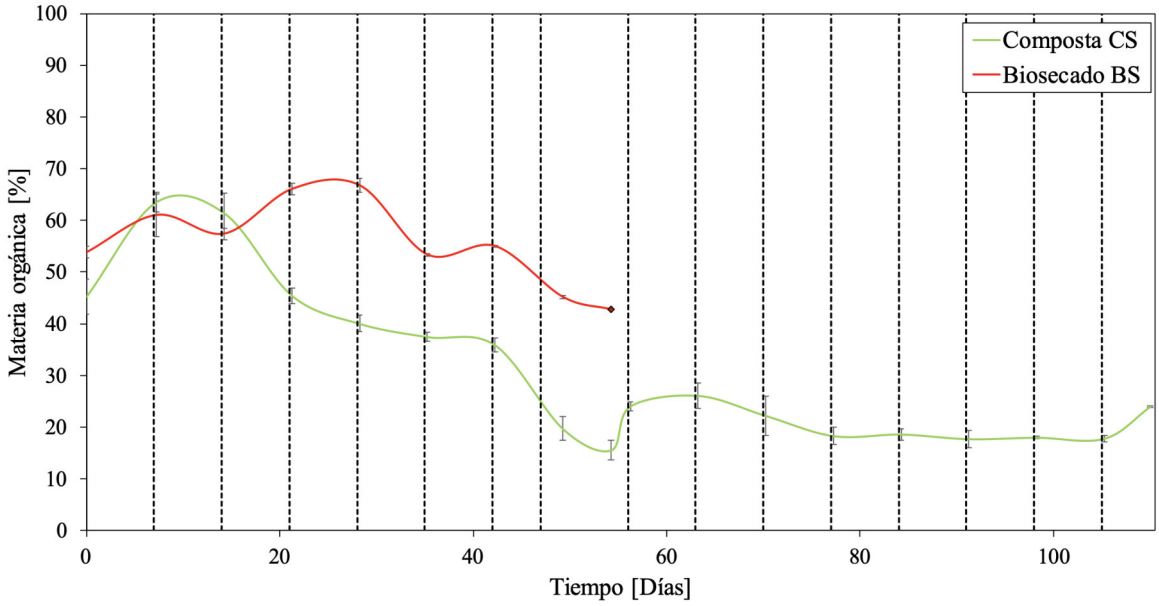


Figura 7: Perfil de MO de BS y CS (n=3).

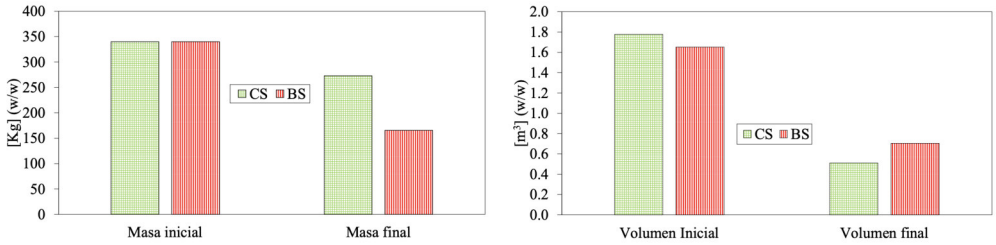


Figura 8: Variación en la masa y volumen de CS y BS.

3.7. Incremento del PC y los SV en BS

El proceso de biosecado aplicado en BS generó un incremento del poder calorífico de los residuos, el cual inicialmente era de 4144.80 kJ/kg, y al termino se incrementó a 13015.03 kJ/kg, es decir un incremento del 214% respecto al valor inicial. La principal razón de que el PC Inicial sea tan bajo es debido al alto contenido de humedad de los residuos, el agua contenida debe de ser evaporada durante la combustión de los residuos, por lo cual una parte de la energía generada durante la combustión es únicamente utilizada para la evaporación del agua. El PC del material biosecado supera con creces el valor mínimo necesario para una combustión autosuficiente (4000 kJ/kg) (Spliethoff, 2010), por lo que vuelve más atractivo el proceso de biosecado al valorizar diferentes RO y generar un combustible derivado de residuos (CDR) con un alto contenido energético, con un valor cercano a los reportados en madera de diferentes especies (18500 – 19000 kJ/kg) (Valter & Luca, 2008).

Por otro lado, una disminución de la cantidad de SV en los residuos está relacionada con la degradación de la MO y a su vez está ligado con el contenido de energía y el valor del PC, es decir entre mayor sea la degradación de los residuos, mayor será el decremento en el PC de estos (Villegas y Huiliñir, 2014). En el caso de BS, se determinaron los SV por componente (Figura 9), siendo el bagazo de naranja el que presentó un decremento mayor respecto al valor inicial, el cual fue de 20.74%, mientras que el mulch, la hojarasca, y el pasto al ser materiales que se biodegradan más lentamente (Zhao et al., 2011) tuvieron un decremento de la cantidad de SV mucho menor (0.86%, 2.28%, 1-26%, respectivamente).

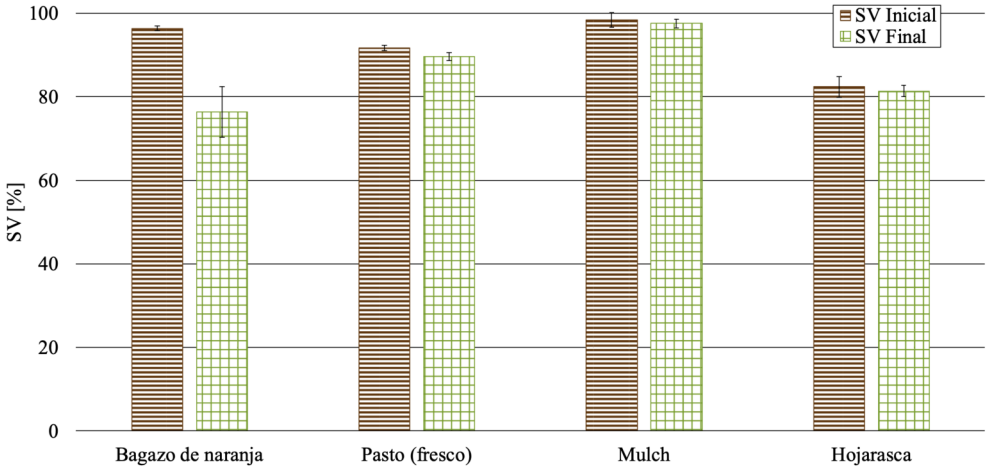


Figura 9: Evolución de la cantidad de SV de cada componente de BS

3.8. Productos generados

Al término de la pila de CS se produjeron 273.71 kg de composta con una humedad de 44.68%, sin embargo, para mantener la humedad de CS se mantuvo un suministro de agua durante todo el proceso. En cambio, la pila BS no requirió agua, y generó 167.16 kg de un CDR equivalente a 2197.64 MJ. Señalando esto, el biosecado se vuelve un bioproceso atractivo para la valorización de residuos, ya que además de no requerir un suministro de agua y presentar un menor tiempo de proceso, genera un CDR con alto contenido energético y de masa menor a la de los residuos sin biosecar, favoreciendo un transporte potencial del material biosecado a un incinerador u horno cercanos.

4. Conclusiones

En este trabajo, se demostró viable la aplicación de dos diferentes tratamientos aerobios (biosecado y composteo) a los residuos de bagazo de naranja generados en México. Se logró obtener un material biosecado con un alto contenido energético (13147.25 kJ/kg) a partir de residuos de bagazo de

naranja mediante un sistema de biosecado en pila con aireación por volteos. De la misma manera, y bajo el mismo modo de operación se logró obtener una composta cuya materia orgánica fue estabilizada y alcanzó un contenido de 23.93 %. En ambos bioprocesos se alcanzó una fase termofílica, favoreciendo la higienización de los residuos.

Tanto el biosecado como el composteo pueden ser aplicables para la valorización de residuos de bagazo de naranja generados en México. Futuras investigaciones deberán implicar el escalamiento de estos tratamientos a un modo de operación industrial, además de buscar la optimización de ambos bioprocesos, considerando las condiciones ambientales del sitio de operación.

Agradecimientos

A la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento del presente proyecto y por otorgar la BEIFI y a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología por brindar el apoyo necesario en laboratorios y equipo para el desarrollo del presente proyecto. Se agradece también a la empresa Junamex S. A de C. V y a la M. en C. Judith López Jardines por la aportación de los materiales para elaborar las pilas de BS y CS.

Referencias bibliográficas

[1] Ab Jalil, N. A., & Basri, H. (2012). Alternative approach toward waste treatment: biodrying for solid waste in Malaysia. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 6(10), 684-687.

[2] Agnew, J. M., & Leonard, J. J. (2003). The Physical Properties of Compost. *Compost Science & Utilization*, 11(3), 238-264. https://doi.org/10.1080/1065657X.2003.10702132

[3] Ballesteros Vásquez, L. C. (2019). *El Biosecado Como Bioproceso Para La Valorización Energética De Residuos Agrícolas Y Agroindustriales* (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

[4] Ballesteros Vásquez, L. C., Robles Martínez, F., Contreras Cisneros, R. M., Piña Guzmán, A. B., & Osorio Mirón, A. (2022). Residuos agrícolas y agroindustriales biosecados como alternativa energética. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 10(57), 18-31.

[5] Chávez Porras, A., & Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia & Virtualidad*, 9(2), 90-107. https://doi.org/10.18359/ravi.2004

[6] Collick, A. S., Inglis, S., Wright, P., Steenhuis, T. S., & Bowman, D. D. (2007). Inactivation of Ascaris suum in a Biodrying Compost System. *Journal of Environmental Quality*, 36, 1528-1533. https://doi.org/10.2134/jeq2006.0523

[7] Contreras Cisneros, R. M. (2021). *Proceso de valorización integral de residuos agroindustriales y agrícolas por biosecado* (Tesis de Doctorado). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

[8] Díaz, L. F., De Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (2007). *Compost science and technology*. Elsevier.

[9] FAO. (2021). Citrus Fruit Statistical Compendium 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[10] Gajewska, T., Malinowski, M., & Szkoda, M. (2019). The use of biodrying to prevent self-heating of alternative fuel. *Materials*, 12, 3039. https://doi.org/10.3390/ma12183039

[11] Gelsomino, A., Abenavoli, M. R., Princi, G., Attinà, G., & Sorgonà, A. (2010). Compost from Fresh Orange Waste: A Suitable Substrate for Nursery and Field Crops? *Compost Science & Utilization*, 18(3), 201-210. https://doi.org/10.1080/1065657X.2010.10736956

[12] Hemidat, S., Saidan, M., Al-Zu'bi, S., Irshidat, M., Nassour, A., & Nelles, M. (2019). Potential Utilization of RDF as an Alternative Fuel to be Used in Cement Industry in Jordan. *Sustainability*, 11(20), 5819. https://doi.org/10.3390/su11205819

[13] Jewell, W. J., Dondero, N. C., Van Soest, P. J., Cummings, R. T., Vegara, W. W., & Linkenheil, R. (1984). High Temperature Stabilization and Moisture Removal from Animal Wastes for By-Product Recovery. Final Report for the Cooperative State Research Service SEA/CR 616–15–168. USDA.

[14] Kasiński, S., Dębowski, M., Olkowska, M., & Rudnicki, M. (2021). Analysis of the Long-Term Mass Balance and Efficiency of Waste Recovery in a Municipal Waste Biodrying Plant. *Energies*, 14(22), 7711-7728. https://doi.org/10.3390/en14227711

[15] Mortier, N., Velghe, F., & Verstichel, S. (2016). Organic Recycling of Agricultural Waste Today: Composting and Anaerobic Digestion. En P. Poltronieri & O. F. D'Urso (Eds.), *Biotransformation of Agricultural Waste and By-Products The Food Feed Fibre Fuel (4F) Economy* (pp. 69-124). Elsevier.

[16] Orozco Álvarez, C., Molina Carbajal, E., Megchun Díaz, J., Osorio Mirón, A., & Robles Martínez, F. (2019). Desarrollo de un modelo matemático para el biosecado de residuos sólidos orgánicos en pilas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 79-90. https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp02.08

[17] Pilar Bernal, M., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., & Michel Jr., F. C. (2017). Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic Environmental and Human Health Benefits. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (pp. 143-233). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002

[18] Rada, E. C., Ragazzi, M., & Panaitescu, V. (2009). MSW bio-drying: an alternative way for energy recovery optimization and landfilling minimization. *UPB Scientific Bulletin Series D: Mechanical Engineering*, 71(4), 113-120.

[19] Robles Martínez, F., Gerardo Nieto, O., Piña Guzmán, A. B., Montiel Frausto, L., Colomer Mendoza, F. J., & Orozco Álvarez, C. (2013). Obtención de un combustible alterno a partir del biosecado de residuos hortofrutícolas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 79-88.

[20] Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología [SEDUE]. (1984). Norma Mexicana NMX-AA-016-1984. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de humedad. Ciudad de México.

[21] Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología [SEDUE]. (1985). NORMA MEXICANA NMX-AA-33-1985. Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de poder calorífico superior. Ciudad de México.

[22] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

[23] Spliethoff, H. (2010). *Power Generation from Solid Fuels*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02856-4_2

[24] Valter Francescato, E. A., & Zuccoli Bergomi, L. (2008). *Manual de combustibles de madera*. Valladolid: AVEBIOM.

[25] Villegas, M., & Huiliñir, C. (2014). Biodrying of sewage sludge: Kinetics of volatile solids degradation under different initial moisture contents and air-flow rates. *Bioresource Technology*, 174, 33-41. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.136

[26] Zema, D. A., Calabrò, P. S., Folino, A., Tamburino, V., Zappia, G., & Zimbone, S. M. (2018). Valorisation of citrus processing waste: A review.

[27] Zhao, L., Gu, W. M., He, P. J., & Li, M. S. (2011). Biodegradation potential of bulking agents used in sludge bio-drying and their contribution to bio-generated heat. *Water Research*, 45(6), 2322-2330. https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.01.014

[28] Zhao, S., Schmidt, S., Qin, W., Li, J., Li, G., & Weifeng, Z. (2020). Towards the circular nitrogen economy – A global meta-analysis of composting technologies reveals much potential for mitigating nitrogen losses. *Science of the Total Environment*, 704, 135401. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135401

Caracterización fisicoquímica y biológica de la composta producida en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

Paola Luna Rivera[1], Alondra Ramos Quintana[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[1], Rosa María Espinosa Valdemar[1], Arely Areanely Cruz Salas[1], Jose Abraham Chanes Gordillo[1], Mariana Elizabeth Ballesteros López[1]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo 420, Col. Nueva El Rosario, Alcaldía Azcapotzalco, CDMX. C.P. 02128.

[*]Correo electrónico: zeferinojuancarlos@gmail.com

Resumen

La Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco se ha caracterizado a nivel nacional por ser una institución comprometida con la gestión de sus residuos, en recientes años ha integrado el tratamiento de residuos de poda y jardinería a través del proceso de composteo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar fisicoquímica y biológicamente dos de las compostas producidas en la universidad, comparándolas con la Norma Ambiental NADF-020-AMBT-2011 y la Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018. Los resultados obtenidos muestran que las compostas cumplen con la mayoría de los parámetros solicitados por ambas normas, salvo en el caso de los coliformes fecales los cuales representan un parámetro clave que debe ser atendido a la brevedad.

Palabras clave: *coliformes*, *fracción orgánica*, *mejorador de suelos*

1. Introducción

Como parte de las acciones implementadas en la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana para fomentar una cultura de sustentabilidad, en octubre de 2003 se inició el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UAM Azcapotzalco: "Separacción por un mejor UAMbiente" (Espinosa-Valdemar et al., 2013).

Las primeras pruebas de composta a escala de 3 m3 se iniciaron el 20 octubre del 2022, mientras que la inauguración de la planta de composta (PlanCom) se llevó a cabo el 23 de noviembre del 2023 (Espinosa-Valdemar et al., 2023), actualmente la planta de composta maneja pilas de 5 – 8 m3 en un proceso continuo. El material obtenido se usa en las áreas verdes de la unidad, la aplicación en arbustos y árboles y para la recuperación de zonas erosionadas.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar fisicoquímica y biológicamente dos mejoradores de suelo producidos en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

2. Metodología

La composta analizada fue obtenida de la planta de composta de la unidad, y los análisis fisicoquímicos y biológicos se realizaron en el laboratorio de tecnologías sustentables.

2.1. Toma de muestra

Las muestras fueron obtenidas de dos pilas maduras de 50 m3 cada una. Estas compostas fueron elaboradas con residuos de jardinería, principalmente de hojas secas (70%), astillas de madera (mulch) (10%) y pasto (5%), el composteo duró aproximadamente 7 meses en cada una, con un desfase de un mes entre cada una (Figura 1). En ambas pilas se presentó la fase termófila (>40 °C) y se mantuvo durante mínimo 1 mes.



Figura 1: Pilas de composta maduras

La toma de muestra se realizó en puntos equidistantes, cinco horizontales y cinco verticalmente, de tal manera que todas las alturas y profundidades de las dos pilas, tuvieron la misma oportunidad de quedar representadas.

Posteriormente las muestras fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta. De esta mezcla se obtuvo aproximadamente 1 kg para constituir la muestra final que fue sometida a los análisis.

2.2. Caracterización fisicoquímica del producto

La caracterización de las muestras se realizó conforme a las normas:

Norma Ambiental NADF-020-AMBT-2011, Que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal.

Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales.

Posteriormente, los resultados se agruparon en cuatro secciones:

- Fisicoquímicos (% humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno total, relación C/N y granulometría)
- Metales pesados y metaloides (arsénico, cadmio, cromo total, cromo hexavalente, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc)
- Biológicos (fitotoxicidad, coliformes fecales, Escherichia coli, Salmonella sp. y huevos de helminto viables)
- Impurezas (roca y arena, plásticos, vidrios y fragmentos metálicos)

El índice de germinación (IG) es un parámetro que determina la existencia de compuestos que promueven o inhiben la germinación, mediante el crecimiento de la radícula de una especie vegetal. En la determinación del índice de geminación, se utilizaron semillas de rábano y se emplearon las ecuaciones 1, 2 y 3.

$$GR = (SGE)/(SGB) \times 100 \quad (1)$$

$$ER = (ERE)/(ERB) \times 100 \quad (2)$$

$$IG = (GR * ER)/100 \quad (3)$$

SGE: semillas germinadas en el extracto (número de unidades) SGB: semillas germinadas en el blanco (número de unidades) ERE: elongación de radículas en el extracto (cm) ERB: elongación de radículas en el blanco (cm)

La norma NADF-020-AMBT-2011, establece tres clasificaciones para el uso de la composta obtenida:

1. Sustrato de vivero y sustituto de tierra para maceta

B. Agricultura ecológica y reforestación

C. Paisaje, áreas verdes y reforestación

Mientras que la NMX-AA-180-SCFI-2018, solo menciona Tipo I, Tipo II y Tipo III, sin especificar la diferencia entre cada uno de ellos.

3. Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la temperatura en una de las pilas de composta que formaron parte de las pilas de maduración, donde se aprecia que la temperatura inicial fue de 38.2 °C, luego ascendió hasta 70.0 °C para, finalmente, descender a los 33.1 °C.



Figura 2: Temperatura de la pila 6 durante el proceso de composteo

La variación de la temperatura se debe a que el volteo de las pilas se realizó semanalmente y el riego dependía en gran medida de la disponibilidad de agua en la unidad. Esto resalta la importancia de la aireación y la humedad para alcanzar los niveles de temperatura deseados. Si alguno de estos parámetros no se mantiene adecuadamente, la temperatura desciende, lo que altera las condiciones y tiempo de degradación y afecta los resultados biológicos y fisicoquímicos esperados al final del proceso de compostaje.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización de las dos pilas, así como su clasificación de acuerdo con las normas comparadas.

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de la composta producida

Parámetro	Pila 1	NMX-180	NADF-020	Pila 2	NMX-180	NADF-020
Humedad (%)	49.01 ± 2.37	III	C	43.19 ± 1.30	III	C
pH	9.04 ± 0.08	No cumple	No cumple	8.78 ± 0.03	No cumple	No cumple

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de la composta producida (*continuación*)

Parámetro	Pila 1	NMX-180	NADF-020	Pila 2	NMX-180	NADF-020
Conductividad eléctrica (dS/m)	7.28 ± 0.3	II	B	6.43 ± 0.09	II	B
Materia orgánica (%)	40.39 ± 0.80	II	A	36.81 ± 0.44	II	A
Carbono orgánico total (%)	23.43 ± 0.46	I	No especifica	21.35 ± 0.26	I	No especifica
Nitrógeno total (%)	1.38 ± 0.14	III	No especifica	1.36 ± 0.14	III	No especifica
Relación C/N	17.11 ± 1.82	I	B	15.85 ± 2.08	I	B
Granulometría	4.75 mm	I	A	4.75 mm	I	A

Analizando los resultados de la caracterización fisicoquímica, ambas compostas no cumplen con el pH, en ninguna de las dos normas. Las compostas alcalinas son resultado de la naturaleza del sustrato inicial y a que presentan una menor proporción de iones intercambiables de hidrógeno y mayores de calcio, magnesio y sodio (L. Barbaro et al., 2019). Una de las soluciones viables para reducir el pH es dejarla madurar un par de meses o bien adicionarle algunas sales en forma de sulfato de hierro, amonio, las cuales se utilizan en prácticas agrícolas (L. A. Barbaro et al., 2010).

La caracterización de los metales pesados y metaloides de la composta producida se presenta en la Tabla 2, ambas compostas producidas cumplen con la normatividad para todos los metales analizados.

Tabla 2: Caracterización de metales pesados y metaloides de la composta producida

Metales pesados y metaloides (ppm)	Pila 1	NMX-180	NADF-020	Pila 2	NMX-180	NADF-020
As	0.02	I	A	0.02	I	A
Cd	0.11	I	A	0.12	I	A
Cr total	5.32	I	A	5.98	I	A
Cr hexavalente	No detectado	I	No especifica	No detectado	I	No especifica
Cu	8.25	I	A	9.24	I	A
Hg	No detectado	I	A	No detectado	I	A
Ni	1.32	I	A	11.45	I	A

En cuanto a la caracterización biológica (Tabla 3), las compostas cumplieron con los parámetros de Escherichia coli, Salmonella sp., y huevos de helmintos viables; sin embargo, para coliformes fecales ninguna de las dos se encontró dentro de los límites máximos permisibles, ya que para para ambas normas el valor es de <1000 NMP/g.

Tabla 3: Caracterización biológica de la composta producida

Organismos	**Pila 1**	**NMX-180**	**NADF-020**	**Pila 2**	**NMX-180**	**NADF-020**
Coliformes fecales (NMP/g)	13333.3	No cumple	No cumple	6000	No cumple	No cumple
Escherichia coli (NMP/g)	666.6	I	No especifica	200	I	No especifica
Salmonella sp./ en 4 g masa seca	<1.8	I	A	1.8	I	A
Huevos de helmintos viables/g masa seca	Ausente	I	A	Ausente	I	A
Fitotoxicidad (%)	112.56 ± 24.12	I	A	103.26 ± 9.62	I	A

La presencia de coliformes se puede explicar debido a que la planta de composta se encuentra a lado de una zona habitacional y en reiteradas ocasiones se han encontrado bolsas abiertas con heces de mascotas (Figura 3a) que los vecinos arrojan por encima de la barda. Además de esto, algunos miembros de comunidad UAM-A han acondicionado una zona, cercana a la planta de composta, como hábitat para gatos que deambulan dentro de la universidad, por lo que es común detectar la presencia de heces de gato en la composta (Figura 3b).



Figura 3: a) Bolsa con heces de perro encontrada en las pilas de composta, b) zona de refugio y alimentación de gatos en la UAM - A

Con respecto a la fitotoxicidad, ambas compostas presentaron valores por encima del 100%, lo cual indica que el material permite el desarrolló de especies vegetales; este último valor contrasta

con el obtenido en el pH, debido a que la norma menciona que el pH afecta el crecimiento de las plantas, sin embargo, lo obtenido en el análisis de fitotoxicidad demostró otra tendencia.

En la Tabla 4 se presentan los valores para los residuos inertes, en ambas compostas se observó la presencia de éstos, siendo las rocas y arenas las que se presentaron en mayor proporción en términos de masa

Tabla 4: Caracterización de inertes de la composta producida

Impureza (%)	**Pila 1**	**NMX-180**	**NADF-020**	**Pila 2**	**NMX-180**	**NADF-020**
Roca y arena	2.0	II	B	2.3	II	B
Plásticos	0.2	II	B	0.3	II	B
Fragmentos vidrio y metálicos	0.2	II	B	0.1	II	B

4. Conclusiones

La gestión de los residuos en centros educativos es de vital importancia, por lo que es menester el tratamiento adecuado de los mismos. En el caso de la UAM Azcapotzalco, el aprovechamiento de los residuos de poda y jardinería son utilizados para la obtención de composta, la cual es utilizada en las áreas verdes de la unidad.

En la mayoría de los parámetros la composta cumple con las especificaciones normativas, sin embargo, el pH no cumple debido a naturaleza alcalina de la degradación de los residuos utilizados, sin embargo, las pruebas de fitotoxicidad demostraron de que, a pesar del carácter básico de la composta, obtuvieron porcentajes por encima del 100% lo cual indicó que puede ser utilizada.

En el caso de los coliformes totales si existió la presencia de estos, la cual se atribuye a heces de mascotas y de gatos residentes de la UAM, por lo que se debe atender a la brevedad esta problemática.

Referencias bibliográficas

[1] Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., Azul, C., & Aires, B. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Science*, 35(2), 126-136. http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309

[2] Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., & Morisigue, D. (2010). Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. *Agriscientia*, XXVII(2), 125-130. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v27n2/v27n2a08.pdf

[3] Espinosa-Valdemar, R. M., Alvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., Vazquez-Morillas, A., & Velasco-Pérez, M. (2023). 2o Encuentro de experiencias en plantas de composta. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30320.67843

[4] Espinosa-Valdemar, R. M., Turpin Marion, S. J., Vazquez-Solis, R. C., Vazquez-Morillas, A., Cisneros-Ramos, A., & García-García, B. A. (2013). La gestión ambiental en una institución de educación superior asociada a las prácticas de separación y recuperación de residuos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 49-57.

[5] NMX-AA-180-SCFI-2018. (2018). Productos orgánicos y fertilizantes – Composta Especificaciones y métodos de prueba. Publicada el 12 de diciembre de 2018 en el Diario Oficial de la Federación.

[6] NADF-020-AMBT-2011. (2011). Que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos agrícolas pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Publicada el 23 de abril de 2002 en la Gaceta de la Ciudad de México.

Caracterización de residuos sólidos dentro de una institución educativa de nivel medio superior

Pedro Israel Michua Urbina[1], Yesenia Camacho Lara[1], Rocío Vaca Paulin[1], Nadia de la Portilla López[1], Jorge Lugo de la Fuente[1], Gustavo Yáñez Ocampo[1], Pedro del Águila Juárez[1]

[1]Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

[*]Correo electrónico: daguila@uaemex.mx

Resumen

Se ha demostrado que el entorno educativo desempeña un papel crucial en el incremento del conocimiento sobre la gestión de residuos. Por ello, este estudio tuvo como objetivo investigar el conocimiento, la actitud y las prácticas relacionadas con la gestión de residuos sólidos (RS). La investigación se llevó a cabo en el Plantel Cuauhtémoc de la Universidad Autónoma del Estado de México, entre febrero y mayo de 2023. Con una población total de 3,443 personas, se seleccionó una muestra representativa de 520 participantes, divididos en cuatro sectores: 1) estudiantes, 2) directivos, 3) académicos de tiempo completo y de asignatura, y 4) personal de orientación educativa. Se aplicaron dos cuestionarios, uno para los estudiantes y otro para los demás sectores. Los resultados se analizaron utilizando pruebas de tabulación cruzada y de Chi-cuadrado (χ^2) con un nivel de significancia de $\rho \leq 0{,}5$. Los resultados indicaron que, en el sector estudiantil, las alumnas demostraron un mayor conocimiento sobre la gestión de RS (64%) en comparación con los varones (36%). En cuanto al personal docente, la participación fue muy alta (93.3%) en términos de conocimiento y manejo de RS. Además, en relación con las prácticas de reciclaje, los estudiantes elaboraron una composta que fue caracterizada en laboratorio, mostrando cualidades que cumplen con la normativa vigente. Finalmente, el estudio destacó que las alumnas tenían una percepción más clara sobre los residuos, lo que sugiere que estos resultados pueden servir como base para planificar un programa permanente de gestión de RS en el plantel.

Palabras clave: *basura cero*, *compostaje*, *reciclaje*, *gestión de residuos*

1. Introducción

La rápida urbanización, el crecimiento de la población y el desarrollo económico impulsaran la generación mundial de residuos sólidos (RS) a aumentar en un 70% en los próximos 30 años. Es decir, si no cambiamos la manera de gestionar el tratamiento que se le da a los RS la tendencia podría seguir creciendo hasta un punto insostenible (Song et al., 2015; Amarachukwu et al., 2020). Por otro lado, según los datos presentados por Rodríguez y López (2020) en México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.9% y se disponen en

sitios de disposición final 78.5%, reciclando únicamente el 9.63 % de los residuos generados, estos datos demuestran que la educación ambiental es escaza por lo cual en la Ciudad de México se implementó en el año 2019 "El plan de acción de basura cero" el cual pretende que los residuos que lleguen a rellenos sanitarios sean menor y se puedan aprovechar estos recursos para valorizarlos y retornarlos a cadenas de producción. Debido a que esta no es una problemática nacional, sino más bien es una situación mundial en junio del 2020 en el congreso virtual de Beijín sobre "Gestión de los residuos" se discutió cual es el camino más real y optimo a seguir, en dicho congreso se tocó el tema sobre la basura cero (BC) en donde se propone replantear la cadena de suministros aprovechando los recursos y reintegrando los RS aprovechables a la industria para dejar de sobreexplotar los recursos naturales del ambiente (Awasthi et al., 2021). El crecimiento urbano ha incrementado la generación de residuos y reducido la disponibilidad de tierras para su disposición final, haciendo crucial una gestión adecuada de residuos sólidos. Sin embargo, en muchos países en desarrollo, la gestión de residuos se ha centrado predominantemente en aspectos técnicos, dejando de lado consideraciones socioeconómicas, como las relaciones de género. Diversos estudios de investigación han demostrado que la gestión de residuos está influenciada por cuestiones de género, independientemente del enfoque teórico adoptado (Amoah et al., 2023). Estudios realizados en Brasil y México han demostrado que una gran proporción de los residuos generados en universidades es potencialmente reciclable o comportable. En Brasil, el 90% de los residuos enviados a rellenos sanitarios podría reciclarse, mientras que en la Universidad Iberoamericana de México, el 52% de los residuos es adecuado para compostaje, el 27% es reciclable, y solo el 25% debe ir a relleno sanitario (Ruiz-Morales, 2012; Zikali et al., 2022). Estos datos sugieren que es posible implementar estrategias efectivas para la gestión y reciclaje de residuos dentro de las instituciones educativas. En respuesta, se han adoptado estrategias de reducción para alcanzar una tasa de reciclaje del 25%, con el objetivo de mejorar el conocimiento y las prácticas en gestión de residuos sólidos dentro del plantel (Zen et al., 2016). El presente estudio evaluó la percepción sobre la problemática de los residuos sólidos (RS) y su gestión en el plantel Cuauhtémoc, considerando alumnos, académicos, administrativos y personal de intendencia y directivos. Para ello, se realizaron caracterizaciones de los RS, se aplicaron cuestionarios y se organizaron pláticas y talleres con el objetivo de mejorar el entorno y fomentar propuestas de reúso y reciclaje de los residuos sólidos de rechazo.

2. Metodología

2.1. Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo dentro de las instalaciones del plantel Cuauhtémoc de la Universidad Autónoma del estado de México (UAEMex) ubicado en Av. Heroico Colegio Militar Manzana 016, Los Ángeles, 50020 Toluca de Lerdo, México, con coordenadas geográficas latitud 19°18'21" N

y longitud 99°38'41" O. La población del plantel educativo se constituye por cuatro sectores, el estudiantil, el docente, y los administrativos (Tabla 1).

Tabla 1: Tamaños de muestra por sector.

Sector	Tamaño de población	Tamaño de muestra
Estudiantes	3199	344*
Docentes	187	126*
Administrativos	57	50*
Total	3443	520

*nivel de significancia del 95%

2.2. Determinación del tamaño de muestra para cada sector educativo

Con base en las Ecuaciones 1 y 2, se determinó el tamaño de muestra para cada sector: estudiantil, académico, administrativo y de intendencia (Tabla 1).

$$N_0 = Z^2 \frac{(p)(q)}{e^2} \tag{1}$$

donde Z^2 factor probabilístico = 1.96; p y q: la probabilidad de un éxito y un fracaso = 0.5; e^2 error máximo tolerable = 0.05. Posteriormente, se aplica la segunda fórmula Ecuación 2:

$$N' = \frac{N_0}{1 + \frac{N_0 - 1}{N}} \tag{2}$$

donde N' es la ajustada para determinar el número de cuestionarios a aplicar; N_0 es el número total para cada grupo; y N representa al número total de la población.

El cuestionario consideró temas relacionados con la gestión de residuos en el centro educativo e incluye los siguientes ítems (Tabla 2).

Tabla 2: Ítems de interés del cuestionario

Ítem	Categoría del personal
Evaluar el conocimiento de los sectores sobre los RS y su clasificación.	Alumnos, Docentes, Administrativos
Evaluar el conocimiento del reciclaje y las formas de realizarlo.	Alumnos, Docentes, Administrativos
Determinar el conocimiento de la cultura ambiental y el término de basura cero.	Alumnos, Docentes, Administrativos
Determinar los tipos de residuos que hay en Institución	Alumnos, Docentes, Administrativos

Continúa en la siguiente página

Tabla 2: Ítems de interés del cuestionario (*continuación*)

Ítem	Categoría del personal
Determinar la forma adecuada de llevar la información a los sectores involucrados por medio de pláticas y talleres.	Alumnos, Docentes, Administrativos

Fuente: Elaboración propia

2.3. Análisis de los datos

Los datos colectados del cuestionario se realizaron estadística descriptiva, utilizando distribuciones de frecuencias y representándolos en gráficos de pastel. Además, se aplicó la prueba de Tabulación cruzada o de contingencia para establecer asociaciones entre la variable dependiente con la independiente de acuerdo a Cañada et al. (2011). Mediante el programa IBM SPSS Statistic se analizaron los datos obtenidos gracias a la plataforma Google Forms.

2.4. Características del cuestionario

Se realizó un cuestionario tipo Likert el cual fue aplicado mediante las tecnologías de la información y comunicación (TIC) a los docentes y alumnos mediante la plataforma "Google Forms", mientras a los administrativos se les aplico de manera presencial debido a las actividades que realizan.

2.5. Talleres y pláticas dentro de la institución

La capacitación a los alumnos se realizó mediante pláticas y talleres enfocados en el reciclaje de residuos sólidos dentro del plantel. Por otro lado se elaboró composta por parte de los estudiantes y el tiempo del proceso duro de tres meses aproximadamente. Además se apoyó con una plática sobre el proceso de composteo dirigido a estudiantes.

2.6. Disposición de los residuos sólidos

En el plantel se cuenta con un contenedor de residuos sólidos (RS) con una capacidad de 5.59 m^3, el cual se recolecta semanalmente. Considerando que se llena por completo cada semana y que la población de la institución es de 3443 personas, se realizaron cálculos basados en la densidad de los residuos. Se encontró que se generan 0.09 kg de RS por habitante al día, lo que equivale a 2403.7 kg de RS semanalmente.

2.7. Análisis químicos de la composta escolar

Los análisis de la composta se llevaron a cabo por los métodos de la norma mexicana (DOF, 2007). Se determinó el pH en agua en una dilución 1:2, empleando un potenciómetro Corning modelo 340, la conductividad mediante un Conductronic Modelo PC19, la determinación de humedad por el método gravimétrico. La determinación de la materia orgánica mediante el método de calcinación o muflado utilizando una mufla Felisa AR-340. El N-total se cuantificó por semimicro-Kjeldahl, a través del método AS-16-1997 (Jackson, 1982).

3. Resultados y discusión

La validación del cuestionario se basó en los valores de Cronbach obtenidos (Tabla 3).

Tabla 3: Valores de Cronbach para cada sector

Sector	Valor de alfa	Nivel de confianza
Alumnos	0.73*	$p \leq 0.05$
Docentes	0.63*	$p \leq 0.05$
Administrativo	0.77*	$p \leq 0.05$

Fuente: *0.05 de probabilidad, elaboración propia

3.1. Preguntas para el sector estudiantil

Los ítems del cuestionario fueron validados mediante una prueba de Chi-cuadrado tanto para el sector estudiantil como para los demás sectores. En cuanto al término residuos sólidos", se observaron diferencias significativas entre los alumnos (χ^2 (2, N=225) = 24.6, $\rho \leq 0{,}001$). Las alumnas respondieron afirmativamente con mayor frecuencia (144, representando el 64%), mientras que los alumnos lo hicieron en menor medida (75, con un 36%). Esto sugiere que las alumnas tienen una mayor percepción de lo que constituye un residuo (Tabla 4). Respecto al papel de las mujeres en la gestión de residuos sólidos, se ha demostrado que en los hogares rurales, la generación de residuos es una actividad cotidiana (García et al., 2014; Emara, 2023).

Sin embargo, en los centros educativos, los residuos incluyen cualquier material de origen doméstico, comercial o industrial que carece de valor para sus propietarios y es descartado como inservible (Amarachukwu et al., 2020). En cuanto al conocimiento del término reciclaje", también se observaron diferencias significativas entre los estudiantes (χ^2 (2, N=300) = 29.9, $\rho \leq 0{,}001$). Al igual que con los residuos sólidos, las alumnas demostraron un mayor conocimiento del término reciclaje.^{en} comparación con los alumnos (Tabla 4). El conocimiento que los estudiantes del centro

educativo tienen sobre el reciclaje, en parte gracias a las campañas de recolección del Polietileno Tereftalato (PET) que se llevan a cabo en el plantel.

Por otro lado, estudios realizados por Bahçelioğlu y colaboradores (2020) señalan que los estudiantes solo conocen una pequeña parte del proceso de gestión de residuos de manera correcta. En su estudio, el 60.1% de los encuestados estaba al tanto de que los residuos reciclables se recolectan por separado en el campus. En relación con el presente estudio, la participación en talleres, pláticas y cuestionarios llevados a cabo en el plantel mostró que los estudiantes están comenzando a adquirir una mayor conciencia ambiental en términos de reciclaje, gracias a las campañas de acopio, los huertos verdes y el proceso de compostaje. Los alumnos participan activamente recolectando PET y entregándolo a personas especializadas en el tema, así como sembrando, cuidando y cosechando en el huerto con la ayuda de la composta.

Tabla 4: Percepción de un residuo y reciclaje por parte de los alumnos

¿Cuál es tú definición de Residuo Sólido?						
		a	b	c	d	total
Sexo	No binario	6	0	0	3	9
	Mujeres	144	4	0	70	218
	Hombres	75	7	2	32	116
	Total	225	11	2	105	343
a) Un desecho de los productos que usamos cotidianamente, b) La fuente aprovechable de un producto, c) Un producto que está guardado constantemente, d) Un material desechable de un producto que puede ser aprovechable.						
¿Qué significa el termino reciclaje?						
Sexo	No binario	9	0	0	0	9
	Mujeres	188	26	4	0	218
	Hombres	103	8	5	0	116
	Total	300	34	9	0	343
a) Es el proceso de transformar los residuos en nuevos, b) Es el proceso de separar los residuos para su disposición final, c) Es el proceso de desechar productos, d) Es el proceso de transportar los residuos a los vertederos.						

La pregunta "¿Cuál es tu definición de basura cero?"mostró diferencias significativas entre los grupos encuestados, como se observa en la Figura 1 (χ^2 (2, N=122) = 7.88, $\rho \leq 0{,}019$). Para el grupo no binario representó el 4.09% de las respuestas, mientras que los alumnos y las alumnas representaron el 38.5% y el 57.3%, respectivamente. A raíz de estos resultados, se propusieron pláticas para que los estudiantes comenzaran a relacionar los términos con las actividades ya realizadas dentro de la institución a pequeña escala. Las respuestas de los estudiantes en este estudio plantean desafíos y oportunidades para transformar la gestión tradicional de residuos hacia la visión de Çero Residuos", enfocándose en residuos electrónicos, alimentarios y de envases, prácticas sostenibles promovidas por el programa de protección al ambiente de la institución. Aunque Çero Residuos.[es] una solución efectiva para reducir los residuos sólidos, se requieren esfuerzos continuos para lograr su implementación completa en el futuro. En los últimos años, un enfoque que se ha sugerido

como medio para abordar estas preocupaciones es el de los conceptos de Çero Residuos". El cual es una filosofía que fomenta la reconfiguración de los ciclos de vida de los recursos para que todos los productos sean reciclados o reutilizados (Song et al., 2015). Cabe mencionar que los estudiantes están aprendiendo mediante la práctica el concepto de Basura Cero mediante actividades de minimizar, compostar, reciclar y reutilizar los residuos, ajustar el consumo de recursos naturales y rediseñar productos industriales para eliminar los residuos en los procesos de producción de acuerdo a estudios de Ayeleru y colaboradores (2018) y Awasthi y colaboradores (2021).

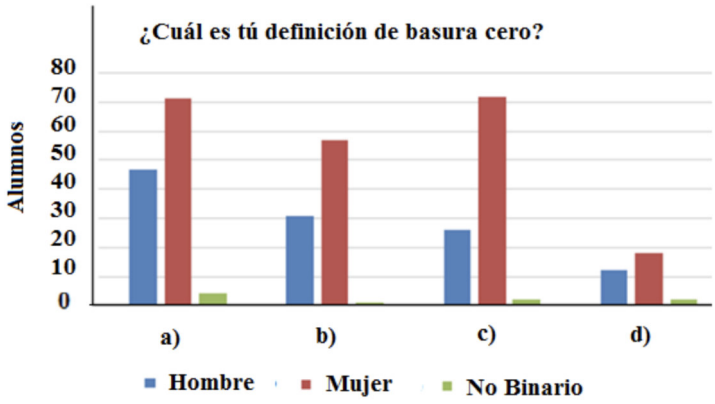


Figura 1: Percepción de término Basura Cero por parte de los alumnos

3.2. Preguntas del cuestionario para el sector: Directivo, Académicos de tiempo completo y asignatura, así como personal de orientación educativa.

Para la pregunta "¿Cuál es tu definición de residuos sólidos?", los participantes respondieron de manera uniforme, destacando los plásticos y el vidrio como los materiales generados en mayor proporción. Los resultados por grupo mostraron que el 18.5 % del personal de mantenimiento, el 37% del personal administrativo, y el 22.2% de auxiliares y secretarias compartían esta percepción. A partir de sus respuestas, se puede afirmar que un residuo sólido es cualquier material que su productor o poseedor decide desechar, el cual puede ser resultado de procesos como fabricación, transformación, uso, consumo o limpieza (Awasthi et al., 2022).

En respuesta a la pregunta "¿Qué tipo de residuos sólidos se generan en su centro educativo?", todos los participantes coincidieron en su respuesta. Los resultados por grupo fueron los siguientes: personal administrativo (32%), auxiliares (28%), personal de mantenimiento (24%), y secretarias (16%).

Con respecto a la Tabla 5, no se observaron diferencias significativas en las respuestas a la pregunta "¿Cómo se manejan los residuos sólidos en su institución educativa?.^{en}tre los diferentes grupos de la institución, que incluye al director, docentes y orientador educativo. Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas (χ^2 (2, N=122)= 7.88, $\rho \leq 0{,}019$) en la percepción del manejo de residuos sólidos entre los PTC (20%) y orientadores educativos (6.6%), en comparación

con los académicos por asignaturas (73.3%) y el director. La mayoría de los docentes que trabajan por asignatura creen que los residuos sólidos se separan en orgánicos e inorgánicos, mientras que otra parte considera que todos los residuos se mezclan en un solo contenedor, reflejando opiniones completamente opuestas.

Esta divergencia fue confirmada durante la caracterización de los residuos y en entrevistas con el personal administrativo y de mantenimiento, donde se observó que únicamente se separan las botellas de PET de otros residuos sólidos. De cara al futuro, una estrategia podría ser la implementación de campañas para eliminar el uso de unicel en el plantel, como lo hace la cafetería, que incentiva a los estudiantes a disponer adecuadamente de sus residuos sólidos. Estudios realizados por Anuardo y colaboradores (2022) y Yusuf y Fajri (2022).sugieren que las soluciones para enfrentar los desafíos en la gestión de residuos sólidos incluyen mejoras en la separación en la fuente y en los métodos de reciclaje, el establecimiento de un marco legislativo para la gestión de residuos, mejoras en las instalaciones de disposición final, la integración de sistemas de encuestas en línea para la gestión de residuos, y el establecimiento de criterios y características para productos y recursos reciclables.

Tabla 5: Gestión para reducir de los RS por parte de los docentes. ¿Cómo se manejan los residuos sólidos en su institución educativa?

Cargo que ostenta	**a**	**b**	**c**	**d**	**Total**
Director	0	1	0	0	1
Profesor de tiempo completo	9	10	0	3	22
Docente de asignatura	33	27	1	22	83
Orientador educativo	3	1	0	1	5
Total	45	39	1	26	111

a) Se separan los residuos orgánicos e inorgánicos para su posterior reciclaje,

b) Se mezclan todos los residuos y se depositan en un solo contenedor,

c) Existen personas capacitadas para esto,

d) No se ha establecido un sistema de manejo de residuos sólidos.

Fuente: Elaboración propia

En relación con la pregunta "¿Qué medidas podrían implementarse para reducir la generación de residuos sólidos (RS) en la institución educativa?", se identificaron diferencias significativas en las respuestas de los docentes en comparación con los demás participantes (χ^2 (3, N=53)= 16.03, $\rho \leq 0{,}001$), como se observa en la Tabla 6.

Gracias a las políticas implementadas por la administración, se ha logrado aprovechar algunos de los RS generados, como el PET y los RS, llevándolos a centros de acopio y a procesos de compostaje, respectivamente. Esto representa un primer paso hacia la meta de convertir la institución en

un plantel Basura Cero. Aunque se necesitará tiempo considerable para alcanzar este objetivo, ya se han comenzado a establecer las bases y a fomentar la conciencia ambiental entre los estudiantes encargados de estas labores.

En cuanto a la pregunta sobre reciclaje dirigida a los participantes del área administrativa, no se encontraron diferencias en sus respuestas, lo que indica un conocimiento claro sobre el tema. Esto se explica en parte por la labor del personal de mantenimiento, que se encarga de separar los RS aprovechables dentro de la institución para apoyar las campañas de acopio. Los porcentajes de respuestas afirmativas fueron: mantenimiento (29.7%), administrativo (12%), auxiliares (24.3%), y personal secretarial (13.5%).

Finalmente, es evidente que en los grandes campus universitarios, la generación significativa de RS provenientes de diversas fuentes es inevitable debido a la gran población y variedad de actividades. Por lo tanto, desarrollar e implementar un plan de Gestión Integrada de Residuos Sólidos es un desafío fundamental para estos campus, con el objetivo de promover prácticas sustentables (Bahçelioglu et al., 2020).

Tabla 6: Medidas para reducir los RS por parte de los docentes ¿Qué medidas podrían implementarse para reducir la generación de RS en la institución educativa?

Cargo que ostenta	**a**	**b**	**c**	**d**	**Total**
Director	0	0	1	0	1
Profesor de tiempo completo	8	0	9	5	22
Docente de asignatura	17	1	40	25	83
Orientador educativo	1	1	3	0	5
Total	26	2	53	30	111

a) Fomentar el uso de productos reutilizables (tazas, botellas, bolsas, etc.),

b) Reducir el consumo de papel e implementar sistemas de acopio y reciclaje,

c) Ambas opciones son viables,

d) Establecer metas de reducción de residuos y realizar seguimiento a su cumplimiento.

Fuente: Elaboración propia

Por último, en cuanto a la pregunta "¿Considera que la gestión de residuos sólidos debería formar parte de una Unidad Académica del plan curricular de los estudiantes?", la mayoría de los docentes, conscientes del problema actual, están de acuerdo en que incluir temas relacionados con la gestión de residuos sólidos en el currículo podría generar un impacto significativo en el futuro. La Tabla 8 muestra diferencias significativas en las respuestas (χ^2 (3, N=81)= 18.01, $\rho \leq 0{,}004$), destacando que la mayor proporción de docentes respondió afirmativamente, seguidos por el director y los orientadores, quienes coinciden en la necesidad de implementar una unidad

de aprendizaje dedicada a este tema en el plan de estudios de los estudiantes. De esta manera se fomentaría la educación ambiental en los alumnos, lo cual se trató de impartir por medio de pláticas y talleres.

Tabla 7: Cultura ambiental dentro de la currícula estudiantil ¿Considera que la gestión de residuos sólidos debería formar parte de la currícula de los estudiantes?

Cargo que ostenta	a	b	c	d	Total
Director	1	0	0	0	1
Profesor de tiempo completo	19	1	2	0	22
Docente de asignatura	56	15	12	0	83
Orientador educativo	5	0	0	0	5
Total	81	16	14	0	111

a) Sí, es importante que los estudiantes adquieran conocimientos sobre el manejo y

a) el impacto ambiental de los residuos sólidos,

b) No, considero que existen otras temáticas más importantes a tratar en el currículo,

c) No tengo una opinión formada al respecto,

d) Tengo otra opinión (especifique).

Fuente: Elaboración propia

3.3. Caracterización de RS en el centro educativo

Para la caracterización de los residuos, se empleó un muestreo por cuarteo con tres repeticiones semanales, considerando las siguientes categorías: PET, papel, envolturas, Tetrapak, desechables y otros. Debido a las políticas internas de la institución, la cafetería escolar gestiona sus residuos de producción por separado del resto del plantel. Los resultados indican que, en el plantel, los residuos sólidos más generados son el PET con un 45%, seguido por el papel con un 27% y otros residuos con un 13%. En contraste, en la cafetería, los residuos predominantes son los orgánicos, representando un 61%, seguido por el papel con un 18% y las envolturas con un 10%. Los demás tipos de residuos se encuentran en proporciones menores al 10% en ambos sitios de recolección. Además, el plantel participa en el programa de acopio de la UAEMex, recolectando el PET en bolsas especiales hasta su recolección por personal especializado, lo que permite aprovechar el 45% de los residuos sólidos generados. Asimismo, el personal de mantenimiento recolecta otros residuos aprovechables, como papel, cartón y latas, para su venta.

Estudios realizados en campus universitarios muestran que la cantidad promedio diaria de residuos generados por persona es de 0.59 kg/día, con un rango de 3.44 a 6.04 kg/día por cada facultad. La composición de los residuos sólidos, según los encuestados, es la siguiente: 31.6%

papel, 27.1% combinación de residuos sólidos, 16.1% residuos orgánicos, 14.2% plásticos, 3.2% residuos electrónicos, 2.6% metales, 2.6% tela, 1.3% vidrio y 1.3% madera (Amarachukwu et al., 2020).

Uno de los residuos sólidos que se generan en mayor proporción en el plantel educativo son los plásticos. Esto se debe a que el estilo de vida moderno ha incrementado los problemas relacionados con los residuos. Los productos de conveniencia suelen requerir más embalaje, y la negligencia asociada con una mayor riqueza conduce a una mayor cantidad de desechos, como se evidencia en los envoltorios desechados de los omnipresentes restaurantes de comida rápida. Además, los residuos modernos contienen una mayor proporción de materiales no degradables, como los plásticos (Desa et al., 2012). El programa de recolección de PET en el plantel ha demostrado ser muy beneficioso, ya que los fondos recaudados por la venta de PET se destinan a la adquisición o intercambio de paneles solares, lo que reduce el consumo de energía eléctrica en la institución. Además, el director escolar ha implementado varias políticas para reducir los residuos generados por los vendedores ambulantes que operan en los alrededores del plantel, logrando acuerdos para evitar el uso de plásticos de un solo uso.

En la cafetería escolar, los residuos sólidos se clasifican en las categorías de Tetrapak, PET, papel, envoltorios, desechables y residuos sólidos orgánicos (RSO). Para su caracterización, se realiza una clasificación y pesaje semanal, lo que arroja una generación total de 125 kg de residuos sólidos dentro de la producción. A través de entrevistas, se descubrió que los RSO, que representan el mayor porcentaje, se utilizan para alimentar animales de granja, mientras que el resto de los residuos son gestionados por el servicio de recolección municipal (Figura 2).

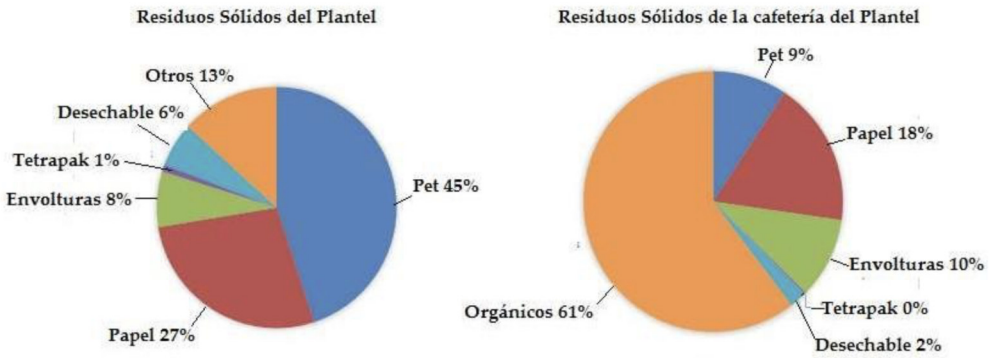


Figura 2: Percepción de término Basura Cero por parte de los alumnos

3.4. Estudio de la composta escolar

Con el apoyo de la brigada ambiental de la UAEMex y la participación de los alumnos del plantel, se elaboró composta, la cual fue sometida a un análisis fisicoquímico detallado en la Tabla 8. Para este análisis, se siguió la norma mexicana (DOF, 2007). Los resultados mostraron que el pH, la humedad, la conductividad eléctrica y la materia orgánica de la composta se encuentran dentro de

los estándares establecidos por la norma, aunque el contenido de nitrógeno (N) resultó deficiente, lo que provocó que la relación C/N excediera un valor de 20, según la norma. Es importante destacar que el seguimiento y la gestión de esta composta en el plantel están a cargo del huerto escolar, coordinado por docentes de educación ambiental y supervisada por la dirección. Los alumnos son responsables del cuidado de las hortalizas que se cultivan en el huerto, así como de la cosecha destinada al autoconsumo.

Tabla 8: Análisis de composta escolar

Parámetro	Rangos de la norma	Obtenido en composta
Humedad	De 20 a 40% (sobre materia húmeda)	24.72%
pH	De 5.5 a 8.5	8.36
Materia orgánica	De 20% a 50% (base seca)	25.38%
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS/m	0.23 dS/m
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)	0.45%
Relación C/N	≤ 20	32.78

Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

El estudio realizado en el plantel de educación media superior demostró que el entorno educativo contribuye significativamente a mejorar el conocimiento y las prácticas de gestión de residuos sólidos. Se observó que las alumnas mostraron un mayor conocimiento en comparación con los estudiantes varones, y el personal docente jugó un papel crucial en la implementación de estos conocimientos, así como en la incorporación de una unidad académica sobre el tema en la currícula. La capacitación a través de pláticas y talleres sobre reciclaje y elaboración de composta resultó efectiva y la composta fue evaluada conforme a la normativa mexicana. Los resultados subrayan la importancia de establecer programas permanentes de gestión de residuos en las instituciones educativas, involucrando activamente a toda la comunidad académica.

Referencias bibliográficas

[1] Amarachukwu, E., Evuti, A. M., Salam, K. A., & Silas, S. S. (2020). Determination of waste generation composition and optimized collection route for University of Abuja main campus using “MyRouteOnline” software. *Scientific African*, 10, e00569.

[2] Amoah, J. O., Britwum, A. O., Essaw, D. W., & Mensah, J. (2023). Solid waste management and gender dynamics: Evidence from rural Ghana. *Research in Globalization*, 6, 100111.

[3] Anuardo, R. G., Espuny, M., Costa, A. C. F., & Oliveira, O. J. (2022). Toward a cleaner and more sustainable world: A framework to develop and improve waste management through organizations, governments, and academia. *Heliyon*, 8(4).

[4] Ayeleru, O. O., Okonta, F. N., & Ntuli, F. (2018). Municipal solid waste generation and characterization in the City of Johannesburg: A pathway for the implementation of zero waste. *Waste Management*, 79, 87-97.

[5] Awasthi, A. K., Cheela, V. S., D'Adamo, I., Iacovidou, E., Islam, M. R., Johnson, M., & Li, J. (2021). Zero waste approach towards a sustainable waste management. *Resources, Environment and Sustainability*, 3, 100014.

[6] Awasthi, S. K., Sarsaiya, S., Kumar, V., Chaturvedi, P., Sindhu, R., Binod, P., ... & Awasthi, M. K. (2022). Processing of municipal solid waste resources for a circular economy in China: An overview. *Fuel*, 317, 123478.

[7] Bahçelioğlu, E., Buğdaycı, E. S., Doğan, N. B., Şimşek, N., Kaya, S. Ö., & Alp, E. (2020). Integrated solid waste management strategy of a large campus: A comprehensive study on METU campus, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121715.

[8] Cañadas, G., Batanero, C., Contreras, J. M., & Arteaga, P. (2011). Estrategias en el estudio de la asociación en tablas de contingencia por estudiantes de psicología. *Educación matemática*, 23(2), 5-31.

[9] Desa, A., Ba'yah Abd Kadir, N., & Yusooff, F. (2012). Waste education and awareness strategy: towards solid waste management (SWM) program at UKM. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 59, 47-50.

[10] Diario Oficial de la Federación (DOF). (2007). NORMA Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México, México. Recuperado de `https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5044562&fecha=10/06/2008`

[11] Emara, K. (2023). Sustainable solid waste management in rural areas: A case study of Fayoum governorate, Egypt. *Energy Nexus*, 9, 100168.

[12] Jackson, L. M. (1982). *Análisis químico de suelos* (4ta ed.). Omega.

[13] García, H., Toyo, L., Acosta, Y., Rodríguez, L., & El Zauahre, M. (2014). Percepción del manejo de residuos sólidos urbanos (fracción inorgánica) en una comunidad universitaria. *Multiciencias*, 14(3), 247-256.

[14] Rodríguez, A. V., & López, M. G. C. (2020). Basura Cero. Gestión de residuos sólidos urbanos en México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas (RICSH)*, 9(18), 130-150.

[15] Ruiz Morales, M. (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 93-97.

[16] Song, Q., Li, J., & Zeng, X. (2015). Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy. *Journal of Cleaner Production*, 104, 199-210.

[17] Yusuf, R., & Fajri, I. (2022). Differences in behavior, engagement, and environmental knowledge on waste management for science and social students through the campus program. *Heliyon*, 8(2).

[18] Zen, I. S., Subramaniam, D., Sulaiman, H., Omar, W., & Salim, M. R. (2016). Institutionalize waste minimization governance towards campus sustainability: A case study of Green Office initiatives in Universiti Teknologi Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1407-1422.

[19] Zikali, N. M., Chingoto, R. M., Utete, B., & Kunedzimwe, F. (2022). Household solid waste handling practices and recycling value for integrated solid waste management in a developing city in Zimbabwe. *Scientific African*, 16, e01150.

Lombricomposteo de los residuos orgánicos de la cafetería gourmet de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Verónica Jimena Morales Meza[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[2], Arely Areanely Cruz Salas[1], Rosa María Espinosa Valdemar[1]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Avenida San Pablo Xalpa No. 420, Col. Nueva el Rosario, C.P. 02200, Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

[2]Secretaría de la Defensa Nacional, Universidad del Ejército y Fuerza Aérea, Escuela Militar de Ingenieros.

[*]Correo electrónico: a12173075915@azc.uam.mx

Resumen

El lombricomposteo es una alternativa efectiva para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos, a fin de disminuir su impacto ambiental al garantizar que no tendrán una disposición inadecuada. Por lo anterior, una posibilidad para tratar los residuos orgánicos generados por la cafetería gourmet de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, es el lombricomposteo. Además, los residuos generados por esta cafetería son convenientes para satisfacer la alimentación de la lombriz y obtener un mejorador de suelos rico en nutrientes. En este trabajo se empleó la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), por su alta eficiencia en transformar los residuos orgánicos en lombricomposta. El tratamiento fue realizado en contenedores rectangulares de plástico con tapa y con un monitoreo constante de humedad y aireación. Se trató un total de 63.248 kg de residuos orgánicos en aproximadamente cinco meses, cada mes se incrementó la masa de residuos. Al final del proceso se caracterizó la lombricomposta, conforme a lo señalado en la NMX-180-SCFI-2018, la cual incluye parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, elementos traza, y su calidad, resultando un producto dentro de los intervalos especificados por la norma. Este tratamiento es benéfico porque ayuda a reducir la cantidad de residuos para disposición final y adicionalmente se obtiene un mejorador de suelos, por lo que es recomendable continuarlo para aprovechar también este tipo de residuos generados por la universidad.

Palabras clave: *Eisenia foetida*, *lombricomposta*, *materia orgánica*, *residuos sólidos*

1. Introducción

La Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco (UAM-A) se localiza en la alcaldía Azcapotzalco, sobre la avenida San Pablo Xalpa, colindando con el Estado de México. La UAM-A alberga una comunidad de 20,926 personas, incluyendo estudiantes de licenciatura, maestría, especialidades y doctorado, así como a docentes de tiempo completo, medio tiempo y parcial (UAM,



Figura 1: Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

2022), sin incluir la cantidad de personal administrativo y trabajadores eventuales, pues el anuario estadístico no brinda esa información.

Uno de los servicios que brinda la UAM-A a la comunidad universitaria es la venta de alimentos, este servicio se encuentra dividido en cafetería, cafetería gourmet y kioscos. La cafetería proporciona un servicio subsidiado de desayuno, comida y cena, mientras que la cafetería gourmet y los kioscos ofrecen alimentos con precios comerciales, la única diferencia es que en los kioscos los alimentos están empaquetados y en la cafetería gourmet los alimentos son preparados al momento, como ensaladas, cocteles de fruta, chapatas, hamburguesas y hot dogs.

De manera que, al ser una vasta comunidad universitaria y contar con servicios de alimentos se generan residuos orgánicos. Una estrategia eficiente para el tratamiento de dichos residuos es el lombricomposteo, es un tratamiento que mediante la participación de lombrices y microorganismos se encargan de la biooxidación y estabilización de la materia orgánica, los microorganismos degradan la materia orgánica, mientras que las lombrices se desempeñan como mezcladores mecánicos y modifican el estado físico y químico de la materia orgánica (Domínguez et al., 1997). Este proceso reduce el impacto ambiental generado por los residuos orgánicos y como resultado se obtiene un producto orgánico de calidad.

Los principales parámetros para un buen proceso de lombricomposteo son poca o nula iluminación, pH de 5.5 a 8, temperatura ideal de 25 °C, humedad del 70 al 80 % y condiciones aeróbicas, estas condiciones se alcanzan con una altura óptima de 50 cm de lombricomposta y una población de 9 a 18 kg de lombriz por m2 adecuada (SE, 2018).

Para este estudio se empleó la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), ver la Figura 1, por su alta adaptabilidad, voracidad y reproductibilidad. E. foetida es capaz de ingerir residuos orgánicos

en un 100% de su masa al día, reproducirse cada siete días y excretar el 60% en forma mejorador de suelo. Aunado a lo anterior, en condiciones óptimas de 2 a 21 lombrices pueden dar una descendencia de hasta 1,500 lombrices por año (Somarriba et al., 2004).

El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de la lombricomposta proveniente de residuos orgánicos de la cafetería gourmet de la UAM-A.

2. Metodología

Este estudio se realizó en la Planta de Composta de la UAM-A en el área destinada a la lombricomposta, durante diciembre de 2023 a abril de 2024. Se inició con una masa de 70 g de lombrices juveniles y adultas (aproximadamente 100 individuos). Las lombrices se distribuyeron en tres cajas de plástico que contaban con tapa y orificios en la parte inferior de la caja, con dimensiones de 60 x 40 x 28 cm y un volumen de 67 L, como se muestra en la Figura 2, a cada caja se le colocó una capa de aproximadamente 5 cm de composta madura la cual sirve como resguardo para las lombrices mientras se acostumbran a las nuevas condiciones de su entorno.



Figura 2: Contenedores empleados para el lombricomposteo.

Los residuos orgánicos con los que se alimentó a las lombrices fueron recolectados de la cafetería gourmet de la UAM-A (ver Figura 3), se seleccionó esta cafetería, porque a diferencia de la cafetería subsidiada la materia orgánica generada está compuesta principalmente por cáscaras de fruta, como sandía, papaya, melón, piña y de vegetales tales como: lechuga y jitomate, mientras que los residuos generados por la cafetería subsidiada están conformados mayormente por cebolla, chile, jitomate y restos de guisos. Estos residuos de la cafetería subsidiada requieren una estabilización de pH, con el fin de no afectar la supervivencia de la lombriz y aunque la calidad del mejorador de suelo depende de varios factores, el alimento es uno de los más importantes (Torrendel et al., 2008).



Figura 3: Cafetería gourmet de la UAM-A

Posteriormente, los residuos obtenidos se pesaron en una balanza marca Rhino con sensibilidad ± 0.01 g, se picaron en trozos de aproximadamente 5 cm y se homogenizaron, para ser agregados a las cajas que contenían a las lombrices con composta madura, esto se hacía aproximadamente cada 11 días. Adicionalmente, se añadió en la parte superior de la caja una capa de hojarasca, obtenida del arbolado de la universidad, con la finalidad de tener un alimento extra para las lombrices, prevenir la presencia de moscas de la fruta u otros insectos y de acuerdo con Lavelle et al. (1993) las hojas aumentan la capacidad de conservar la humedad, tal y como se presenta en la Figura 4



Figura 4: Proceso de lombricomposteo: a) alimento de las lombrices y b) capa de hojarasca

Para la aireación el contenido de las cajas se removió manualmente cada mes, es importante airear el sustrato para que la lombriz lleve a cabo sus procesos vitales (Somarriba et al., 2004). También se realizó el monitoreo de humedad, mediante la prueba del puño. Lo anterior era rea-

lizado solamente una vez por semana debido a que se trataba de disminuir la manipulación de la lombriz para no estresarla.

Después de cinco meses del tratamiento y de acuerdo con la NMX-AA-180-SCFI-2018 se llevó a cabo la caracterización del producto final estabilizado y maduro, para ello se obtuvo una muestra compuesta de las tres cajas del proceso, de acuerdo con los parámetros indicados en norma como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros fisicoquímicos caracterizados en la lombricomposta

Parámetro	**Método**	**Norma**	**Referencia**
pH	Potenciómetro	NMX-AA-25-1984	SECOFI, 1984
Conductividad eléctrica	Extracto de pH	NMX-AA-25-1984	SECOFI, 1984
Materia orgánica	Walkley y Black	NOM-RECNAT-021-2000	SEMARNAT, 2000
Carbón orgánico total	Walkley y Black	NOM-021-RECNAT-2000	SEMARNAT, 2000
Nitrógeno total	Destilación Kjeldahl	NMX-AA-24-1984	SECOFI, 1984
Fitotoxicidad	Índice de germinación	NADF-020-AMBT-2011	SEDEMA, 2012

Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas microbiológicas, por el método del Número Más Probable (NMP) y cuantificación de metales pesados (ver Tabla 2).

Tabla 2: Parámetros microbiológicos caracterizados en lombricomposta

Parámetro	**Método**	**Norma**	**Referencia**
Coliformes fecales	NMP	NOM-004-SEMARNAT-2002	SEMARNAT, 2002
Escherichia coli	NMP	NOM-004-SEMARNAT-2002	SEMARNAT, 2002
Salmonella sp.	NMP	NOM-004-SEMARNAT-2002	SEMARNAT, 2002

Continúa en la siguiente página

Tabla 2: Parámetros microbiológicos caracterizados en lombricomposta (*continuación*)

Parámetro	Método	Norma	Referencia
Huevos de helmintos	NMP	NOM-004-SEMARNAT-2002	SEMARNAT, 2002
Metales pesados: As, Cd, Cr total, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Espectrofotometría de absorción	NMX-180-SCFI-2018	SEMARNAT, 2002

Finalmente, en la Tabla 3 se presentan las diferentes pruebas realizadas para determinar el grado de la calidad del mejorador de suelo.

Tabla 3: Atributos para el grado de calidad en lombricomposta

Atributos	Método	Norma	Referencia
Material mineral extraño	Semi empírico (visual y olfato)	NMX-180-SCFI-2018	SE, 2018
Material orgánico no digerido por las lombrices	Semi empírico (visual y olfato) %	NMX-180-SCFI-2018	SE, 2018
Impurezas	Semi empírico (visual y olfato)	NMX-180-SCFI-2018	SE, 2018
Semillas viables	Semi empírico (visual y olfato)	NMX-180-SCFI-2018	SE, 2018
Lombrices vivas	Semi empírico (visual y olfato)	NMX-180-SCFI-2018	SE, 2018
Color	Semi empírico (visual y olfato)	NMX-180-SCFI-2018	SE, 2018
Olor	Semi empírico (visual y olfato)	NMX-180-SCFI-2018	SE, 2018

3. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del tratamiento de los residuos orgánicos mediante lombricomposteo que incluyen las pruebas fisicoquímicas, microbiológicas y de metales pesados.

3.1. Residuos orgánicos

Cada 11 días, durante alrededor de cinco meses, se alimentaron a las lombrices con los residuos orgánicos generados la cafetería gourmet de la UAM-A, dando un total de 63.428 kg de residuos aprovechados como se observa en la Tabla 4. Se aprecia que la masa de residuos incrementó significativamente cada mes, esto puede ser debido a un crecimiento en la población de la lombriz. Si bien, no se cuantificó la biomasa de lombriz, a simple vista se observó mayor presencia de lombrices en todas las cajas.

Tabla 4: Masa total de los residuos orgánicos suministrados a las lombrices

Fecha	Masa (kg)
15/12/2023	1.860
08/01/2024	4.228
22/01/2024	6.100
02/02/2024	6.370
14/02/2024	6.435
26/02/2024	6.035
07/03/2024	7.500
15/03/2024	5.400
19/03/2024	7.500
01/04/2024	12.000

De acuerdo con trabajadores de la cafetería gourmet se generan alrededor de 15 a 20 kg de residuos orgánicos al día, resultando aproximadamente 350 kg al mes. Por ello, durante los cinco meses del tratamiento se aprovecharon un promedio de 12.69 kg de residuos orgánicos por mes, esto corresponde al 3.62 % de residuos por mes. Además, los días en que se alimentaba a las lombrices, los residuos orgánicos que no se utilizaban se agregaban a las pilas de composta.

3.2. Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 5 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos realizados en la lombricomposta obtenida. Al comparar con la NMX-180-SCFI-2018 se observa que estos parámetros se encuentran dentro de los intervalos establecidos que debe cumplir la lombricomposta.

Tabla 5: Parámetros fisicoquímicos evaluados en la lombricomposta

Parámetro	Muestra	Referencia	Unidad
pH	7.4	5.5 a 8.53	Adimensional
Conductividad eléctrica	1.9	$\leq 4 - 1$	dS/m
Materia orgánica	38.2	20 a 50	%
Carbón orgánico total	15.3	No se indica	%
Nitrógeno total	2.3	1 a 4	%
Fitotoxicidad	112.3	No se indica	%

3.3. Parámetros microbiológicos

Conforme lo señalado en la NMX-180-SCFI-2018 la lombricomposta cumple con las especificaciones microbiológicas, tal como se presenta en la Tabla 6, en vista de que el mejorador de suelo posee un valor menor de 1000 NMP/g en base seca en coliformes fecales y *Escherichia coli* y con ausencia de *Salmonella sp.* y huevos helmintos viables.

Tabla 6: Parámetros microbiológicos evaluados en la lombricomposta

Microorganismos	Muestra	Referencia	Unidad
Coliformes fecales	46	≤ 1000	NMP/g seca
Escherichia coli	1.5	≤ 1000	NMP/g seca
Salmonella sp.	Ausente	Ausente	NMP/g seca
Huevos de helmintos viables	Ausente	1 a 4	# huevo/g seca

3.4. Metales pesados

La Tabla 7 muestra los resultados de los metales pesados presentes en la lombricomposta al final del proceso. El análisis de estos elementos traza no son requeridos para lombricomposta, no obstante, la concentración obtenida se encuentra muy por debajo del tipo I de composta, según la NMX-180-SCFI-2018. De acuerdo con dicha norma determina tres tipos de composta y la del tipo I se sugiere aplicar como reemplazo de tierra para macetas o como sustrato en viveros.

Tabla 7: Metales pesados evaluados en la lombricomposta

Metal	Muestra	Referencia	Unidad
As	<0.1	0.1	mg/kg
Cd	0.3	0.7	mg/kg
Cr_{total}	10.2	70	mg/kg
Cu	18.2	70	mg/kg
Hg	<0.1	0.4	mg/kg
Ni	1.2	25	mg/kg
Pb	3.8	45	mg/kg
Zn	98.7	200	mg/kg

3.5. Grado de calidad

La lombricomposta posee un grado de calidad segunda, en vista de que el atributo de lombrices vivas no cumple para la calidad extra y además se cumplen con los parámetros microbiológicos, conforme a lo señalado en la NMX-180-SCFI-2018 (ver Tabla 8).

Tabla 8: Grado de calidad de la lombricomposta

Atributos	Muestra	Calidad
Material mineral extraño	Ausente	Extra
Material orgánico no digerido por las lombrices	2.19%	Extra
Impurezas	Ausente	Extra
Semillas viables	Ausente	Extra
Lombrices vivas	400 en 5 L	No cumple
Color	Negro rojizo	Extra
Olor	Tierra húmeda	Extra

Conforme a los resultados obtenidos, es viable tratar una parte de los residuos orgánicos generados en la cafetería gourmet por medio de lombricomposteo y lograr un producto que cumpla con los requerimientos de la NMX-180-SCFI-2018. Si bien no se cumplió en cuanto al atributo de lombrices vivas, este parámetro se adecua dejando secar material o bien atrapando a las lombrices por medio de una red.

Por otra parte, algunas instituciones de educación superior reportan proyectos de lombricomposteo, tales como la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Universidad Iberoamericana Ciudad de México (IBERO CDMX), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) y Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X), cuyos resultados se describen a continuación. En 2013, la BUAP inició con la producción de lombricomposta, llamada VermiBUAP, marca registrada desde 2015. Reciben los residuos orgánicos donados por cerca de mil familias en tres sedes con capacidad de 60 toneladas cada tres meses y posteriormente estos residuos son precomposteados por 45 días y al cabo de tres a cuatro meses, cada cama de lombriz produce 10 toneladas de lombricomposta y así se puede comercializar tanto el lixiviado como el mejorador de suelo (BUAP, 2019).

La IBERO CDMX en 2009 comenzó con un proceso experimental de lombricomposteo de residuos orgánicos generados en una cafetería, posteriormente en el período de 2019 a 2021 se inició con la operación de una planta de lombricomposteo para aprovechar 9 m^3 de residuos orgánicos y obtener cada tres meses 260 kg de lombricomposta (IBERO, 2022).

La UABCS alrededor de 2012 empezó con el lombricomposteo y para el año 2022 llevo a cabo la construcción de un nuevo lombricario con el objetivo de duplicar su producción, esperando conseguir 18 a 20 toneladas de lombricomposta cada seis meses. La universidad realiza un precomposteo a los residuos orgánicos, la lombricomposta y lixiviado son utilizados en la universidad y lo que sobra es vendido (UABCS, 2022).

En mayo del 2015 la UAM-X inauguró un centro de lombricomposteo con el objetivo de producir de 15 a 17 toneladas de lombricomposta por proceso, para mejorar el suelo de “Las Ánimas” (UAM, 2015). La UAM-X a su vez cuenta con tres lombricomposteros, el alimento proporcionado a las lombrices es precomposteado y se comercializan los productos logrados por el lombricomposteo (UAM-X, 2017). Lo anterior descrito, refleja que el lombricomposteo es una buena alternativa para el tratamiento de residuos orgánicos y específicamente en instituciones educativas existe la posibilidad de realizar actividades de investigación, tesis o vinculación.

4. Conclusiones

En el presente trabajo se mostró que es viable aprovechar los residuos orgánicos generados por la cafetería gourmet de la UAM-A, pues en un periodo aproximado de cinco meses se emplearon 63.248 kg de residuos que representan el 3.62%, de los 350 kg que se generan mensualmente, lo que indica que es posible llevar el lombricomposteo a una mayor escala, pues hay suficientes residuos orgánicos para alimentar a las lombrices. Además, la evaluación de los diferentes parámetros de la lombricomposta, conforme a la NMX-180-SCFI-2018, se encontró dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la norma y con un grado de calidad segunda.

Aunque los residuos generados por la cafetería gourmet pueden ser tratados en la planta de composta de la UAM-A, el lombricomposteo ofrece ciertas ventajas adicionales a la UAM-A, como tener pequeños contendores que pueden instalarse cerca de la cafetería, para evitar el traslado

de los residuos a la planta y la ventaja más importante es que la lombricomposta es un producto de mayor calidad que la composta y finalmente este proceso también ayuda a la docencia y a la investigación, a través de proyectos demostrativos para conocer el proceso.

Se recomienda realizar un monitoreo constante en los parámetros evaluados, con el fin de evaluar sí se tiene un mejorador de suelo dentro de la norma y así disponer de una población de lombriz en ascenso y proporcionar una mayor masa de residuos orgánicos al lombricomposteo. De igual manera, se recomienda hacer una cuantificación de lombriz, ya sea en número de individuos masa de la población total, para tener un monitoreo sobre la población con el tiempo y en medida de los posible capturar el lixiviado de lombriz, con el propósito de aprovechar otro producto del lombricomposteo.

Referencias bibliográficas

[1] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). (2019). VermiBUAP: Tecnología e innovación para el manejo de residuos orgánicos. Boletines BUAP. Recuperado de https://www.boletin.buap.mx/node/1331

[2] Domínguez, J., Edwards, C. A., & Subler, S. (1997). A comparison of composting and vermicomposting. *Biocycle*, 4, 57-59.

[3] Universidad Iberoamericana Ciudad de México (IBERO). (2022). Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Iberoamericana Ciudad de México. Recuperado de https://sustentable.ibero.mx/assets/documentos/sma/plan-de-manejo-residuos-ibero-cdmx2022.pdf

[4] Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., & Spain, A. (1993). A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: Application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25(2), 130-150.

[5] Secretaría de Economía (SE). (2018). Norma Mexicana NMX-180-SCFI-2018. Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Diario Oficial de la Federación, México.

[6] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). (1984a). NMX-AA-24-1984: Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales – Determinación de nitrógeno total. Diario Oficial de la Federación, México.

[7] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). (1984b). NMX-AA-25-1984: Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos sólidos – Determinación del pH – Método potenciométrico. Diario Oficial de la Federación, México.

[8] Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). (2012). NADF-020-AMBT-2011: Que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal, México.

[9] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2000). NOM-021-RECNAT-2000: Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, México.

[10] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). NOM-004-SEMARNAT-2002: Protección ambiental – Lodos y biosólidos – Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario Oficial de la Federación, México.

[11] Somarriba Reyes, R. J., & Guzmán Guillén, T. (2004). *Guía de lombricultura*. Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.

[12] Torrendel, M., Useta, G., & Pelerino, F. (2008). La yerba no es basura: Lombricultura y producción de lombricompost a partir de residuos de yerba mate en Uruguay. *INNOTEC*, 3, 35-39.

[13] Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). (2022). Construyen nuevo lombricario para duplicar producción de composta orgánica. Recuperado de https://www.uabcs.mx/ddceu/articulo/202

[14] Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). (2015). Inauguran centro de lombricomposta de la UAM. Boletines UAM. Recuperado de https://www.comunicacionsocial.uam.mx/boletinesuam/172-15.html

[15] Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). (2022). Anuario Estadístico de la Universidad Autónoma Metropolitana. Recuperado de https://transparencia.uam.mx/inforganos/anuarios/anuario2022/Anuario_Estadistico_UAM_2022.pdf

[16] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). (2017). Las Ánimas: Un espacio de servicio. *Enlaces Xochimilco*, 1(3), 101-108. Recuperado de https://enlacesx.xoc.uam.mx/wp-content/uploads/2022/11/dossier_17I-1.pdf

Aprovechamiento de los residuos generados en el mantenimiento de extintores de polvo químico seco

Xiomara Giselle Valdez Gómez[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[1], Perla Xochitl Sotelo Navarro[2]

[1]Escuela Militar de Ingeniería. Av. Industria Militar 261 Lomas de San Isidro, Miguel Hidalgo, 53960, Naucalpan de Juárez, CDMX, México.

[2]Universidad Autónoma Metropolitana. Av. San Pablo No. 420, Col. Nueva el Rosario, C.P. 02128, Alcaldía Azcapotzalco, CDMX, México.

[*]Correo electrónico: perlaso@azc.uam.mx

Resumen

El residuo de polvo químico seco (PQS) que se genera en el mantenimiento de los extintores, compuesto principalmente por fosfatos de amonio, representa un desafío ambiental debido a su inadecuada gestión y potencial impacto negativo en la salud y el ambiente. Esta investigación propuso la transformación de los residuos de PQS en un fertilizante. Se desarrollaron tres tratamientos; composteo, una patente y digestión básica. Una vez obtenidos los fertilizantes se llevaron a cabo pruebas de fitotoxicidad utilizando semillas de pasto comercial, en una incubadora de plantas durante 14 días. Utilizando luz artificial y controlando la humedad. Al final de la experimentación se determinó la altura de las plantas, el largo de las raíces y la biomasa seca a 105 °C de todos los tratamientos. Cada tratamiento produjo un fertilizante con características únicas, pero todos ellos demostraron ser eficaces para enriquecer el suelo y mejorar el crecimiento de las plantas. El análisis de los fertilizantes obtenidos reveló que el composteo produjo un fertilizante rico en materia orgánica y microorganismos benéficos, mientras que la digestión básica resultó en un fertilizante con alto contenido de potasio. El método de la patente produjo un fertilizante que superó a un fertilizante comercial en pruebas de crecimiento de plantas. Esta investigación no solo aborda el problema de la gestión de residuos de PQS, sino que también ofrece una alternativa ecológica y económicamente viable para la producción de fertilizantes, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y que puede ser aplicada en las áreas verdes y cultivos.

Palabras clave: *composteo*, *digestión básica*, *fertilizante*, *patente*

1. Introducción

Los extintores tienen una gran relevancia en el plan de protección contra incendios en los centros de trabajo. La magnitud de los daños causados por un incendio en un determinado lugar depende en gran parte de la efectividad de estos equipos, por lo que es importante que estén apropiada-

mente adaptados a los agentes que van a extinguir, su ubicación, señalización y mantenimiento (Barcera, 2016).

Existen diferentes tipos de extintores según su agente extintor, los extintores tienen internamente dos factores que ayudan a mitigar el fuego los cuales son: un agente extinguidor y un agente expulsor. El extintor que más comúnmente es empleado en cualquier edificio, centro de trabajo, centro comercial o viviendas es el extintor de polvo químico seco (PQS), ya que al ser de polvo previene el riesgo eléctrico. Estos extintores funcionan formando una capa que en presencia de calor se funde creando una barrera entre el oxígeno y el material combustible (Ayala, 2018).

Hoy en día la existencia de los distintos tipos de extintores crea la necesidad de diferentes manejos en los residuos que estos generan al realizarse su mantenimiento, y debe tenerse especial cuidado en el mantenimiento de los extintores de PQS debido a que los polvos químicos generan efectos adversos a la salud y al ambiente cuando son mal dispuestos. En una investigación desarrollada en los locales de mantenimiento y recarga de extintores en la ciudad de Machala provincia del Oro, Ecuador en noviembre de 2016, se determinó que debido a una inadecuada gestión en los residuos de extintores de PQS se generaron enfermedades graves en los trabajadores reportándose casos de faringitis-laringitis en un 32%, enfermedades cutáneas en un 30%, rinitis en un 19%, y problemas oculares en un 19%. Esto representa una preocupación significativa al trabajar con una gestión deficiente de los desechos de extintores (Monserrate Valarezo, 2016).

Con el fin de mitigar el impacto ambiental que se genera, así como disminuir las problemáticas de salud de los trabajadores en los centros de recarga de extintores de han desarrollado investigaciones que permitan obtener productos de valor agregado a partir de los residuos generados.

Un tratamiento empleado para obtener fertilizante hidrófilos a partir de los residuos de polvo químico seco realizado por Ishida en el año 2012 consistió en añadirles soluciones químicas acuosas a los residuos tales como potasa cáustica, amoniaco y tensoactivos con el fin de obtener nitrógeno y fósforo, sin embargo, este proceso necesita de secado el cual consume mucha energía y lo vuelve costoso, otra problemática que presenta este tipo de fertilizantes es que no funcionan como fertilizantes típicos y se le debe de asignar el estatus de fertilizante especial por lo que no son bien comercializables (Nwoba, EG y Moheimani, 2022).

En el año 2021, en Lima Perú, la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, realizó un trabajo de investigación que tenía como finalidad demostrar la factibilidad del reciclaje del polvo químico seco para obtener nutrientes del suelo, en la que se logró obtener a partir de una muestra de 80 gramos de polvo químico seco, utilizando el método de vanadato de amonio, el 69.5% de fosfato de amonio (NH4)H2PO4 en estado líquido, que es uno de los fertilizantes más utilizados en el mundo (Jayo, 2021).

Una característica destacable del polvo químico es su tamaño de partícula (20 µm), la cual le permite interponerse entre los radicales libres, con lo que se inhibe las reacciones en cadena necesarias para que se siga realizando la combustión (Prada, 2009).

Sin embargo, una de las problemáticas que presentan estos extintores es su volatilidad y su hidrofobicidad. Con la finalidad de superar los problemas de hidrofobicidad/humectabilidad en

el año 2022 Nwoba, y Moheimani, realizaron una investigación para determinar el mejor solvente que sea de bajo costo y se encuentre disponible con facilidad para hidrofilizar los desechos.

Para obtener un producto de valor agregado a partir de los residuos de polvos químicos del extintor, se han realizado con anterioridad diferentes propuestas para utilizar sus propiedades potencialmente fertilizantes para que a partir de ellas estos puedan transformarse en abono agrícola, que me mejore la calidad del sustrato o suelo y mitigue el impacto ambiental que se genera. Por ejemplo, el informe CZ117010 (XP0023445092) el cual describe un método para lograr transformar los residuos de los polvos químicos. Este proceso implica la combinación de citados polvos con sustancias viscosas y líquidas provenientes de la destilación o residuos de malezas originadas a partir del ácido cítrico, al cual se le añaden microelementos complementarios con el fin de mejorar el fertilizante resultante y obtener efectos agronómicos satisfactorios (Cassan, 2004).

Lo anterior permite vislumbrar la posibilidad de obtener un fertilizante a partir de los residuos de PQS y su combinación con algunos elementos que le permitan tener características similares a las de un fertilizante comercial. Por lo que este trabajo tuvo como objetivo obtener un producto de valor agregado a partir de los residuos generados por el mantenimiento y recarga de los extintores de PQS que contribuya a minimizar el impacto ambiental.

2. Metodología

En la Figura 1 se presentan las siete etapas que se siguieron en el este trabajo. Las cuales consistieron en la obtención de la muestra, un análisis fisicoquímico, tres tratamientos realizados, la aplicación de las mezclas de suelo, realización de prueba de fitotoxicidad y de crecimiento.

2.1. Obtención de muestra

Se obtuvo una muestra de 5 kg de PQS caducado durante el mantenimiento de extintores realizado en el Taller de Mantenimiento y Recarga de extintores.

2.2. Determinación de contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el PQS

Con la finalidad de que el PQS pueda ser empleado como una materia prima, se determinaron las características fisicoquímicas del PQS mediante un análisis de contenido de nitrógeno (método Kjeldahl), fósforo (kit HANNA) y potasio (absorción atómica).

2.3. Tratamientos al PQS

Se realizaron 3 tratamientos con el fin de obtener fertilizante sólido a partir del residuo caducado del mantenimiento de extintores.

El tratamiento 1 (T1) consistió en un proceso de composteo para el cuál se utilizó una muestra de 10 g de PQS a la cual se le añadieron 5 g de azúcar, 100 g de composta madura la cual se obtuvo

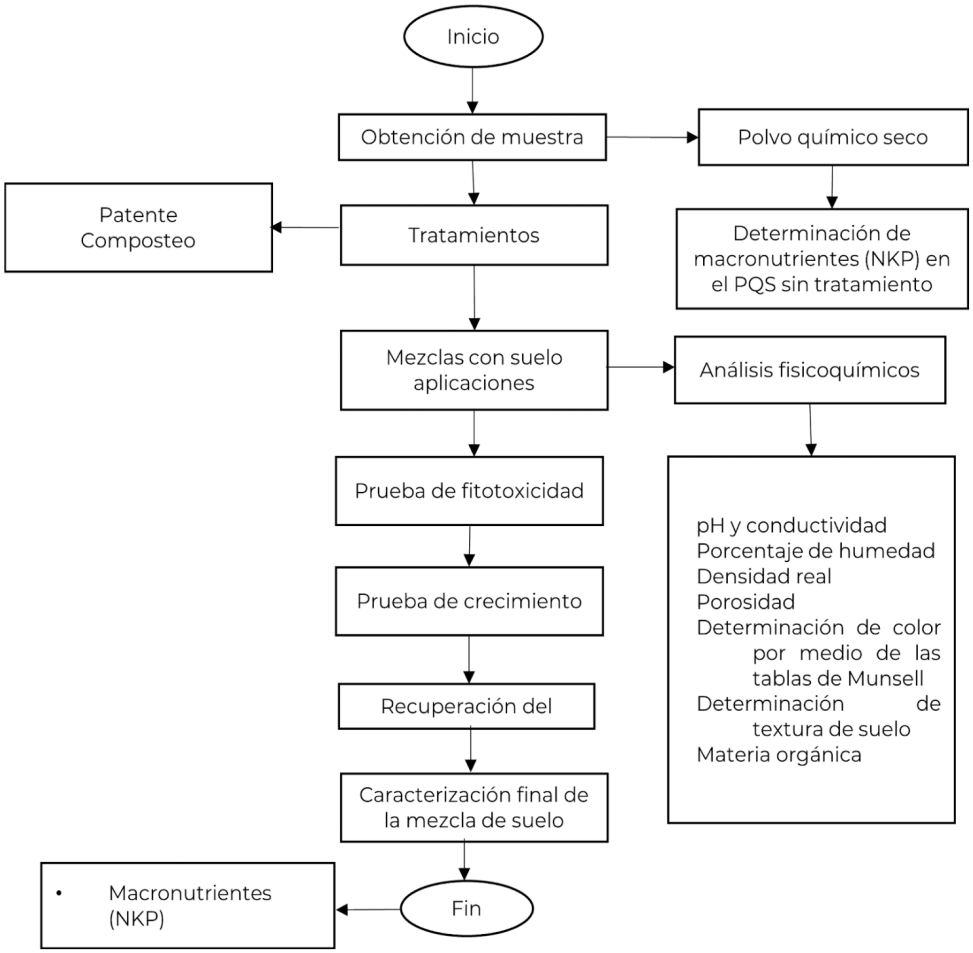


Figura 1: Desarrollo general del trabajo

de la planta de composta de la Universidad Autónoma Metropolitana, 5 g de frutas y verduras frescas y 120 mL de agua. Se realizó la prueba por cuatriplicado. En un matraz Erlenmeyer de 500mL. Estos matraces se colocaron en dos baños maría por 21 días, a una temperatura de 37 °C. Una vez por semana se realizó un volteo manual, realizado un total de 3 veces durante el proceso. Terminado el tiempo de composteo el producto obtenido se sometió a secado al aire libre.

Para el tratamiento 2 (T2) se realizó el procedimiento de la patente número 2288417 titulada "procedimiento para obtener un fertilizante sólido a partir de carga de extintor caducada", elaborada en España y publicada en el año 2009. El procedimiento consta de 4 etapas la primera consistió en adicionar los reactivos necesarios a la muestra de PQS obtenida, en la segunda se realizó una insuflación a 900 °C, posteriormente se pasó por una criba, para finalmente dejarlo enfriar.

Finalmente, el tercer tratamiento (T3) constó de tres etapas la primera es la obtención y preparación de la mezcla, la segunda en un proceso de agitación y la tercera en un proceso de secado a temperatura controlada. Con la finalidad de garantizar la mayor homogeneidad posible entre los

reactivos se realizó un proceso de agitación por 6 h en el cual se logró integrar en un 95% el PQS a la disolución de hidróxido de sodio.

2.4. Prueba de fitotoxicidad y crecimiento de plantas terrestres y de alargamiento radicular

Se llevo a cabo la prueba de fitotoxicidad de cuerdo a la NADF-020-AMBT-2011, la cual consiste en realizar una estimación del porcentaje de semillas pertenecientes a un lote que estén vivas las cuales podrán desarrollarse para convertirse en plantas, mismas que podrán reproducirse si se siembran en las condiciones apropiadas de campo. Esta prueba constó de cuatro etapas, la primera es la preparación del suelo con el fertilizante, la segunda el montaje de la prueba en un ambiente controlado, la tercera en la determinación del porcentaje de germinación (PGR) y del crecimiento radicular (CRR) para finalmente realizar la última etapa para el cálculo de índice de germinación (IG). Se realizó una suspensión de 1:5 de cada tipo de suelo obtenido con agua destilada la cual se agito durante 20 min. La prueba se realiza por triplicado en cajas Petri a la cual se le coloco un filtro Whatman No. 40, y a cada una de ellas se le distribuyeron 10 semillas de pasto. Se añadió 4mL de la suspensión a las cajas Petri con semillas y adicionalmente se realizó un testigo a la cual se le agregaron 4 mL de agua desionizada en la caja Petri con semillas, se dejaron las cajas a temperatura ambiente por 4 días, para observar su germinación.

Por otro lado, en la prueba de crecimiento de plantas terrestres la fitotoxicidad por lo general señala respuestas adversas en las plantas, ocasionada por contacto a alguna sustancia tóxica. Los contaminantes en algunas clases de plantes pueden formar una película hidrofóbica en la raíz, lo que evita la entrada de agua, lo que las vuelve vulnerables a sustancias toxicas y genera un estrés hídrico en etapas de su crecimiento, lo que conlleva a efectos negativos en parámetros biométricos. Este método es empleado para medir la fitotoxicidad mediante el desarrollo de plantas. De acuerdo con la norma ISO 11269-1, 1994 los pastos en comparación con los árboles y arbustos tienen características de crecimiento rápido, lo que los convierte en una excelente alternativa para medir parámetros biométricos, así como ideales para realizar evaluaciones de respuesta tóxica. La prueba se realizó con una mezcla la cual consiste en 29 g de suelo al cual se le añadió 1 g de cada uno de los fertilizantes obtenidos en los diferentes tratamientos, se realiza además una mezcla de suelo con PQS sin tratar y una de suelo testigo, además de una prueba con un fertilizante comercial, a cada mezcla se le 1g de semillas de pasto (Figura 2).

La prueba se realizó en una cámara ambiental duodécupla con condiciones de luz y ventilación controladas, por el termino de 21 días, esta etapa se dividió en dos partes la primera abarcó hasta la germinación de las semillas, donde la cámara permaneció sin luz ultravioleta adicional y con las ventilas cerradas para evitar perdida de humedad, se le agregó 2mL de agua al día, la segunda etapa inició después de 3 días posterior a la germinación de las semillas de pasto donde recibieron 9 h de luz ultravioleta por día por el termino de 15 días, en esta etapa debido a las nece-

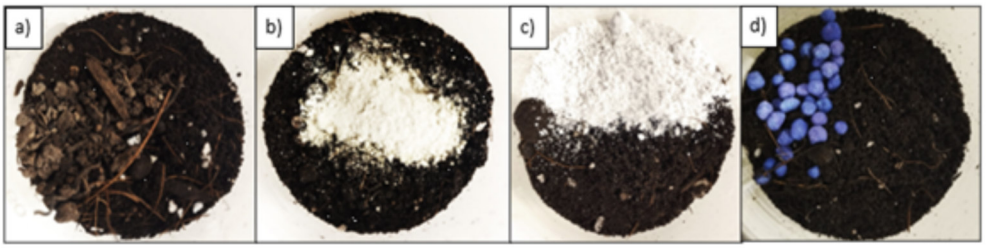


Figura 2: Mezclas de suelo. a) suelo con fertilizante obtenido por composteo, b) suelo con fertilizante obtenido por digestión básica, C) suelo con fertilizante obtenido mediante proceso de patente, d) suelo con fertilizante comercial

sidades de humedad adicionales del pasto se le agregó 1 mL de agua adicional por día, las ventilas permanecieron abiertas (Figura 3).

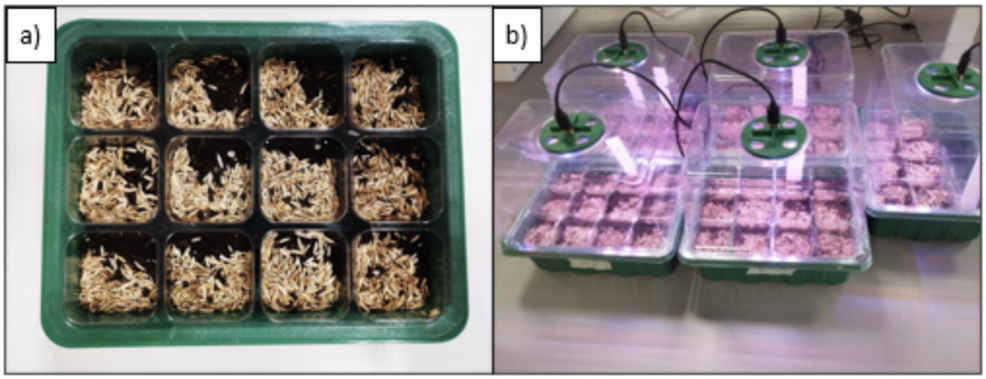


Figura 3: Montaje de la prueba de crecimiento de plantas

Finalmente, a los 15 días a partir de la germinación culminó la prueba y se realizó la medición de crecimiento, biomasa, longitud de tallo y raíz. Para realizar la prueba de biomasa en peso seco, se secó el tejido obtenido de cada tipo de suelo a 70 °C en estufa por 24 horas y se realizó el pesado.

2.5. Análisis estadístico de los resultados de la prueba de crecimiento de plantas terrestres y de alargamiento

Para determinar si existen diferencias significativas con respecto a cada uno de los tratamientos se llevó a cabo un análisis estadístico se utilizó el software STATGRAPHICS Centurion, se realizó un análisis de varianza ANOVA simple para cada uno de los resultados obtenidos, crecimiento de la parte aérea, raíz y biomasa. Las tres pruebas realizas arrojaron diferencias significativas en las medias de cada uno de los valores obtenidos entre tratamientos por lo que se realizó una prueba de múltiples rangos para determinar las diferencias entre los resultados obtenidos comparando los tratamientos. El programa utiliza el método para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0 % al

decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

2.6. Pruebas de fitotoxicidad y crecimiento de plantas

Se realizaron pruebas de fitotoxicidad y crecimiento de plantas conforme a la norma NADF-020-AMBT-2011. Los resultados de la prueba de fitotoxicidad se presentan en la Tabla **??**, donde el índice de germinación (IG) indica la eficacia de los fertilizantes para promover el crecimiento de semillas.

3. Resultados y discusión

Se describen los resultados de la caracterización inicial del PQS sin tratar, así como la caracterización de los fertilizantes obtenidos, de la prueba de fitotoxicidad y de la prueba de crecimiento de plantas terrestres y de alargamiento radicular, así como la comparación con el fertilizante comercial en cada una de las pruebas realizadas.

3.1. Obtención del polvo químico seco

Como se mencionó anteriormente durante la recarga de los extintores realizado en el Taller de Mantenimiento y Recarga de extintores se desecha el PQS por lo que este se encuentra disponible para su uso para este caso se obtuvo una muestra de 5 kg de PQS caducado.

3.2. Determinación de contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el PQS

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las pruebas de macronutrientes realizada al PQS sin tratar, en la cual se puede observar que es rico en nitrógeno y en potasio elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. El fósforo se encontró en un nivel cualitativo medio, uno de los beneficios que presenta la planta al tener cantidades adecuadas de fósforo es la producción de nuevas raíces, sin embargo, si existe una deficiencia de este elemento es las hojas presentan dificultades en su crecimiento, así como en su número (Gonzáles et al., 2020).

Tabla 1: Resultados del análisis de macronutrientes del PQS sin tratar.

Muestra	Nitrógeno (%NT)	Potasio (mg K/kg suelo)
Polvo químico seco	95.8 ± 2.8	43193.45

3.3. Tratamientos al PQS

Al finalizar los tratamientos se obtuvieron tres fertilizantes los cuales presentan las características que se describen en la Tabla 2. En general los tratamientos 2 y 3 no modificaron las características

del PQS, sin embargo, el T1 ya no deja percibir el PQS ya que se tornó una consistencia más semejante a una composta.

Tabla 2: Observaciones de los fertilizantes obtenidos.

Tratamiento	Observaciones	Imagen
T1 - Composteo	Aspecto terroso, inodoro, color café oscuro	
T2 - Patente	Color blanquecino, polvoriento	
T3 - Digestión básica	Verde tenue, polvoriento, menos volátil	

3.4. Prueba de fitotoxicidad y crecimiento de plantas terrestres y de alargamiento radicular

La prueba de fitotoxicidad indica la presencia de sustancias que afectan negativamente a la planta durante su desarrollo. De acuerdo con la NOM-180 SCFI2018 el valor del IG $\geq 80\,\%$, como puede observarse en la tabla 18 el suelo con fertilizante comercial añadido y el suelo al cual se le realizó el tratamiento de digestión básica se encuentran fuera de del rango establecido por la norma (Tabla 3).

En la Tabla 4 se presentan los datos obtenidos de la prueba de crecimiento de plantas terrestres y alargamiento radicular en la cual se determina que el suelo con el tratamiento realizado por medio de la patente es el que obtuvo los mejores resultados de crecimiento de raíz, tallo y biomasa,

Tabla 3: Resultados de la prueba de fitotoxicidad.

Muestra	No. semillas germinadas	PGR	CRR (mm)	IG (%)
PQS	6	80.95	139.2	112.6
T1	6	80.35	135.2	108.6
T2	4	61.90	208.3	128.9
T3	5	76.19	78.1	59.5
Fertilizante comercial	5	71.43	57.2	40.8

seguido del suelo con el tratamiento de composta. El suelo con el fertilizante comercial es el que obtuvo los menores resultados.

Tabla 4: Resultados de la prueba de crecimiento de plantas terrestres y alargamiento radicular.

Muestra	Crecimiento de raíz (cm)	Crecimiento aéreo (cm)	Biomasa (g)
Suelo testigo	7.44 ± 0.67	19.62 ± 1.65	3.69 ± 0.60
PQS	3.18 ± 1.12	18.09 ± 2.04	1.45 ± 0.77
Composteo	7.04 ± 1.40	18.39 ± 5.22	4.28 ± 0.86
Patente	9.08 ± 1.42	20.41 ± 1.81	3.93 ± 0.46
Digestión básica	3.48 ± 0.96	15.68 ± 2.18	1.99 ± 0.68
Fertilizante comercial	1.63 ± 0.69	10.82 ± 3.28	0.53 ± 0.32

3.5. Análisis estadístico de los resultados de la prueba de crecimiento de plantas terrestres y de alargamiento

Los resultados obtenidos del análisis estadístico en STATGRAPHICS para los valores de biomasa de los diferentes tratamientos se obtuvieron 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, lo cual indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El T1 obtuvo los mejores resultados de biomasa, seguido por el T2, el fertilizante comercial obtuvo el menor valor.

En los resultados del análisis del crecimiento de raíz se identificaron 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. El T1 y el suelo testigo tienen el mismo comportamiento, el T2 es el que obtuvo los mejores resultados. En el crecimiento de la parte aérea el mejor resultado lo obtuvo con T3.

Con los resultados obtenidos se determina que los mejores resultados obtenidos fueron los del T1 y T2 lo que se puede interpretar como que ambos son buenos mientras que unos son de mayor altura, los pastos obtenidos mediante el T1 son de mejor grosor y por lo tanto contiene una cantidad mayor de biomasa.

4. Conclusiones

En el presente estudio se demostró con éxito la viabilidad del aprovechamiento de los residuos de PQS obtenidos en el mantenimiento de extintores, obteniendo un producto de valor agregado, en este caso un mejorador de suelo. Este logro no solo aborda el problema de la gestión inadecuada de este tipo de residuos, sino que también ofrece una solución sostenible que puede ser aplicada en las áreas verdes y cultivos.

Los resultados de este estudio confirman que es posible transformar los residuos de polvo químico seco (PQS) generados en el mantenimiento y recarga de extintores, en un mejorador de suelo de valor agregado que mejora la calidad del suelo.

El análisis de macronutrientes mostró que el fertilizante obtenido por el T1 presentó los niveles más altos de nitrógeno, fósforo y potasio, comparables a los del fertilizante comercial. El fertilizante obtenido mediante el tratamiento de patente mostró los mejores resultados en crecimiento de raíz (9.08 cm), tallo (20.41 cm) y biomasa (3.93 g), seguido por el fertilizante obtenido por composteo. El fertilizante comercial tuvo los resultados más bajos en las tres categorías (1.63 cm, 10.82 cm y 0.53 g, respectivamente). Sin embargo, en la prueba de fitotoxicidad, el suelo con fertilizante comercial y el suelo tratado por digestión básica presentaron un índice de germinación (IG) inferior al 80 %, el valor mínimo establecido por la norma NMX-180-SCFI-2018.

La transformación del PQS en fertilizante no solo reduce la cantidad de residuos que se envían a vertederos, sino que también proporciona un producto valioso para la agricultura, contribuyendo a la mejora de la calidad del suelo y al crecimiento de las plantas. Por lo tanto, este estudio no solo valida la hipótesis inicial, sino que también abre nuevas perspectivas para la valorización de residuos y el desarrollo de soluciones sostenibles en la agricultura.

Referencias bibliográficas

[1] Ayala Toapanta, V. E., & Loachamín Suquillo, C. M. (2018). *Diseño y construcción de una máquina semiautomática portátil para recargar extintores de PQS (polvo químico seco) desde 1 kg hasta 45 kg* (Bachelor's thesis).

[2] Barcena, S. L. (2016). Díptico Divulgativo: Uso y manejo de extintores portátiles agente-clase de fuego.

[3] Cassan, H. (2004). ES2330354T3 - Procedimiento de tratamiento de residuos de polvos de extintor y abono obtenido a partir de tal procedimiento. Google Patents. https://patents.google.com/patent/ES2330354T3/es?q=(A62D1%2f0014)

[4] González, M., Ríos, D., Peña Rojas, K., García, E., Acevedo, M., Cartes, E., & Sánchez Olate, M. (2020). Efecto de la concentración de fósforo y calcio sobre atributos morfo-fisiológicos y po-

tencial de crecimiento radical en plantas de Aextoxicon punctatum producidas a raíz cubierta en la etapa de endurecimiento. *Bosque (Valdivia)*, 41(2), 137–146.

[5] Ishida, T. (2012). Método de hidrofilización de polvo extintor de residuos químicos y fertilizante obtenido por el método. Patentes Japonesas.

[6] Jayo Espino, L. A. (2021). Reciclaje del polvo químico residual de la recarga de los extintores de la Empresa Alpecorp SA para obtener nutrientes de suelos Lima – 2021.

[7] Monserrate Valarezo, J. A. (2016). Evaluación de los impactos ambientales que se generan en el mantenimiento y recarga de extintores (Master's thesis, Universidad de Guayaquil: Facultad de Arquitectura y Urbanismo).

[8] Nwoba, E. G., & Moheimani, N. R. (2022). Microalgae-based circular economy approach to upcycle fire extinguisher powder waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106210.

[9] Prada, P. A. (2009). Química aplicada a la seguridad: agentes extintores de fuego. *Anales de Química de la RSEQ*, (3), 213–220.

Reciclaje en la colonia San José Río Verde en Guadalajara, Jalisco, México como actividad económica sustentable

Coral Berenice Martínez Pantoja[1*]

[1]Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad de Guadalajara

[*]Correo electrónico: coral.martinez@alumnos.udg.mx

Resumen
Este artículo tiene como finalidad analizar la experiencia de varias familias de la colonia San José Río Verde, ubicada en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, respecto a la dinámica del trabajo y el reciclaje. Para lograrlo y para realizar una observación precisa que siga una metodología apropiada, se retoman varias investigaciones provenientes de las áreas de economía, política de la basura y reciclaje, con la finalidad de comparar los postulados y conceptos ahí expuestos con la situación de los colonos de San José Río Verde y, en consecuencia, observar cuál es su estado actual y analizar sus causas y proyecciones. Por otro lado, la metodología empleada es la estadística cuantitativa en cuanto a las ganancias sociales, monetarias y ambientales de la comunidad estudiada obtenidas a partir del instrumento de la entrevista que se realizó para el presente estudio.
En el análisis, se pretendió observar cuáles son ideas que los colonos tienen respecto al reciclaje, así como qué actividades llevan a cabo al respecto y cuál podría ser su impacto. Tras realizar esta actividad, se advirtió que los recolectores de la colonia mencionada hacen una consistente recolección de materiales como PET, plástico, metal y cartón, con la finalidad de contribuir a la mejora de su medio ambiente, lo cual se refleja en el objetivo número 12 de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030 presentada por la ONU, pero también con intenciones enfocadas en el mejoramiento de su situación económica. A pesar de que algunas personas pueden utilizar este último criterio como su motivador principal para llevar a cabo la recolección, se presenta el factor positivo del impacto en el ambiente como una consecuencia directa, sin importar si esta era parte de la intención original de los recolectores o no.

Palabras clave: *Reciclaje*, *Economía política*, *Economía circular*, *San José Río Verde*, *Sociología*

1. Introducción

El medio ambiente es un conjunto de componentes biológicos, físicos y químicos naturales, los cuales están ligados a la vida del ser humano, pues estos proporcionan las condiciones idóneas para el desarrollo de la especie. La relevancia del medio ambiente recae en la necesidad de su adecuada conservación, pues en los recursos se encuentran múltiples factores con los cuales los seres vivos interactuamos en el día a día y, en múltiples casos, también se trata de elementos de

los cuales dependemos para realizar ciertas actividades o, incluso, para cumplir con funciones esenciales de la vida. A pesar de que estos recursos perduran hasta el día de hoy desde hace siglos, las condiciones actuales demuestran que estos pueden ser finitos, prueba de ello son fenómenos como los desastres naturales, los cambios de temperatura, las sequías, la extinción de especies, etcétera.

Entre los varios factores que causan un deterioro en la atmósfera, se encuentra la contaminación, la cual es de los más relevantes y consiste en el despojo de residuos en masa en ubicaciones no adecuadas, lo que representa una problemática severa que tiene consecuencias importantes en el ambiente. Se subdivide en diversos tipos: contaminación atmosférica, es decir, del aire, (combustibles fósiles, incendios, quema de basuras, gases provenientes de fábricas y agricultura y ganadería intensiva); contaminación hídrica, del agua, (plaguicidas y vertidos industriales); contaminación acústica (ruido excesivo); contaminación lumínica (luces artificiales); contaminación visual (vallas publicitarias); contaminación térmica (aumento de temperatura) y contaminación del suelo (sustancias nocivas, elementos ajenos a este). El presente trabajo se enfoca en este último.

El reciclaje surge con el propósito de ser una actividad enfocada en reparar el desgaste en el medio ambiente ocasionado por la contaminación de desechos, así como en la prevención hasta cierto nivel de esta problemática, con acciones como la concientización y la muestra de posibles efectos negativos. El reciclaje es un proceso de recolección, separación y transformación de materiales que aparentemente son basura pero que podrían ser aprovechados nuevamente para generar un nuevo producto, lo cual alarga su vida útil y deriva en múltiples funciones, adicionales a las concebidas originalmente. La prolongación de la utilidad de estos materiales provoca que su desecho tarde más en llegar o que, incluso, pueda existir una conversión en nuevos objetos para otros usos. El impacto del reciclaje, es decir, el reúso de los residuos, en la colonia de san José Río Verde se ha analizado a consciencia desde los años setenta, destacando las siguientes características generales (Cervantes Niño, et al. 2012):

(a) *Sobre el origen y las particularidades sociales y económicas, así como del entorno de los recolectores*. Los recolectores de materiales en Guadalajara, Jalisco, son, en mayoría, hombres provenientes de zonas agrarias con instrucción de nivel básico y presentan un rango de edad de entre los 30 y los 60 años. Los pepenadores generan ganancias monetarias pequeñas a través del comercio de sus recolecciones, con la finalidad de solventar necesidades básicas, pues el motivador principal para llevar a cabo esta actividad es el económico.

(b) *Sobre la jornada laboral de la niñez*. La recolección de materiales también se presenta en las infancias, pues el trabajo de los pequeños se integra al ingreso familiar, a pesar de que esto implique que no se está acatando el mandato de la prohibición del trabajo en la niñez.

(c) *Sobre los contextos de existencia y laboral*. Los pepenadores viven en zonas con una tasa de pobreza alta, dentro de casas pequeñas edificadas con materiales débiles, tales como plástico, cartón o madera. Además de ello, no cuentan con una infraestructura ideal ni con ningún apoyo por

parte del Gobierno. Por otra parte, su ambiente laboral no es más favorable, pues trabajan en condiciones que atentan contra la salubridad y la integridad física del individuo.

(d) *Sobre la distribución*. Los tiraderos son regidos por personas que tienen alguna relación con trabajadores de instancias del Gobierno o con algún sindicato afín al partido político que está en el poder en el presente. Algunos otros también pueden ser dirigidos por colectivos.

El mantenimiento del medio ambiente no sólo proporciona beneficios ambientales, sino que, debido al impacto positivo que tiene entre las personas que ven mejorada su calidad de vida, así como a las ganancias o ahorros económicos que pueden tener al reutilizar materiales o prolongar su vida útil, también expone beneficios sociales y económicos, ambos necesarios para el mantenimiento de la vida humana. El reciclaje es un ejemplo de lo anterior, pues, además de su efecto positivo en el ambiente, contribuye a la sostenibilidad económica de diversas maneras: por ejemplo, a través del ahorro en gastos de gasolina al viajar en bicicleta, con la menor producción de materia prima para algunos productos, con la venta y generación de ganancias a través de esos materiales, entre otras. Un ejemplo de lo recién mencionado se lleva a cabo en la colonia San José Río Verde. En la colonia San José Río Verde, ubicada en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, la gestión de residuos comienza desde que se pepenan diversos materiales tales como papel, PET, vidrio y ropa de segunda mano entre cajas, los cuales se reciclan con dos objetivos diferentes: vender o regalar. Para lograr un análisis más preciso del procedimiento y los motivos detrás de estas actividades, en el presente estudio se analiza a cinco familias, de las cuales sólo una realizaba la donación del reciclaje, mientras que cuatro, por el contrario, vendían los objetos recolectados. El dinero obtenido por aquellas familias que deciden vender su colecta representa una ventaja considerable tanto para los pepenadores a nivel económico como para el planeta a nivel sustentable, lo que genera un ejemplo claro de la definición y el funcionamiento del concepto de la economía sustentable.

La base teórica de este artículo se sustenta en la economía política de la basura, la cual tiene como concepto principal el desarrollo sustentable, definido como una situación en la que el adelanto sostenible genera como consecuencia un bienestar que no solo es ecológico, sino también económico. Lo anterior implica que se ocasione una mayor riqueza social, así como que haya una protección hacia el medio ambiente, lo cual conlleva múltiples beneficios en rubros que no se enfocan únicamente en el aspecto ambiental. Se han producido diversos documentos que han constituido un marco normativo y conceptual alrededor de la economía política de la basura, y, concretamente, alrededor del llamado desarrollo sostenible, con la intención de describirlo, actualizarlo y regularlo. Entre los principales textos que existen al respecto hasta ahora, se encuentran los siguientes:

- Agenda de Calidad de Vida de Flujo de agua de 1992: En el año que se firmó el tratado y posteriores (Programa de Residuos de los Hogares Urbanos).

- Plan de Johannesburgo (2002): Plantea medidas para evadir la contaminación por residuos rígidos urbanos a favor de la conservación del ecosistema y el desarrollo sustentable.
- ODS 2030: Cuyo punto número 12 propone un consumo y producción sostenible sostenibles (Organización de las Naciones Unidas. 2023).
- Adopción de Flujo de Río de Janeiro +20: Planea un consumo y producción sustentables y sostenibles (Organización de las Naciones Unidas. 2023).
- Ley de Administración Integral de Residuos en Guadalajara Ambiente, P. F. D. P. A. (s. f.): Indica la división correcta del reciclaje y la adopción de sanciones (Gobierno de México. 2023).
- Ley General de Prevención de Residuos Federal de México: Advierte la división idónea del reciclaje y propone la adopción de sanciones (Gobierno de México. 2023).
- NAE (Norma Ambiental Estatal de Jalisco), SEMADES 077/2008 Jalisco: Ejemplifica la división correcta del reciclaje y adopta sanciones (Gobierno de Jalisco. 2008).

Así pues, a partir de estos documentos, se comprende que el reciclaje es el objeto principal en el que se enfocan las intervenciones de las Organizaciones No Gubernamentales (ONG), así como lo que se intenta atender primordialmente a través de la ejecución de proyectos gubernamentales enfocados en áreas del medio ambiente. No obstante, este tipo de acciones se suele ejecutar únicamente en las ciudades y no es común que se aplique en las zonas periféricas. En consecuencia, los miembros de comunidades como la de San José Río Verde tienen que actuar por iniciativa propia y es así como han generado diversas acciones que les permiten intervenir en esta temática, con lo cual no solo han logrado dar pasos respecto al reciclaje y a sus efectos positivos en el ambiente, sino también ser acreedores del beneficio económico que estas prácticas implican.

Además, de acuerdo con Bermúdez y Terán (2013), las normas y creencias hacia los valores medioambientales influyen dentro de las costumbres de la comunidad sólo si ellos están dispuestos a cambiar su estilo de vida para no dañar el ecosistema, pues es necesaria la voluntad de las personas para implicar un cambio, ya que no es suficiente únicamente informarles sobre la existencia de esta problemática y de los potenciales efectos positivos que tiene atenderla. Con este estudio, los autores quieren comprobar si tales actitudes dañan o propician un impacto positivo, tal como el reciclaje, de la comunidad., Amparados en la ética, los colonos se animan a cambiar sus prácticas ecológicas, a fin de ser una comunidad que practica el reciclaje como actividad, que influye en el proceso de cambios dentro de un sistema comunitario, ya sea total o con cambios en pro de la conservación del paisaje.

Bermúdez y Terán (2013), también señalan que, al momento de dar clases, el comportamiento frente al medio ambiente se ha vuelto un proceso de metodología con cambios radicales en la conservación, que, además, por las condiciones sociales de la región, se ha propuesto dentro de

una política; sin embargo, no se ha llevado a cabo como esperaban los expertos de dicho material social, por falta de una cultura del reciclaje. Por otra parte, la economía circular del producto da pie a un alza de precios. Uno de los productos más comercializados en la economía circular es el hierro, pues existe una mayor compraventa del elemento. Con su fabricación, ya sea de primera línea o de segunda mano, el producto nacional debe tener reservas para que exista una demanda del producto y para su servicio de venta. Por otra parte, según los indicadores medioambientales, debido a la elaboración del elemento, se experimenta un incremento de emisiones que dañan la biosfera mediante compuestos líquidos llenos de lixiviados en los basureros o en los vertederos.

Caso de éxito: los autores Millán, Sánchez y Olaya (Millán, et al. 2015) sostienen que la producción de aluminio tiene un gran impacto nocivo debido a la acumulación, además del hecho de que emplean una gran cantidad de hierro, material con el que se produce, el cual tiene un índice alto de contaminación en el agua. Dada la utilización del elemento hierro, la economía circular internacional tiene ventajas, sobre todo sobre las economías que no hacen el reciclaje dentro de los tres espacios donde es posible realizar la separación de los elementos, es decir, en los hogares, el desencadenado por los servicios y los desechos de fábricas. Un ejemplo de economía circular exitosa se presenta en Bogotá, Colombia, donde los recicladores son los encargados de hacer todo el proceso para que no exista una caída del mismo producto dentro de la economía creando así una desventaja con el mercado internacional. Bogotá se encargó de crear una organización como principal actividad económica, la cual se desempeña nacionalmente y que presenta ventajas competitivas dentro del mercado internacional.

Por otro lado, es necesario mencionar el papel de la enseñanza y la instrucción para el progreso razonable y para el nacimiento internacional en tiempos modernos. El desarrollo de las ciudades contemporáneas ha dado lugar a progresivas permutas monetarias a nivel mundial, escoltadas por corrientes de cambio en todos los países, tanto en un grado originario como en un grado internacional. La pesquisa declara a la globalización como un deterioro a nivel didáctico debido a los hábitos. Todavía, al instaurar y proteger diferencias administrativas, financieras y naturales a nivel gubernamental, originario y mundial, la globalización se traslada corrientemente por escaños de agotamiento del ecosistema, lo cual pone en riesgo a las futuras generaciones y las deja expuestas ante las posibles consecuencias negativas que podría tener ese escenario, de llegar a darse.

La adolescencia se encuentra impregnada por las sociedades contemporáneas de la indagación; sin embargo, no tiene un claro conocimiento de las dificultades inherentes a esta. Se evidencia una inexperiencia en cuanto a los riesgos financieros tanto locales como a nivel de economía mundial, esto al conservar procedimientos particulares y grupales que no brindan atención a dichas dificultades. A continuación, se observa cuáles son los objetivos y la metodología de la enseñanza para el progreso razonable. Es importante señalar que estos pueden ayudar a mejorar los conocimientos de los adolescentes y a incrementar sus habilidades en cuanto a fines económicos y de bienestar, pues no se trata únicamente de compartir el conocimiento respecto a esta área, sino también de realizarlo de manera adecuada para lograr en ellos las consecuencias y acciones esperadas.

Dos instrumentos referentes para el progreso llevadero y la enseñanza para la procedencia se encuentran en la ONU y la UNESCO. Por una parte, la ONU ha nombrado al periodo de 2005 a 2014 como el Período de la Formación para el Adelanto Razonable (DESD). Por su parte, la UNESCO a este mismo periodo de años le ha dado el nombre de Fundación de la Enseñanza para el Adelanto Llevadero (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2005). Castells (2009) menciona que, dentro de estas brillantes clases, se lograron consecuencias positivas y se observó un impacto significativo. Entre los logros obtenidos, se puede mencionar que se contuvo a los desempleados, a las personas que no tienen un hogar, incluyendo a los niños, a las poblaciones que viven de hospedajes y rentas, a quienes habitan en hogares temporales, así como a los inquilinos ilegales que estaban en casas de alquiler o robadas de fincas de impuesto.

Caso dos prácticos: Los grupos indigentes hicieron cara a los riesgos al formar su propio emprendimiento a partir del tiradero en los hogares. Los bienes obtenidos eran en mayoría comida, ropa, basura dura, cartones y periódicos, es decir, basura orgánica. Estos grupos brotaron sin sugerencias de expertos y sin la intervención de proyectos ambientales. Sin reconocimiento, generaron muchos cambios, pues no sólo recolectaron residuos, sino que también crearon puestos de empleo relacionados con el desarrollo de esa actividad. Con el paso del tiempo, lograron poseer un registro realizado por la Administración Colectiva, para ser reconocidos como restauradores y recicladores con ética ambiental. Castells (2009) menciona que esta nueva subcategoría laboral es menospreciada por la sociedad debido al tipo de tarea que involucra, así como al riesgo sanitario ante la posible contaminación en España.

En el 2014, un programa de la Comisión para el Ecosistema se transformó en una trama actual dentro de los acuerdos del Gobierno de México. Su adelanto ha sido valioso puesto que concluyó dos periodos: por una parte, el Acuerdo Brundtland de 1987 y por otro el de la Conferencia de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992. De hecho, al momento, los órdenes públicos no son aptos de obtener, de modo ordinario, un excelente servicio institucional del cuidado del entorno. Desde la agenda de la tierra y con el cuidado por ella, existe la manifestación de inconvenientes concretos que, además, tienen secuelas en trabas gubernamentales del ecosistema por completo. Todo lo anterior ha puesto en evidencia que las direcciones originarias son ineficaces al momento de llevar a cabo la tarea de investigar patrimonios (Castells, 2009).

Lo ya mencionado tiene graves consecuencias en el tema planteado, que deben reconocerse para poder encontrar la mejor manera de atenderlas. Por un lado, los problemas locales no son atacados, lo que genera que la situación de los habitantes sea subestimada, al no reconocer como se debería la importancia que tienen para ellos estas situaciones, pues son quienes padecen sus consecuencias en el día a día. Por otra parte, cuando ellos manifiestan sus inconformidades y sus deseos de solucionar todos estos temas, suelen ser tratados como exagerados y llamados chiquillos por querer solucionar los inconvenientes de su entorno (Venegas-Sahagún, 2014), lo que, además de restarle importancia a esta temática, minimiza la relevancia que deberían tener estos problemas y deja de lado la urgencia de atenderlos. Es necesario, además de ver por la resolución de estas

problemáticas, lograr transmitir a la sociedad la relevancia que tienen, para cambiar la perspectiva global.

1.1. Cultura Sociológica y el Reciclaje en la Teoría de Talcott Parsons.

La cultura desempeña un papel importante en la sociología de Talcott Parsons. Según este sociólogo estadounidense, el sistema cultural se entiende como un sistema de símbolos y significados que constituye un nivel particular de abstracción de las relaciones sociales. Parsons consideraba que la cultura era la principal fuerza que unía los diversos elementos del mundo social o, en sus propias palabras, del sistema de la acción (Girola, 2010). Lo anterior se puede entender como el conjunto de elementos en los que las personas encuentran generadores de emociones y que llaman su atención, lo que provoca que puedan abstraerse en sí mismos, pero también compartirlo con otras personas y encontrar afinidad en este tipo de cuestiones. A pesar de las diferencias que la sociedad pueda tener en múltiples ámbitos, la cultura puede representar una unión de gustos que vuelve cercanas a personas que en otras áreas quizá serían muy distintas.

En cuanto al reciclaje, no se encontraron resultados específicos que relacionen directamente esta temática con la teoría de Parsons. Sin embargo, es importante destacar que el reciclaje no consiste únicamente en una práctica que promueve la conservación adecuada del medio ambiente, sino que también se enfoca en otros aspectos, como la creación de una cultura sostenible, lo cual brinda consecuencias positivas no solo en el entorno, sino también en los seres vivos que lo habitamos. El aprovechamiento adecuado de los recursos afecta directa y positivamente a quienes están rodeados de ellos, con beneficios como los que ya se han mencionado anteriormente. El reciclaje, como una técnica apropiada para contribuir a este aspecto, se basa en la recolección y procesamiento de desechos para crear nuevos productos utilizando los mismos materiales.

Se adquiere presencia política mediante la presunción de que las administraciones municipales públicas son representantes esenciales en el trabajo y la atención de las distintas dificultades que se manifiestan en el ecosistema. En el municipio se mantiene el hecho de que la interacción, la colaboración pobladora y la fila de interconexiones son tácticas que acceden a defender la comisión ambiental. De este modo, los métodos llevados a cabo por diversos grupos municipales, que consisten en la participación y la relación, se incrementan y se convierten en destrezas fundamentales en la búsqueda de conseguir este objetivo, pues logran hacer más eficaz y fuerte el servicio de los asuntos de política pública que tienen relación directa con la tierra, ya que lo que la separación hace es conferir y aumentar la independencia y autoridad que se les da a los municipios (Millán, et al. 2015).

Así pues, se realza la importancia del reciclaje, pues este reduce el impacto que la producción de CO_2, es decir, de dióxido de carbono, realiza en la atmósfera. Un ejemplo de lo anterior es el caso del aluminio que, como ya se mencionó, al no haber reciclaje, el aluminio se vuelve a producir. Al llevar a cabo el reciclaje queda evidenciada la mejora de este rubro, que no elimina el problema, pero sí contribuye fuertemente a disminuirlo. Otro grupo de reciclaje que ha advertido un gran

aporte a niveles económico y ecológico es el de las personas que son conocidas como cartoneras, quieres surgieron en los peores momentos de la crisis económica del país durante los años 2000 y 2001. Sin tener límites de edad, ni sexo, sin un horario especifico, sin salario, sin días de descanso, sin vivienda propia, sin derechos ni protección social, recorren las ciudades del país (Organización de las Naciones Unidas. 1992).

En Guadalajara existe una sociedad mixta entre el Estado y un ente particular llamada caabsaEagle, la cual, desde 1994, ha controlado la recolección de los residuos sólidos urbanos y la disposición final. Esta asociación le quita el peso a la administración pública (Chavolla-Sánchez, 2023). Guadalajara, la posterior expansión a la zona metropolitana de Guadalajara, son un ejemplo del problema social, empresarial y gubernamental que rige sobre el manejo, la recolección y el control de la basura, mismo que se replica en las demás entidades federativa. Una vez expuestos los conceptos necesarios para el análisis del desarrollo de la economía política de la basura en la colonia San José Río Verde, se exponen las condiciones, la metodología y los resultados de dicho análisis. Según la Organización Naciones Unidas (Venegas-Sahagún, et al. 2014), la conservación de la tierra depende de las actividades que realizan los grupos sociales, las cuales también repercuten en la calidad de vida de estos. Como ya se mencionó, una de las actividades de acción es el reciclaje.

En cuanto al caso particular que aquí se está analizando sobre la colonia San José Río Verde, tiene un uso limitado de los servicios de recolección de basura, el cual deriva como consecuencia en el uso de las 3R como una necesidad familiar y comunitaria ecológica, pero también económica. En la comunidad de San José Río Verde, cinco familias realizan reciclaje, así como cinco negocios, y este es tanto inorgánico (cartón, papel, vidrio y PET) como orgánico (cáscaras de fruta). En la colonia de San José Río Verde se puede considerar una forma de organización cotidiana el hecho de cuidar del medio ambiente, reutilizando la mayor cantidad posible de residuos y reduciendo el consumo, así como el hecho de hacer conciencia sobre el reciclaje. Estas actividades ya están asentadas en la cotidianeidad de este entorno, por lo que se ven normales y comunes.

Los habitantes de la colonia son conscientes del impacto ambiental que tiene el reciclaje, pues, cuando no se lleva a cabo de manera cotidiana, se genera una gran cantidad de basura que no tiene un tratamiento especial, lo cual, a la larga, resulta perjudicial, pues tiende a acumularse en sitios de depósito final, lo cual afecta negativamente al entorno, por lo que se vuelve una necesidad el hecho de reciclar para mejorar la calidad del medio ambiente. Concretamente, la comunidad ha expresado temor de que se desborde el río que se encuentra cercano a la colonia, pues este en escenarios anteriores ya ha causado afectaciones en los flujos de aguas negras. En cuanto a este tema, las administraciones de los Gobiernos en turno no han creado una estrategia con base en la política ecológica de actuación, por lo cual la preocupación de la población continúa estando presente.

Por otra parte, el beneficio del reciclaje no recae únicamente en la mejora de la calidad de vida, sino también en un beneficio económico. Para esto, se debe cotejar la economía de la colonia San José Río Verde, pues se trata de una comunidad caracterizada por tener escasos recursos. Con la

finalidad de reducir el impacto económico que las familias de la colonia presentan, se llevan a cabo las actividades de reciclaje. Algo muy significativo y que se debe resaltar es que los habitantes de San José Río Verde buscan llevar a cabo una buena recolección y reciclaje de residuos para conservar su entorno, apegándose así, quizá sin conocimiento de ello, a la normatividad ambiental vigente, debido, sobre todo, a su utilidad económica. En otras palabras, el factor económico es la principal razón por la cual los habitantes de esta comunidad reciclan y el beneficio ambiental es, en realidad, una consecuencia indirecta.

Así pues, a manera de resumen, es importante mencionar los factores que conforman el cambio a la sustentabilidad de la colonia San José Río Verde Sección, los cuales son los siguientes:

- Económico: El reciclaje en esta zona debe ser provechoso para sus habitantes para que sea factible. En otras palabras, cuando las personas quieren vender sus productos recolectados en la colonia San José Río Verde, no están buscando un beneficio ecológico, sino el beneficio propio, apoyando la sostenibilidad económica del lugar.
- Social: El ejercicio del contribuye a reforzar los valores y la ética ambiental. No obstante, el hecho de que los individuos no parten de una ética del cuidado ambiental, sino del beneficio económico también indica que optan por una cultura consumista.
- Ambiental: El cotejo de si el reciclaje es una actividad sostenible en la colonia de San José Río Verde refleja una mejora en el medio ambiente de la comunidad, así como en la calidad de vida de sus habitantes.

2. Metodología

Los tres puntos anteriores exponen los beneficios que tiene el reciclaje como actividad en tres niveles diversos en la colonia San José Río Verde. Las conductas de los colonos frente a los factores sociales, ambientales y económicos se presentan en una serie de entrevistas realizadas a estos, las cuales pueden consultarse en el apéndice del presente documento. En cuanto a la metodología que se utilizó, el presente estudio sienta sus bases en la estadística y en la aplicación de los conceptos de teoría previamente analizados. Lo anterior expone el manejo de una metodología mixta. Con el objetivo de conocer el número de recicladores que emplean los conceptos expuestos en el marco teórico se realizó una serie de entrevistas de observación, las cuales se llevaron a cabo durante el 4 de junio del 2022, a partir de las cuales se elaboró un índice de conceptos.

Sobre la muestra, los informantes se localizaron en nueve familias de la colonia San José del Río en Guadalajara, Jalisco, entre los cuales se puede encontrar a algunos que son locatarios y a otros que son vecinos recolectores. Según su funcionamiento y administración, los puestos entrevistados correspondieron a cinco del sector privado y cinco del contexto informal. Los resultados obtenidos de las muestras advirtieron que las diez personas de entre 30 y 60 años de edad significaron la muestra con una precisión de 0.1 %, esto con un nivel de confianza del 92 %. Un elemento externo

que se atendió para la cobertura de la muestra seleccionada fue la disposición que mostraron las autoridades municipales, las empresas concesionarias y los líderes, para llevar a cabo este ejercicio de la manera más exacta posible, con apego a la metodología que se estableció inicialmente.

3. Resultados

A continuación, se muestran los resultados gráficos de la investigación de conceptos en San José Río Verde (Figura 1). Primeramente, se observa la frecuencia de palabras más empleadas en las entrevistas en su totalidad y, posteriormente, de manera individual, las cuales fueron obtenidas a través del programa Voyant (Tabla 1).



Figura 1: Palabras clave en las entrevistas realizadas en San José Río Verde

Tabla 1: Frecuencia de palabras clave en las entrevistas realizadas en San José Río Verde

Palabra	Definición	Repeticiones
Cajas	Cartón de diversos tamaños	6
Tiran	Acción de contaminar	7
Orgánicas	Basura reutilizable y reciclada	3
Vacas	Animales que se alimentan de basura orgánica	2
Ahorro	Sin gasto de dinero	2
Desempleado	Sin empleo	1
Solidaridad	Simpatía	1
Reciclar	Proceso de separación de basura	1

Finalmente, al analizar la venta de residuos que se lleva a cabo en la colonia San José Río Verde, se pudo advertir que, durante el 2021, los vendedores estaban obteniendo un ingreso que era similar al monto establecido como el salario mínimo de Jalisco. Sin embargo, los factores que posibilitan el ingreso fijo cambian durante todo el año, además de que están presentes factores variable, como el de los precios de los productos, los cuales pueden variar, de acuerdo con el

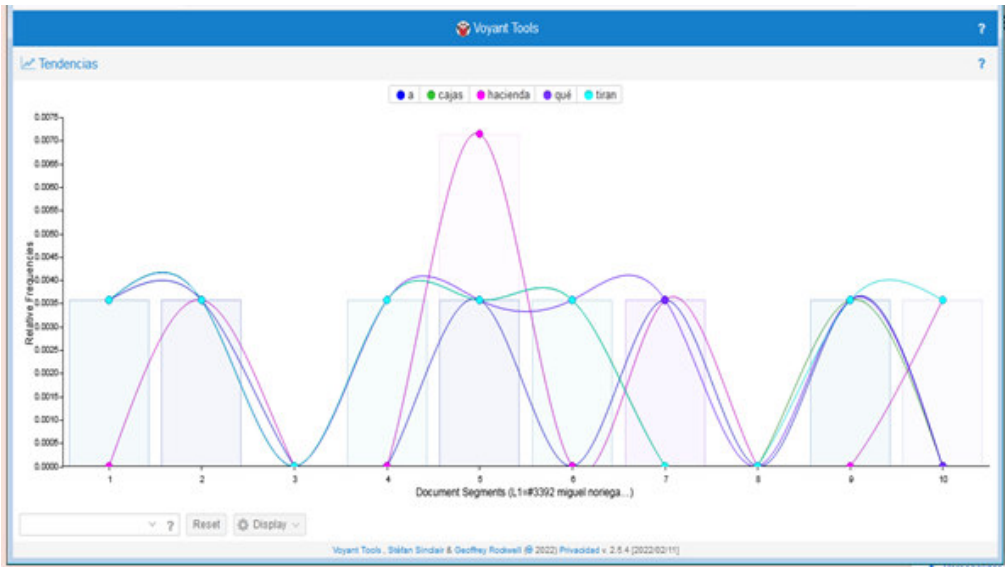


Figura 2: Comportamiento de la repetición de la palabra *cajas*

comprador. En el caso anterior, según un vendedor de chatarra en la zona del barrio de Analco en Guadalajara, Jalisco, el comprador y el recolector deben establecer un precio juntos, en un intento de que el trato se realice de la manera más justa posible, además de que exista la garantía de que se está llevando a cabo esa actividad en una búsqueda de atender equitativamente los intereses de ambas partes.

4. Conclusiones

Las conclusiones del estudio aquí presentado son varias. Principalmente, se observa que los habitantes de la colonia de San José Río Verde en Guadalajara, Jalisco, realizan una consistente recolección de materiales como PET, plástico, metal y cartón, siendo estos dos últimos los que más destacan en la zona. El reciclaje que realizan los colonos se refleja en el objetivo número 12 de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030, lo cual contribuye al medio ambiente. No obstante, la labor de los colectores no sólo representa un avance en términos ecológicos, sino también en el ingreso económico de las familias, quienes utilizan este aspecto como su motivo principal para llevar a cabo este tipo de actividades. Lo anterior, recae en la inevitable comparativa con grandes empresas frente al deseado equilibrio entre el bienestar económico y las responsabilidades ambientales.

Si bien la iniciativa para el cambio a favor del medio ambiente debería ser sólo con objetivos ambientales, las ganancias monetarias no deben considerarse como una desventaja, sino como una oportunidad que traerá beneficios a mediano y a largo plazo, siempre y cuando se siga una metodología adecuada, que puede funcionar, incluso, como una estrategia a aplicar en otros contextos, ya sea para mejorar una economía, o para mejorar la condición del espacio. Por otra parte, también se advierte la necesidad de una política ambiental, de iniciativa privada y pública. Así pues, se



Figura 3: Comportamiento de la repetición de la palabra *tiran*

espera que los organismos gubernamentales planteen estrategias que incentiven, tanto a las empresas, como a la ciudadanía a emprender medidas ecológicas. Las regulaciones establecidas por la ONU frente a grandes empresas para el cuidado ambiental, son un ejemplo de que establecer medidas similares a nivel estatal serían precisas para lograr un buen mantenimiento ecológico.

Los múltiples Gobiernos de México han establecido y firmado acuerdos medioambientales con la finalidad de tener un mejor desarrollo de esos temas; sin embargo, debido a la falta de rigor en los acuerdos generados y a la división que se genera en la toma de decisiones cuando involucra partidos políticos, no se ha logrado cumplir una estrategia que realmente genere los resultados con el potencial que podrían tener. Tomando el ejemplo particular de Guadalajara y su área metropolitana, se puede observar que, aunque existen diversos reglamentos estatales y federales sobre esta temática que aplican una normatividad, en las colonias más marginadas se observa un notable abandono, no hay un reciclaje adecuado en esas zonas. Lo anterior invita a pensar en cómo la ética ambiental y la sociología van de la mano, pues la sociología del medio ambiente explica que, si no hay un reciclaje que se lleve a cabo de manera correcta, las consecuencias que pueden generarse son lamentables, consistiendo en inundaciones, pérdidas económicas e, incluso, pérdidas humanas.

Es importante mencionar que las creencias e ideologías de las personas no deben influir en la definición y el desarrollo de estas normativas, sino sólo en la metodología para llevarlas a cabo. Es preciso tener en cuenta en todo momento que el uso que los seres humanos les damos a los recursos naturales conlleva a consecuencias inmediatas, pero también a mediano y largo plazo. El avance significativo en los niveles de contaminación ha provocado que en el presente exista un estado de alarma, que recalcan la importancia de generar un cambio. Las acciones que se pueden tomar al respecto son vastas, y deben ser planeadas y adecuadas a la situación para que, de esta manera, su realización sea óptima. Un ejemplo de lo anterior son las acciones de reciclaje y venta

de la comunidad San José Río Verde, pues, ante la problemática de la abundancia de residuos y la precarización, los perjudicados han dado solución a ambos problemas.

La información presentada en este estudio pretende funcionar como un apoyo recopilatorio para facilitar la creación posterior de predicciones, estudios y réplicas de este trabajo, los cuales podrían aplicarse en el análisis de otras comunidades que se encuentren en situaciones similares, aplicando una metodología similar y tomando como base los resultados aquí obtenidos. Finalmente, resulta importante señalar el notable esfuerzo que llevan a cabo vecinos de la colonia San José Río Verde respecto al reciclaje, pues, aunque su percepción del tema está ligada a que lo hacen como una actividad para obtener ingresos económicos, como consecuencia de ello logran mejorar su calidad de vida ante la exposición de la contaminación, provocada por elementos provenientes de los desechos. A pesar de que se trata de una consecuencia indirecta y no de su objetivo principal, es destacable que sean ellos quienes se mantengan al pendiente de este tema y quienes ejecuten, a su manera, acciones para contribuir con ello.

4.1. Problemas de investigación pendientes

- Falta de tiempo.
- Existencia de Teorías muy pocas, más artículos con aplicación de los libros.
- No contar con apoyo de beca Conacyt para la elaboración desde inicio.
- Acceso de información del sector privado al momento de realizar una visita de campo.

4.2. Opiniones

La presente investigación, se realizó una exploración concreta del tema en cuestión en las fuentes ya mencionadas, lo cual constituyó, con frecuencia, un estudio mixto. Es de suma importancia tener en cuenta que todas las posturas de cada autor aquí tratado son relevantes, y que deben considerarse como parte significativa del todo encontrado.

Los datos obtenidos representan una utilidad importante al momento de realizar una visita de campo sin importar si esta se realiza en un contexto nacional o internacional. La información mostrada en este trabajo pretende funcionar como un apoyo recopilatorio para predicciones estudios y extensiones del tema.

La sociedad solicita un cambio en el cuidado del medio ambiente, y normativas como la ODS 2030 contribuyen con la intención a través de múltiples medidas, que van desde algunas muy sencillas hasta temas complejos como el cambio climático. El bienestar de las futuras generaciones relacionado con estos temas depende de la sociología, pero, también, de las personas y sus acciones específicas relativas a la conciencia ambiental.

La investigación desarrollada con diversos textos señala que cada sección de la sociedad debe reconocer la importancia de las normas en cuestión para comprender la relevancia que tiene una Ley o acuerdo internacional como las mencionadas.

Normas como la ODS 2030 muestran que desde que se fundó la colonia San José Río Verde, muestra como las personas han empezado a realizar cosas a pro de medio ambiente.

El proceso de Reciclaje de la zona tiene impactos tangibles a la calidad medio ambiental. El uso de la norma ODS (Objetivos del desarrollo sostenible) 2030 tiene implicaciones legales, y su aplicación debe seguir procedimientos para los que es necesario contar con personal capacitado adecuadamente.

4.3. Opiniones personales

Las ganancias monetarias y los cambios organizacionales de un inicio no deben considerarse como una desventaja, sino como una oportunidad que traerá beneficios a mediano y a largo plazo, siempre y cuando se siga una metodología adecuada. La competencia existente entre las empresas de iniciativa privada respecto a estos temas es notoria, y eso refuerza el argumento de que el cuidado por el impacto ambiental va en aumento.

El del programa normativo ODS 2030 compite con otros programas de cumplimiento del derecho humano, pero, a pesar de eso, continúa siendo uno de los más importantes en su ámbito, pues, por ejemplo, en el ámbito formativo suele hablarse de manera prioritaria o exclusiva de esta regla, y no tanto de otras. A pesar de lo anterior, parece que la difusión de este estándar continúa siendo insuficiente, y debe seguir en aumento. El estudio realizado en este texto permite observar cómo cada autor le presta más atención a algún aspecto sobre el tema, pero que eso no implica que el problema general pierda importancia.

Referencias bibliográficas

[1] Bermúdez, A., & Terán, M. (2013). Relación entre valores, normas y creencias proambientales y actitudes hacia el reciclaje. *Educere*, 17(57). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35630152005

[2] Castells, J. (2009). Hábitat, salud y derechos sociales. cartoneros homeless: los nuevos pobres en la ciudad. En *XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología*. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires.

[3] Cervantes Niño, J. J., & Palacios Hernández, L. (2012). El trabajo en la pepena informal en México: nuevas realidades, nuevas desigualdades. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 27(1), 95–117. https://doi.org/10.24201/edu.v27i1.1406

[4] Chavolla Sánchez, H. (2023). ¿Quién gobierna la basura y el reciclaje?. *Internaciones*, 24, 209–226. https://doi.org/10.32870/in.vi24.7237

[5] Girola, L. (2010). Talcott Parsons: a propósito de la evolución social. *Sociológica*, 25(72). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-01732010000100007

[6] Gobierno de Guadalajara (2024). Mapa de zona 4 Obras públicas. https://enlinea.guadalajara.gob.mx/obras/obrasPublicas/listadoObras.php?year=2016&zona=4

[7] Gobierno de Jalisco. (2008). Ley de Gestión Integral de los Residuos del Estado de Jalisco. https://info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/leyes/ley_de_gestion_integral_de_los_residuos_del_estado_de_jalisco.pdf

[8] Gobierno de México. (1992). Ley General de Equilibro Ecológico y la protección al ambiente. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf

[9] Gobierno de México. (2023). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf

[10] Gobierno de México. (2023). Ley del Trabajo. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lft.htm

[11] Gobierno de México. (2023). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914

[12] ISO. (2015). ISO 14001:2015. https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es

[13] Millán Delgado, F., Sánchez García, D. P., & Olaya Flórez, J. J. (2015). Reciclaje de aluminio: oportunidades de desarrollo en Bogotá (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 18(2).

[14] Organización de las Naciones Unidas. (1992). Informe Brundtland. Convención de Río de Janeiro de Acuerdo al Derecho Internacional.

[15] Organización de las Naciones Unidas. (2017). Objetivos del desarrollo sustentable. http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/

[16] Organización de las Naciones Unidas. (2023). Agenda 2030 para un consumo y producción sostenibles.

[17] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2005). Fundación de la Enseñanza para el Adelanto Llevadero.

[18] Rosaleny i Castell, R., & Pérez Cosín, J. V. (2011). Educación y formación ocupacional: procesos de expulsión e ¿inclusión educativa?. En *La sociología y los retos de la educación en la España actual: XV Conferencia de Sociología de la Educación*.

[19] Venegas Sahagún, B. A. (2018). Conflicto socioambiental y rellenos sanitarios en los pueblos de la barranca en Zapopan, Jalisco. *Carta Económica Regional*, 121, 193–215. https://doi.org/10.32870/cer.v0i121.7106

[20] Venegas Sahagún, Beatriz Adriana, María Luisa García Bátiz y Antonio Sánchez Bernal. "Gestión de residuos sólidos municipales en México. Un análisis comparativo". Gestión Ambiental 28 (2014): 25–47.

Apéndice

Entrevista a personas recicladoras de la colonia San José Río Verde

Entrevista (E) 1: Doña Casia

Pregunta (P): ¿Recibe o dona residuos?

Respuesta (R): Recibe.

P: ¿Quién le dona el reciclaje?

R: Las tiendas: micro negocios, abarroteras, dulcerías.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Cajas pequeñas y grandes.

P: ¿Cuánto recicla en promedio por día?

R: Ocho cajas grandes y 6 pequeñas por día.

E2: Familia Martínez

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Dona.

P: ¿A quién le dona el reciclaje?

R: A la familia Solorio.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: PET de agua, leche y suavizantes, así como papel, libros y cajas.

E3: Familia Solorio

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Recibe.

P: ¿Quién le dona el reciclaje?

R: Tiendas locales y la familia Martínez.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Cartón, PET y papel.

E4: Bodeguita Don Chava

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Dona.

P: ¿A quién le dona el reciclaje?

R: A cualquiera.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Cajas chicas y cartones de huevo.

Notas: El informante suele vender el material que recicla. El costo oscila entre los 30 a 90 centavos para las cajas chicas y seis pesos mexicanos para los cartones de huevo.

E5: Jugos Los abuelos

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Dona.

P: ¿A quién le dona el reciclaje?

R: Un pastor de vacas; sin embargo, este dejó de acudir y ellos de reciclar.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Basura orgánica.

E6: Tienda los Güeros/Arias

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Dona.

P: ¿A quién le dona el reciclaje?

R: A la gente que recicla en la zona, para ayudarlos.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Cajas de cartón.

E7: Tienda La tía

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Dona.

P: ¿A quién le dona el reciclaje?

R: A los vecinos.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Cajas de cartón.

E8: Tienda y vinatería Ramón

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Dona.

P: ¿A quién le dona el reciclaje?

R: A la señora Casia.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Cajas de cartón.

E9: Jugos El Chato

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Dona.

P: ¿A quién le dona el reciclaje?

R: Al pastor de las vacas.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Basura orgánica.

E10: Enseres domésticos

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Compra.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: PET.

P: ¿A cuánto compra el reciclaje?

R: A un peso mexicano.

E11: Abarrotes San Francisco

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Dona

P: ¿A quién le dona el reciclaje?

R: A cualquiera que lo pida.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Cajas de cartón.

E12: Jugos del templo San José

P: ¿Recibe o dona residuos?

R: Ninguna.

P: ¿Qué materiales recolecta?

R: Basura orgánica.

Parte IV

Gestión y política medio ambiental

Fomento para la prevención y valorización de residuos sólidos urbanos

Gabriela Hernández Vite[1], Jesús Barrera Rojas[2], Rosa María Espinosa Valdemar[3], Maribel Velasco Pérez[4]

[1,3,4]Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Avenida San Pablo 420, Colonia Nueva el Rosario, CP 02128, Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

[2]Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Avenida Nuevo Periférico 555, Ejido San José Tateposco, CP 45425, Tonalá, Jalisco, México.

[*]Correo electrónico: mvp@azc.uam.mx

Resumen

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y su manejo inadecuado propician problemas ambientales y de salud pública. El análisis de las medidas implementadas en diversas regiones del mundo puede fomentar la prevención y valorización de RSU. En este trabajo se presenta una investigación bibliográfica de la gestión en tres ciudades en México (Ciudad de México, León en Guanajuato y Tuxtla Gutiérrez en Chiapas) y tres ciudades extranjeras (Bruselas en Bélgica, Región Metropolitana de Santiago en Chile y Tokio en Japón). La generación per cápita en estas ciudades varía de 0.86 a 1.43 kg/día/persona en León y Tuxtla Gutiérrez, respectivamente. Todas las ciudades estudiadas cuentan con legislación, programas de gestión de residuos, programas de educación ambiental y acopio de residuos. Sin embargo, la existencia de éstos no garantiza la disminución en la generación de residuos o su valorización. En Ciudad de México, León, Tuxtla Gutiérrez y Región Metropolitana de Santiago el destino principal de los residuos son los sitios de disposición final. En estas ciudades se sabe que la mayor parte del reciclaje se lleva a cabo a través de la recuperación informal de residuos, pero no se encontraron estadísticas que la cuantifiquen. Aunque Bruselas y Tokio usan como método principal la incineración, también son las que utilizan en mayor medida tratamientos como el reciclaje y compostaje. El establecimiento de metas en la valorización de residuos puede fomentar el desarrollo de alternativas para su tratamiento.

Palabras clave: *aprovechamiento*, *economía circular*, *generación per cápita*, *residuos sólidos urbanos*

1. Introducción

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) presenta una tendencia creciente a nivel mundial. En los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico aumentó de 697 millones de toneladas (Mt) en 2016 a 732 Mt en 2020 (OECD, 2024). El Banco Mundial estima que para 2050 la generación a nivel mundial será de 3 400 Mt (Kaza et al., 2018). Por otro lado la composición de los residuos presenta variaciones de acuerdo con las características de cada región, por ejemplo, los residuos orgánicos varían de 32% (en masa) en países con nivel

de ingreso económico alto a 56 % en países con nivel bajo (Kaza et al., 2018). En México en 2020 la generación de RSU se estimó en 43.85 Mt, con 46.42 % orgánicos, 31.55 % inorgánicos susceptibles de aprovechamiento y 22.03 % otros (SEMARNAT, 2020).

El manejo inadecuado de los residuos genera problemas ambientales y de salud pública. La degradación de residuos orgánicos, el transporte de residuos con vehículos que emplean combustibles fósiles, así como la incineración y quema de residuos producen gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Los metales presentes en los RSU se pueden lixiviar y contaminar el agua y suelo. La materia orgánica proveniente de los residuos puede generar eutrofización en los cuerpos de agua. Los animales pueden ingerir residuos al confundirlos con alimento, ocasionándoles sensación de saciedad, ahogamiento o asfixia, entre otros efectos. Finalmente, se pueden producir malos olores por la descomposición de la fracción orgánica, proliferación de vectores (insectos, roedores, alimañas y carroñeros) y enfermedades respiratorias y gastrointestinales (Gex & Steiner, 2019).

El análisis de la gestión de RSU permite identificar programas, normas, leyes u otras medidas que favorecen la prevención y valorización de éstos. Por ejemplo, Rodríguez-Díaz y colaboradores (2022) analizaron los planes de gestión de RSU de la Ciudad de México en México y Bogotá en Colombia. Se encontró que ambas ciudades cuentan con un plan basura cero, recolección frecuente de residuos para evitar tiraderos clandestinos, reciclaje, cobertura de las empresas prestadoras del servicio de aseo para reducir la cantidad de residuos en los rellenos sanitarios, pero deben establecer un programa de mejora continua, fomentar la separación desde la fuente, tecnificar y renovar el transporte de residuos, e invertir en la obtención de información y recolección de datos.

Sohkhlet y Nagargoje (2020) compararon la gestión de RSU entre Sídney en Australia y Pune en India. El producto interno bruto (PIB) e índice de desarrollo humano es significativamente mayor para Australia que para India. En Sídney los residentes pagan una cuota por la recolección de sus residuos, ésta depende de la cantidad de residuos y la frecuencia de recolección. La separación en los domicilios se realiza en tres fracciones; reciclables, orgánicos y no valorizables. El 69 % de los RSU generados en domicilios se valoriza en Sídney. En Pune se paga una cuota fija para la recolección, el 43 % de los RSU es recolectado casa por casa por una cooperativa compuesta principalmente de trabajadores informales, el 40 % por contenedores comunitarios, el 12 % por camiones de volteo y el resto por otros medios. Los residuos se recolectan segregados en orgánicos, reciclables y no biodegradables. En Pune el 30 % de los residuos se trata mediante digestión anaerobia o compostaje, el 10 % es procesado mediante la cooperativa y el 60 % es llevado a un sitio de disposición final a 25 km de la ciudad.

Finalmente, Zhang y colaboradores (2010) realizaron una comparación de la gestión de RSU entre Berlín en Alemania y la ciudad de Singapur en Asia. Estas ciudades se ubican en países industrializados con economías desarrolladas. En Berlín las regulaciones en materia de residuos propiciaron una disminución de la generación de RSU, un aumento del reciclaje y valorización térmica y la disminución en la disposición final. La aplicación de la legislación se fomentó con programas de separación en el origen e implementación de tecnología para el tratamiento de los

residuos separados. Otro factor que pudo tener un efecto en la disminución de la generación es el cobro de una cuota de acuerdo con el volumen de residuos generado. En Singapur la generación de residuos ha aumentado de forma significativa, de 4.7 a 5.97 Mt de 1998 a 2008, esto se puede explicar por el rápido desarrollo de su economía que propició un aumento poblacional y cambios en los patrones de consumo. Debido a la falta de espacio para la construcción de rellenos sanitarios el 91 % de los RSU recolectados de Singapur se incineraba.

El objetivo de la presente investigación fue identificar las medidas que fomentan el aprovechamiento de los residuos sólidos en tres ciudades de México y en tres ciudades extranjeras.

2. Metodología

La metodología se compone de dos etapas generales, en la primera se seleccionaron seis ciudades y se identificó información general sobre el manejo de residuos, así como las leyes, normas o políticas públicas con posibles efectos en la prevención y valorización de RSU. Tres de las ciudades seleccionadas se ubican en México y el resto en el extranjero. En la segunda etapa se realizó una comparación de la información recabada y se identificaron las medidas que podrían aplicarse en el contexto mexicano

2.1. Selección de ciudades e identificación de la legislación en materia de residuos

Las ciudades en México se seleccionaron tomando en cuenta la información en materia de residuos que se encuentra disponible en las páginas gubernamentales, se trató de incluir ciudades con características diferentes, pero debido a que casi ninguna ciudad del país tiene información disponible de forma libre esto no fue posible en su totalidad. Una vez que se seleccionaron las ciudades se realizó una búsqueda de la legislación federal, estatal y municipal, así como de los programas relacionados a la gestión de residuos. También se elaboró un cuestionario para obtener información sobre la gestión de residuos que se envió como Solicitud de Información a los municipios correspondientes.

Las ciudades en el extranjero se seleccionaron con base en el idioma en el que se encuentra disponible la información sobre gestión de residuos en las páginas gubernamentales, se limitó la búsqueda a la información disponible en inglés, francés o español. Se tomó en cuenta si tienen leyes de economía circular, leyes que prohíban la valorización energética o disposición final en rellenos sanitarios de residuos valorizables o leyes que pongan un impuesto a la valorización energética o disposición final en rellenos sanitarios de residuos valorizables. Una vez que se seleccionaron las ciudades se realizó una búsqueda de la legislación a nivel nacional o local, así como de los programas relacionados a la gestión de residuos.

Para cada ciudad, nacional o extranjera, se realizó una base de datos en la que se capturó la información más relevante para cada ley, norma o programa.

2.2. Identificación de las medidas que fomentan la valorización de los residuos sólidos urbanos

Se realizó un análisis comparativo general del marco legal, programas y tratados relacionadas con al aprovechamiento y valorización de los RSU que mostraron beneficios en el aprovechamiento de los RSU en las ciudades seleccionadas.

Se seleccionaron seis ciudades, tres en México y tres en el extranjero, considerando su legislación y programas de gestión de RSU. Para cada ciudad se creó una base de datos con las leyes, normas y programas más relevantes, como se muestra en la Tabla 1.

2.3. Identificación de medidas de valorización de RSU

Se realizó un análisis comparativo de las medidas implementadas en cada ciudad para identificar aquellas que han tenido un impacto positivo en la valorización de residuos.

3. Resultados y discusión

Las ciudades mexicanas seleccionadas fueron Ciudad de México, León en Guanajuato y Tuxtla Gutiérrez en Chiapas; mientras que las extranjeras fueron Bruselas en Bélgica, la Región Metropolitana de Santiago en Chile y Tokio en Japón. En las siguientes subsecciones primero se presenta un resumen de la legislación federal en México en materia de residuos, después se presenta para cada una de las ciudades seleccionadas la información más reciente sobre generación, composición y manejo de RSU y finalmente se realiza una breve discusión de las medidas aplicadas en estas ciudades para la prevención y valorización de los residuos. Se realizaron solicitudes de información a León y Tuxtla Gutiérrez, pero desafortunadamente no se obtuvo respuesta.

3.1. Legislación federal en México en materia de residuos

La Tabla 1 presenta la legislación más relevante a nivel federal para México en materia de residuos, como se puede observar México cuenta con un conjunto de leyes, normas y tratados internacionales que regulan el manejo de residuos. Cabe resaltar que el listado presentado aquí no es exhaustivo por razones de espacio.

Tabla 1: Legislación más relevante en materia de gestión de residuos a nivel federal para México

Nombre	Tipo
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Constitución
Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente	Ley general
Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos	Ley general

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Legislación más relevante en materia de gestión de residuos a nivel federal para México (*continuación*)

Nombre	Tipo
Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias	Convenio internacional
Acuerdo de París	Tratado internacional
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	Norma oficial mexicana
NOM-098-SEMARNAT-2002 Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos.	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 los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo	Norma oficial mexicana

3.2. Ciudad de México, México

La Ciudad de México, capital de México, tiene un territorio de 1 494.3 km², contó en 2020 con una población de 9 209 944 de habitantes (INEGI, n.d.) y un PIB de 3 464 828 millones de pesos (INEGI, 2021). Otra característica importante de la Ciudad de México es su población flotante, que en 2017 se estimó en 2 280 000 personas (SEDEMA, 2021).

En materia de legislación la Ciudad de México cuenta con la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal (2003) y su reglamento (2008), la Ley de economía circular de la Ciudad de México (2023), el Programa de gestión integral de residuos 2021-2025 y el Plan de acción basura cero (2019). Además de normas ambientales para la producción de composta (NADF-020-AMBT-2011), recolección selectiva (NADF-024-AMBT-2013) y manejo de grasas y aceites residuales de origen animal y vegetal (NADF012-AMBT-2015). Además de programas de educación ambiental y acopio de residuos como el Mercado del trueque (canje de residuos reciclables por despensa), Reciclatrón (acopio de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos) y Ponte pilas con tu ciudad (acopio de pilas).

Desde el 2006 esta ciudad publica anualmente un inventario de sus residuos sólidos que incluye datos de generación de residuos, infraestructura para el manejo de residuos y destino de los residuos recolectados. Una carencia importante de los inventarios es que solamente incluyen una

estimación de la generación y no presentan datos sobre la composición de los residuos. En 2020 la generación per cápita se estimó en 1.071 kg/día/persona y la total en 12 355 t/día (SEDEMA, 2021). Los datos de composición más recientes para los residuos de la Ciudad de México provienen de un estudio realizado en dos estaciones de transferencia e indican que el 42.72% está compuesto por orgánicos, el 15.86% plásticos, el 14.46% sanitarios, el 13.69% papel y cartón, el 10.15% otros, el 2.10% vidrio y el 1.17% metales (Vázquez Morillas et al., 2021).

Actualmente la separación en la fuente se realiza en residuos biodegradables, inorgánicos reciclables, inorgánicos no reciclables y residuos de manejo especial o voluminosos. Sin embargo, la eficiencia de separación de residuos orgánicos en 2021 varió de 14% en la alcaldía Álvaro Obregón a 90% en Milpa Alta, para los otros tipos de residuos no existen datos de la eficiencia de separación (SEDEMA, 2021). Cabe destacar que a pesar de que desde 2003 se estableció la separación obligatoria en la fuente, la separación de los residuos inorgánicos reciclables se lleva a cabo en su mayor parte de manera informal, a través de la pepena en diferentes etapas del manejo de residuos. Además, en la recolección de residuos por parte del servicio público de limpia, participan las llamadas "personas voluntarias", que sin ser empleados ni contar con un salario tienen responsabilidades en la recolección y manejo de residuos.

En materia de infraestructura la ciudad cuenta con 13 estaciones de transferencia, 8 plantas de composta, 3 plantas compactadoras, 4 plantas de selección, 1 planta de biodigestión anaerobia y 1 de biodiesel. Además, usa 5 sitios de disposición final ubicados fuera de la ciudad. En las plantas separadoras se recuperaron 44 t/día de residuos reciclables, en las plantas compactadoras se produjeron 1 112 t/día de combustible derivado de residuos, en las plantas de composta se trataron 1 232 t/día y en la de digestión anaerobia 1.5 t/día de residuos orgánicos y se enviaron a disposición final 6 598 t/día (SEDEMA, 2021).

3.3. León, Guanajuato, México

León es un municipio del Estado de Guanajuato, se ubica en la zona central de México, tiene una extensión de 1 280 km^2. En 2020 contaba con 1 721 215 de habitantes (INEGI, 2024) y tenía un PIB en 2018 de 978 291 millones de pesos. A nivel estatal están la Ley para la protección y preservación del ambiente del estado de Guanajuato (2020), Ley para la gestión integral de residuos del estado y los municipios de Guanajuato (2005), la Ley de cambio climático para el estado de Guanajuato y sus municipios (2013), mientras que a nivel municipal existe el Programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos, el Reglamento para la constitución del Sistema Integral de Aseo Público de León Guanajuato (2009) y el Reglamento para la gestión ambiental en el municipio de León, Guanajuato (2014). Además, hay programas dirigidos a diferentes sectores y residuos, como ¡Recicla!... Tu vidrio (recolección de botellas de vidrio para comercios, bares y restaurantes), ¡Recicla! (recolección de residuos valorizables en fraccionamientos con control de acceso), Ponte pilas León (acopio de pilas), ¡Recicla y gana! (intercambio de residuos valorizables por kits de cocina), Llantatón (acopio de neumáticos), Tapita que da vida (acopio de tapas de botellas en dependen-

cias municipales), RecicLeón (acopio de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), entre otros (Presidencia Municipal de León, 2020). León desarrolla también una Red de recuperadores, afilia voluntariamente a las personas que se dedican a la pepena de residuos, les proporciona gorras, chalecos y distintivos para que la ciudadanía los identifique.

En 2009 se creó por el H. Ayuntamiento de León el Sistema Integral de Aseo Público (SIAP), organismo público descentralizado de la administración pública federal, cuya misión es ser un sistema vanguardista en los servicios de limpia, recolección, traslado, tratamiento, disposición final y aprovechamiento de RSU, con la participación ciudadana (SIAP, n.d.). El SIAP brinda servicios de recolección comercial y domiciliaria, separación de residuos, barrido manual y mecánico, limpieza de áreas comunes, entre otros. Algunos de los servicios se brindan a través de concesiones o contratos. Finalmente, se cuenta con un relleno sanitario que usa el biogás para generación de energía, esta instalación es operada por una empresa privada que tiene la concesión.

En 2020 se reportó la generación per cápita en 0.859 kg/día/persona y la total en 1.36 t/día y los principales subproductos en los residuos son los orgánicos (48.96 %), sanitarios (16.05 %), plásticos (9.32 %), textiles (3.21 %), vidrio (2.96 %9) y cartón (2.61 %) (SIAP, 2020). En 2021 se reportó la recuperación de 300 t/año de reciclables a través de diversos programas. En el primer semestre de 2021 se llevó a disposición final el 80.6 % de los RSU recolectados (Presidencia Municipal de León, 2021). Como se puede observar existe diversa información sobre los RSU de esta entidad, pero el análisis de ésta es complejo porque no toda corresponde al mismo período.

3.4. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, tiene un territorio de 334.61 km^2 con una población en 2020 de 604 147 habitantes (Gobierno de México, n.d.). En materia de legislación a nivel estatal está la Ley ambiental para el estado de Chiapas (2015), Ley de salud del estado de Chiapas (1998), la Ley para la adaptación y mitigación ante el cambio climático en el estado de Chiapas (2015), la Ley de residuos sólidos para el estado de Chiapas y sus municipios (2019), mientas que a nivel municipal se cuenta con el Programa municipal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos de Tuxtla Gutiérrez 2021-2024, el Manual de procedimiento de la secretaría de medio ambiente y movilidad urbana (2018) y el Manual específico de organización de la secretaría de medio ambiente y movilidad urbana (2018). En Tuxtla Gutiérrez también operan diversos programas enfocados al manejo de RSU, como Limpiemos Tuxtla (recolección de residuos previo a temporada de lluvias), contenedores de PET, Llantatón (acopio de neumáticos), recolección de grasas y aceites de cocina usados, Tux-pilas (acopio de pilas) y Reciclatonix (aparatos eléctricos y electrónicos) (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2023b).

En 2020 la generación per cápita se reportó en 1.43 kg/día/persona y la total en 1.53 t/día, con la siguiente composición 53.32 % residuos orgánicos, 25.6 % otros, 6.30 % papel y cartón, 4.60 % vidrio, 2.99 % metales y 7.19 % plásticos (H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2022). El manejo de residuos está integrado por barrido manual y mecánico, recolección en contenedores,

estación de separación, estación de transferencia y disposición final. Hasta diciembre de 2021 se habían instalado 9 486 contenedores en 279 colonias, la ciudadanía deposita sus residuos sin separación en estos contenedores ubicados en la vía pública. La recolección de residuos y el sitio de disposición final son operados por una empresa privada. De manera formal no se lleva a cabo separación de residuos, pero se sabe que a través de la pepena se recuperan residuos inorgánicos para su reciclaje, no existen estadísticas sobre la cantidad de residuos recuperados ni el número de personas que se dedican a esta actividad.

3.5. Bruselas, Bélgica

Bruselas, capital de Bélgica, tiene un territorio de 32.61 km² con 1 222 637 habitantes (IBSA, 2023). Bélgica es integrante de la Unión Europea por lo que está sujeta a la normatividad en materia de residuos de esta región, como la Directiva 2008/98/CE (que establece la jerarquía de residuos) y la Directiva de modificación (UE) 2018/851 (que forma parte de un paquete de medidas para promover la economía circular (Eur-Lex, 2022). Además, Bruselas cuenta con diversos programas para fomentar la prevención y separación de los residuos, algunos de éstos son Le plan up (economía circular), OlioBox (recolección de aceite de cocina usado), Zéro déchet (reducción, reutilización y reciclaje de residuos), Alliance pour la consigne (PET), Treillis pour les feuilles mortes (cero residuos en días de campo), Campagne "Fais gaffe à ma bulle (promueve el cuidado de los contenedores públicos para vidrio) y Plogging: courir et ramasser les déchets (recolección de littering al caminar o correr), entre otros.

La separación en la fuente para RSU es obligatoria desde 2010. La recolección segregada se lleva a cabo a través de Bruxelles Propreté, una entidad pararregional, algunos de los residuos que se separan actualmente son de alimentos, de jardinería, envases (plástico, metálico y papel), papel y cartón. Los residuos de alimentos se tratan por digestión anaerobia, los de jardinería por compostaje, los residuos combustibles por incineración con recuperación de energía, los textiles dependiendo de su estado de conservación se pueden llevar a tiendas de segunda mano, transformar en trapos o incinerar, y materiales como unicel, madera, metales, papel, cartón, plástico y vidrio son reciclados (Bruxelles-Propreté, 2024). En 2021 la generación per cápita fue de 0.77 kg/día/persona y la total de 1.8 t/día, de los cuales el 35% se reusó o recicló, 64% se incineró con recuperación de energía y 1% se llevó a disposición final (Bruxelles Environment, n.d.). A pesar de los esfuerzos por prevenir la generación y diversificar el tratamiento de los residuos, la disminución de generación se ha estancado y la mayor parte de los residuos se incineran (Bruxelles Environment, n.d.).

3.6. Región Metropolitana de Santiago, Chile

La Región Metropolitana de Santiago tiene una extensión de 15 403.20 km² y en 2020 tenía 8 125 072 habitantes (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, n.d., 2020). La legislación en materia de residuos en Chile es extensa, pero de forma general sobresalen a nivel nacional la Ley N° 20.920

ley marco para la gestión de residuos, la Responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje (2016), la Ley Nº 21.368 que regula la entrega de plásticos de un solo uso y las botellas plásticas (2021) y el Decreto 12 que establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de envases y embalajes (2021), mientras que a nivel local se cuenta con los programas Nos compostamos bien (evaluación del comportamiento ciudadano ante el reciclaje y fomento a la sustentabilidad), Santiago REcicla (educación ambiental y fortalecimiento de la infraestructura) y un programa para el tratamiento de capacitación y difusión en gestión y valorización de residuos para comunidades educativas y territoriales de la Región Metropolitana de 2016 a 2018 (Ministerio del Medio Ambiente, n.d.).

En 2016 se implementó el proyecto de reciclaje llamado Santiago REcicla, en el que se instalaron puntos limpios para que la ciudadanía depositara sus residuos valorizables (papel, cartón, envases multicapa, vidrios, latas, metales, plásticos, pilas y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), la meta de este proyecto era alcanzar un 25% de reciclaje de los RSU (Ministerio del Medio Ambiente, n.d.). En 2020 la generación per cápita de residuos sólidos urbanos fue de 1.18 kg/día/persona y la total de 10 020 t/día (Ministerio del Medio Ambiente, 2022). La composición de RSU más reciente corresponde a 2010, con 57% de residuos orgánicos, 12% de papel y cartón, 10% de plásticos, 4% de vidrio, 1% de metales, 1% de envases multicapas y el resto de otros (Ingeniera Alemana S.A., 2010). En 2020 el 99.16% de los RSU se llevaron a un sitio de disposición final y 0.84% se valorizó (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

3.7. Tokio, Japón

Tokio, capital de Japón, tiene una superficie es de 2 194 km^2 y una población de 14 millones de habitantes (Tokyo Convention & Visitors Bureau, n.d.). A nivel nacional se cuenta con la Ley de promoción del aprovechamiento efectivo de los recursos (1991), Ley de fomento de la recogida seleccionada y reciclado de envases y embalajes (1995), Ley de promoción del reciclaje de pequeños residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (2012), Ley de promoción del reciclaje y actividades conexas para el tratamiento de recursos alimentarios cíclicos (2015), Ley de gestión de residuos y limpieza pública (2019) y Ley de circulación de recursos plásticos (2022). En Tokio opera el Plan maestro ambiental de Tokio, Estrategia de Tokio "Zero emisión", y los programas de Gestión de residuos de las 3R en Tokio, de Gestión de residuos plásticos y basura marina, Proyecto de súper ciudad de Tokio y Tiempo de actuar (acción climática), entre otros.

A continuación se describe brevemente el manejo de los residuos en Tokio (Clean Authority of TOKYO, n.d.). La recolección y el transporte de residuos está a cargo de los 23 distritos que conforman Tokio, la cobertura de recolección es 100%. Los residuos se separan en cuatro categorías, combustibles, reciclables, no combustibles y voluminosos. Los residuos combustibles se incineran en alguna de las 22 plantas operadas por Clean Authority of TOKYO. Los residuos reciclables y la forma en la que se deben separar los define cada distrito. Los residuos que no son combustibles son llevados a alguna de las dos plantas de procesamiento que existen, donde se separan los metales

ferrosos y el aluminio para reciclaje y el resto se lleva a disposición final. En Tokio opera solamente un sitio de disposición final.

En Tokio se observó la mayor generación de residuos en 1989, pero para 2015 había disminuido 40% (The Government of Japan, 2015). En 2014 la generación per cápita en Tokio fue de 0.931 kg/día/persona y la total de 12 364.38 t/día, de las cuales 9 337.0 t/día se incineraron, 8.2 t/día se compostearon, 1 786.30 t/día se reciclaron y 972 t/día se llevaron a disposición final (Ministry of the Environment, 2017). La cifra de residuos llevados a disposición final incluye los rechazos de otros tratamientos.

3.8. Discusión

La Tabla 2 presenta algunas de las características de las ciudades seleccionadas. Como se puede observar varían en extensión de 33 km2 con Bélgica a 15 403 km2 con la Región Metropolitana de Santiago. Para todas las ciudades estudiadas, con excepción de Tokio, se pudo obtener información oficial actual sobre la generación. En el caso de Tokio, sólo se encontraron cifras aproximadas para el 2020, pero esto se puede deber a que la información no se encuentra disponible en idioma inglés. Las ciudades con mayor generación total de RSU corresponden a las de mayor tamaño en número de habitantes, Tokio (12 365 t/día), Ciudad de México (12 355 t/día) y Región Metropolitana de Santiago (10 020 t/día). Sobresale que la mayor generación per cápita se haya encontrado en Tuxtla Gutiérrez (1.43 kg/día/persona), pues normalmente las ciudades con mayor desarrollo económico y humano tienden a generar mayor cantidad de residuos. Por razones de espacio los datos de composición en subproductos no se muestran en la tabla 2, pero salvo el caso de la Ciudad de México, no se explica la metodología con la que se obtuvieron. Esta información es relevante pues la composición de los residuos puede cambiar dependiendo de la etapa en la que se obtenga la muestra. Por ejemplo, en las ciudades con presencia amplia de pepena el porcentaje de reciclables será menor si la muestra se toma en los sitios de disposición final que en los camiones recolectores.

Tabla 2: Extensión, población y generación de residuos de las ciudades seleccionadas

Ciudad, País	Extensión (km^2)	Población (millones)	Generación de residuos	
			Total (t/día)	Per cápita (kg/día/persona)
Ciudad de México, México	1,494	9.2	12,355	1.07
León, México	1,280	1.7	1.4	0.86
Tuxtla Gutiérrez, México	335	0.6	1.5	1.43
Bruselas, Bélgica	33	1.2	1.8	n.d.

Continúa en la siguiente página

Tabla 2: Extensión, población y generación de residuos de las ciudades seleccionadas (continuación

Ciudad, País	Extensión (km^2)	Población (millones)	Generación de residuos	
			Total (t/día)	Per cápita (kg/día/persona)
Región Metropolitana de Santiago, Chile	15,403	8.1	10,020	1.18
Tokio, Japón	2,194	13.29	12,365	0.93

n.d. Información no disponible

En cuanto al manejo de residuos en Ciudad de México, León, Tuxtla Gutiérrez y la Región Metropolitana de Santiago el tratamiento predominante es la disposición final (Tabla 3). Aunque no se encontró información estadística para Tuxtla Gutiérrez, se sabe a través de notas periodísticas que una parte de los residuos valorizables inorgánicos se recupera mediante de la pepena y que la mayor parte de los residuos es llevada a disposición final (Lopez, 2022). En Bruselas y Tokio la mayor parte de los residuos son incinerados, estos países son los que reportan un mayor porcentaje de residuos reciclados. Es importante señalar que en Bruselas, el reciclaje se define como el reprocesamiento en productos, materiales y sustancias de residuos inorgánicos y orgánicos, excluyendo recuperación de energía, producción de combustibles y el relleno sanitario (Bruxelles Environment, n.d.).

Tabla 3: Tratamiento de residuos en las ciudades seleccionadas

Ciudad, País	Reciclaje (%)	Compostaje (%)	Incineración (%)	Coprocesamien (%)	Disposición final (%)
Ciudad de México, México	0.36	9.97	—	9.00	53.4
León, México	n.d.	—	—	—	80.60
Tuxtla Gutiérrez, México	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bruselas, Bélgica	35*	64	—	1	—

Continúa en la siguiente página

Tabla 3: Tratamiento de residuos en las ciudades seleccionadas (*continuación*)

Ciudad, País	Reciclaje (%)	Compostaje (%)	Incineración (%)	Coprocesamien (%)	Disposición final (%)
Región Metropolitana de Santiago, Chile	0.84	—	—	—	99.16
Tokio, Japón	14.47	0.07	75.51	—	7.87

n.d. Información no disponible

— Tratamiento no se realiza

* Reprocesamiento en productos, materiales y sustancias de residuos inorgánicos y orgánicos, excluye recuperación de energía, uso como combustible y relleno sanitario

Las ciudades estudiadas en México cuentan con normatividad para la gestión de RSU, tienen programas vigentes para gestión integral de los residuos y programas que fomentan la educación ambiental y el acopio de residuos específicos como pilas, aparatos eléctricos y electrónicos, envases y embalajes, neumáticos, entre otros. Sin embargo, la mayor parte de los RSU que se generan se siguen llevando a disposición final. Esto se debe en parte a la falta de separación de residuos en el origen. La Ciudad de México es la única de las tres ciudades mexicanas estudiadas que implementó la separación de residuos obligatoria en el origen, ésta lleva más de una década, pero la eficiencia de separación de los residuos orgánicos varía entre alcaldías entre 14 y 90 %. Uno de los aspectos positivos es que la Ciudad de México tiene implementados diversos tratamientos, parte de los residuos orgánicos se compostean o se digieren anaeróbicamente, los residuos inorgánicos se separan en plantas y se envían a reciclaje o coprocesamiento. También es de llamar la atención que León cuenta con un organismo descentralizado para el manejo de los residuos que le ha permitido introducir aspectos novedosos como un programa de separación de residuos valorizables en fraccionamientos de acceso controlado o un censo de las personas que acopian residuos de manera informal.

Aunque en las ciudades mexicanas se han implementado medidas para la prevención y el aprovechamiento de los residuos no es posible hacer una evaluación rigurosa del efecto que éstas han tenido debido a que no se cuenta con información completa sobre la evolución de la generación, composición y tratamiento de residuos. Este es un fenómeno que en particular se ha observado, a nivel mundial, en la evaluación de las medidas anti plásticos de un solo uso (Vázquez Morillas et al., 2021).

Las tres ciudades extranjeras estudiadas cuentan con normatividad, programas de gestión de residuos, acuerdos con el sector privado para la valorización de residuos, y programas de educación ambiental. Las ciudades con mayor porcentaje de reciclaje (Bruselas y Tokio), respecto a la

generación total de residuos, tienen también tasas de incineración muy altas. El establecimiento de metas de tratamiento de residuos, como en la ciudad de Bruselas, que se apega a la Directiva de 2018 del parlamento europeo, puede fomentar el desarrollo de estas alternativas. Además de esto es necesario que el público general esté informado sobre las leyes vigentes y los resultados de los programas aplicados para la prevención y valorización, es importante no sólo que la información exista, sino que ésta sea visible y de fácil acceso. Finalmente, también es necesario especificar responsabilidades entre los consumidores, sector privado y gobierno, sobre el manejo de los residuos. Es muy notable que la Región Metropolitana de Santiago cuente con una ley de responsabilidad extendida del productor, pues este tipo de legislación establece obligaciones claras para el sector privado en el manejo de los residuos que generan los productos que comercializan.

4. Conclusiones

Todas las ciudades analizadas cuentan con legislación, programas de gestión de residuos, programas de educación ambiental y acopio de residuos. Sin embargo, la existencia de éstos no garantiza la disminución en la generación de residuos o su valorización.

El establecimiento de metas específicas potencia la prevención y valorización de residuos, este es el caso de la ciudad de Bruselas que a pesar de ser una de las ciudades estudiadas con mayor proporción de residuos incinerados también trata mediante otras tecnologías el 35% de sus residuos. En contraste está la Región Metropolitana de Santiago que a pesar de contar también con una meta de reciclaje, está lejana a cumplirla.

La promoción de programas de educación ambiental y de acopio segregado de residuos aporta, beneficios a la salud de la población, como es el caso de la recolección de llantas viejas para evitar la propagación de vectores, y la prevención de desastres naturales como las inundaciones en temporadas de lluvias. En general, el aprovechamiento de los residuos es de vital importancia en todas las ciudades, ya que, tiene beneficios, como el aprovechamiento de materiales, la disminución de residuos en sitios de disposición final.

Referencias bibliográficas

[1] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2020). Santiago. Indicadores 2020. https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2020&idcom=13101

[2] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (n.d.). Región Metropolitana de Santiago. Chile Nuestro País. Recuperado el 7 de junio de 2024, de https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region13/

[3] Bruxelles-Propreté. (2024). What happens to my waste? Manage My Waste. https://www.arp-gan.be/en/what-happens-my-waste

[4] Bruxelles Environment. (n.d.). Déchets et ressources: état des lieux. L'environment à Bruxelles. Recuperado el 7 de junio de 2024, de https://environnement.brussels/citoyen/outils-et-donnees/etat-des-lieux-de-lenvironnement/dechets-et-ressources-etat-des-lieux#focus-production-totale-de-dechets

[5] Clean Authority of TOKYO. (n.d.). Waste treatment in 23 cities of Tokyo. Waste Disposal of TOKYO 23 Cities. Recuperado el 8 de junio de 2024, de https://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp.e.de.hp.transer.com/

[6] Eur-Lex. (2022). Legislación de la Unión Europea sobre gestión de residuos. Resumen de La Legislación de La Unión Europea. https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html

[7] Gex, E., & Steiner, R. (2019, febrero). Gestion des déchets urbains municipaux solides. Changement Climatique & Environnement. https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/01/NexusBrief_UrbanMunicipalSolidWasteManagement_FR.pdf

[8] Gobierno de México. (n.d.). Data México: Tuxtla Gutiérrez. Data México. Recuperado el 7 de junio de 2024, de https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tuxtla-gutierrez

[9] H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez. (2022). Programa municipal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos de Tuxtla Gutiérrez.

[10] IBSA. (2023). Ville de Bruxelles. Institut Bruxellois de Statistique et d'Analyse. https://ibsa.brussels/chiffres/chiffres-cles-par-commune/ville-de-bruxelles

[11] INEGI. (n.d.). Cuéntame información por entidad. Instituto Nacionacional de Geografía y Estadística. Recuperado el 7 de junio de 2024, de https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/default.aspx?tema=me

[12] INEGI. (2021). Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2020. Comunicado de Prensa Número 727/21. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/pibe/PIBEntFed2020.pdf

[13] INEGI. (2024). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2023. Censos Nacionales de Gobierno. https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2023/

[14] Ingeniera Alemana S.A. (2010). Factibilidad técnico ambiental social y económica para la implementación del Plan de Acción Santiago Recicla 2010. https://santiagorecicla.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/10/Estudio-de-Factibilidad-tecnico-ambiental-social-y-economico-para-la-implementacioŶĄn-del-plan-de-accion.pdf

[15] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. The World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0

[16] Lopez, I. (2022). Relleno sanitario en Tuxtla Gutiérrez con una producción de 650 toneladas de basura. El Heraldo de Chiapas. https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/relleno-sanitario-en-tuxtla-gutierrez-con-una-produccion-de-650-toneladas-de-basura-9308578.html#:~:text=TuxtlaGutiÃĬrrezgeneraunvolumeneldepÃşsitodelosdesechos.

[17] Ministerio del Medio Ambiente. (n.d.). Santiago REcicla. Santiago REcicla. Recuperado el 7 de junio de 2024, de https://santiagorecicla.mma.gob.cl/

[18] Ministerio del Medio Ambiente. (2022). Reporte del Estado del Medio Ambiente 2022. https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2022/

[19] Ministry of the Environment. (2017). Annual Report on Environmental Statistics. https://www.env.go.jp/en/statistics/contents/2017/E2017_Ch4.pdf

[20] OECD. (2024). OECD Data. Municipal Waste. https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm

[21] Presidencia Municipal de León. (2020). Programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos en el Municipio de León Guanajuato. https://leon.gob.mx/medioambiente/micrositio.php?m=14

[22] Presidencia Municipal de León. (2021). Programa de gobierno municipal de León Guanajuato 2021-2024. https://iplaneg.guanajuato.gob.mx/seieg/wp-content/uploads/2022/05/Programa_de_Gobierno_de_Leon_2021_2024__Aprobado_por_Aytto_16dic__1642188454.pdf

[23] Rodríguez-Díaz, A., Díaz-Mendoza, C., Pasqualino, J., & Bahamón-Restrepo, A. (2022). Análisis comparativo de los planes de gestión de residuos sólidos de Bogotá D.C y Ciudad de México. Producción + Limpia, 17(1), 111–135. https://doi.org/10.22507/PML.V17N1A7

[24] SEDEMA. (2021). Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México 2021. https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/residuos/InventariodeResiduosSolidos2021.pdf

[25] SEMARNAT. (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2020.

[26] SIAP. (n.d.). Sistema Integral de Aseo Público. Sistema Integral de Aseo Público. https://www.aseopublicoleon.gob.mx/

[27] Sohkhlet, D., & Nagargoje, S. (2020). Municipal Solid Waste Management: A comparative study between Sydney (Australia) and Pune (India). 6th International Conference on Energy and City of the Future, 170(E3S Web Conf.), 04001. https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017004001

[28] The Government of Japan. (2015). Advanced Waste Disposal Technology Makes Tokyo the Cleanest City. https://www.japan.go.jp/tomodachi/2015/winter2015/advanced_waste_disposal_technology.html

[29] Tokyo Convention & Visitors Bureau. (n.d.). Go Tokio. Portal Oficial de Turismo de Tokyo. https://www.gotokyo.org/es/plan/tokyo-outline/index.html

[30] Vázquez Morillas, A., Alvarez Zeferino, J. C., Tecorralco Bobadilla, A. L., Cruz Salas, A. A., Velasco Pérez, M., Beltrán Villavicencio, M., & Espinosa Valdemar, R. M. (2021). Perspectiva de los residuos plásticos en Ciudad de México.

[31] Zhang, D., Keat, T. S., & Gersberg, R. M. (2010). A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore. *Waste Management*, 30(5), 921–933. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2009.11.017

La incorporación del tema de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en las políticas municipales mexicanas de mitigación al cambio climático

Gran Castro Juan Alberto[1], Venegas Sahagún Beatriz Adriana[2]

[1]Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Periférico Norte N° 799, Núcleo Universitario Los Belenes, C.P. 45100, Zapopan, Jalisco, México.

[2]Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas.

[*]Correo electrónico: juan.gran@cucea.udg.mx

Resumen

En esta investigación se indaga sobre la incorporación del tema de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en las políticas de mitigación al cambio climático planteadas en los programas de acción climática municipales (PACMUN) de aquellos municipios de México que ha presentado conflictos socioambientales relacionados a una mala GIRSU. Se utilizó una metodología cualitativa de estudio de caso. Para la elección de los casos se tomaron los siguientes criterios de inclusión: 1) que el municipio enfrentara conflictos socioambientales vinculados con la GIRSU en el municipio, y 2) que el municipio contara con un PACMUN. Para identificar los casos de conflicto se utilizó como fuente principal el Atlas de Justicia Ambiental y, en complemento, revisión hemerográfica. Lo anterior resultó en 7 municipios para los casos de estudio: Atitalaquia, Coyuca de Benítez, Mérida, Temixco, Tuxtla Gutiérrez, Tijuana y Zapopan. Los resultados señalan que los programas de acción climática fallan en reconocer la situación de los conflictos socioambientales vinculados con la inadecuada GIRSU, lo cual conlleva el diseño de medidas fuera de contexto. Algunas medidas de reducción de gases de efecto invernadero y aprovechamiento energético de residuos representan el potencial de perpetuar o acentuar las situaciones de conflicto. Así, se recomienda equilibrar la formulación de las medidas de mitigación entre el objetivo global de acción climática y la atención de problemas socioambientales locales tanto en la GIRSU como en otros ámbitos de mitigación.

Palabras clave: *Residuos sólidos urbanos*, *cambio climático*, *conflictos socioambientales*, *mitigación*

1. Introducción

El reconocimiento y la preocupación internacional en torno al cambio climático y sus impactos socioambientales ha propiciado en diversos países, incluyendo México, la elaboración e implementación de políticas públicas locales. Estas políticas se fundamentan en planes y programas

de acción climática, herramientas clave para la mitigación y adaptación ante el cambio climático (Hritonenko y Yatsenko, 2022).

El posicionamiento del cambio climático como un problema de urgencia internacional se vincula con tres cursos de acción institucional (Blanco y Günther, 2016): a) el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) que sustenta la relación causal entre calentamiento global y Gases de Efecto Invernadero (GEI) con la intervención de la acción humana como mediadora; b) la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992, intentando coordinar la reducción de emisiones en el mundo; y c) la representación de los GEI que pasaron a ser señalados como el "enemigo público" número uno. Uno de los avances más representativos para consolidar la importancia de atender el cambio climático se dio en la Conferencia de las Partes número 21 (COP21), con el Acuerdo de París, firmado el año 2016, el cual se posiciona como la promesa más reciente para hacer frente al cambio climático.

Con el transcurso del tiempo, ha aumentado la valoración de los gobiernos locales debido a los acuerdos derivados de las Conferencias de las Partes. En 2019, tuvo lugar la COP25 en Madrid, en la cual se intentó llevar a cabo una revisión de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés), tomando en consideración las acciones y compromisos establecidos por los gobiernos locales de los países miembros.

En 2020, durante la COP26 en Glasgow, se reservó un día específico para analizar el papel de los gobiernos locales, siguiendo esta misma intención. El enfoque se centró particularmente en los gobiernos locales en áreas urbanas, reconociendo que las ciudades son especialmente susceptibles y, simultáneamente, lugares donde se emite la mayor parte de los GEI. En este sentido, según Caetano et al. (2020), el sector de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es el cuarto mayor emisor GEI a nivel mundial, contribuyendo con entre el 5.5% y el 6.4% de las emisiones de metano cada año, por lo que el incorporar el tema de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en los programas de acción climático se vuelve fundamental.

El objetivo de esta investigación es analizar la incorporación del tema de la GIRSU dentro de las medidas de mitigación al cambio climático como un tema prioritario en los programas locales de acción climática en México en aquellos municipios que han presentado conflictos socioambientales relacionados a una mala GIRSU.

1.1. La política de Acción Climática en México y su vinculación con la GIRSU

México ha ratificado diversos acuerdos internacionales relacionados con el cambio climático, como el Acuerdo de París. Como parte de sus compromisos, México se ha comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 22% para 2030 (INECC, 2020). Sumado a lo anterior, México ha emitido seis comunicaciones nacionales sobre cambio climático, la primera publicada en 1997, después 2001, 2006, 2009, 2012 y la más reciente en 2018. Estos documen-

tos tienen la finalidad de informar sobre los esfuerzos que el gobierno federal ha realizado para enfrentar el cambio climático.

Además, en 2012, México promulgó la Ley General de Cambio Climático, que establece un marco legal para la mitigación y adaptación al cambio climático en el país. Esta ley establece la creación de políticas y programas para reducir las emisiones de GEI, promover energías renovables, fomentar la conservación y restauración de ecosistemas, y fortalecer la resiliencia ante los impactos del cambio climático.

A partir de la Ley General de Cambio Climático se instauró formalmente la política nacional de cambio climático y se definieron las diversas obligaciones y facultades que competen a las autoridades gubernamentales en los tres órdenes de gobierno respecto al cambio climático. En particular, el artículo siete de la Ley General establece que la federación es encargada de formular, instrumentar, dar seguimiento y evaluar la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y el Programa de Especial de Cambio Climático (PECC).

Por su parte, en los artículos ocho y nueve de la Ley General se establece que corresponde a las entidades federativas y a los municipios formular, conducir y evaluar la política de cambio climático en el ámbito de sus respectivas competencias, así como en relación con la política nacional y las políticas estatales. Es decir que la política de cambio climático estatal y municipal tiene como centro los Programas Estatales y Municipales de Acción frente al Cambio Climático (PECC y PMACC, respectivamente por sus siglas en español).

Un programa de acción climática municipal en México, en términos amplios, se constituye mediante un diagnóstico de las condiciones climáticas locales y los impactos del cambio climático, estableciendo objetivos y metas de reducción de emisiones y adaptación. Incluye acciones concretas de mitigación, como el uso de energías renovables y eficiencia energética en sectores específicos (industria, movilidad y residuos, por ejemplo), y acciones de adaptación, como la gestión del agua y la planificación urbana y territorial.

En materia de residuos, la Ley General de Cambio Climático establece que, para el año 2018, los municipios, deberían haber planificado y construido infraestructuras destinadas al manejo de RSU en áreas urbanas con más de cincuenta mil habitantes. Esto con la finalidad de evitar la emisión de metano a la atmósfera. Además, siempre que sea factible, se promovería la implementación de tecnología que permita aprovechar las emisiones de gas metano para generar energía eléctrica.

2. Metodología

La metodología de esta investigación es cualitativa, basada en estudios de caso y el análisis del discurso. Respecto a los estudios de caso, la adoptación del enfoque se basa en su pertinencia para el análisis comparativo de planes, programas y políticas de gobiernos locales (Arzaluz Solano, 2005), pues permite indagar en factores y/o problemas comunes entre los propios casos. La elección de los casos para esta investigación se basó en dos criterios de inclusión: a) la presencia de

conflictos socioambientales vinculados con la inadecuada disposición final de residuos sólidos y b) la existencia de un programa municipal de acción frente al cambio climático.

Para identificar los casos de conflicto se utilizó como fuente principal el Atlas de Justicia Ambiental (`https://ejatlas.org/`) y, en completo, la consulta de notas periodísticas e informes gubernamentales. En total, se detectaron 40 conflictos socioambientales relacionados con la inadecuada disposición final de residuos en el México.

Una vez detectados los 40 conflictos socioambientales en los municipios, se procedió a ubicar si dichos municipios cuentan con un programa municipales de acción ante el cambio climático. Lo anterior resultó en 9 municipios con un programa de acción climática, de estos se excluyeron 2 municipios ya que sus programas eran de índole regional o metropolitano. Con esto, se obtuvo un total de siete municipios para los casos de estudio: Atitalaquia, Hidalgo; Coyuca de Benítez, Guerrero; Mérida, Yucatán; Temixco, Morelos; Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Tijuana, Baja California y Zapopan, Jalisco.

En términos operativos, para el análisis de los programas y sus estrategias de mitigación en el sector residuos, se construyó una base de datos para sistematizar el análisis de discurso de los programas municipales de acción ante el cambio climático. A partir de la organización de los datos se implementó un análisis de contenido, el cual refiere a método flexible de reducción y sistematización de datos que permite describir el significado del material de investigación (Schreier, 2013).

Las variables de análisis se orientaron por tres grupos de variables: situación de conflicto socioambiental, características de los programas de acción climática y medidas de mitigación en el sector residuos (véase Tabla 1). Respecto al último grupo de variables se consideraron las etapas técnicas de la GIRSU de acuerdo con Olay-Romero et al. (Olay-Romero et al., 2020): prevención (incluyendo reúso), generación, limpieza viaria o barrido, recolección, estaciones de transferencia, valorización y tratamiento (reciclaje, compostaje, recuperación, preparación para la reutilización, valorización energética y otros tratamientos), y eliminación (vertido final, depósito controlado e incontrolado, incineración sin recuperación de energía).

Tabla 1: Variables y categorías para el análisis de las medidas de mitigación

Grupos de variables	**Variables**
Situación de conflicto	Entidad federativa (Estado), Municipio, Denominación del conflicto socioambiental, Descripción del conflicto socioambiental

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Variables y categorías para el análisis de las medidas de mitigación (*continuación*)

Grupos de variables	Variables
Características de los programas de acción climática	Municipios con programa de acción climática y presencia de conflictos socioambientales, Número de versión del programa, Generación de residuos sólidos urbanos reportados en el programa (kg/día), Periodo de la administración municipal en que se publicó el programa, Cooperación de instancias internacionales en la formulación del programa, Objetivo de mitigación en el sector residuos, Contexto de la gestión de residuos, Problema principal en torno a la gestión de residuos, Causas del problema, Consecuencias del problema, Soluciones vinculadas con la mitigación en el sector residuos
Medidas de mitigación en el sector residuos	Descripción de la medida de mitigación, Número de medidas de mitigación, Medida de mitigación por etapa de la gestión integral de residuos sólidos urbanos

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente apartado se presentan los resultados de investigación. Primero, se aborda lo referente al primer grupo de variables respecto a los casos de estudio desde la situación particular de los conflictos socioambientales por disposición final de residuos sólidos urbanos. Segundo, se expone el análisis del discurso de los programas a partir del segundo y tercer grupo de variables: las características de los programas de acción climática y sus medidas de mitigación en el sector residuos. Así, se muestra en la disposición de las medidas de mitigación de los programas para reconocer los conflictos socioambientales vinculados con la GRS.

3. Resultados, conflictos socioambientales y medidas de mitigación

Una de las causas principales del cambio climático en el discurso internacional son los GEI y el sector residuos es uno de los más importantes en torno a la generación de dichos gases, particularmente en la etapa de disposición final. La generación de gas metano en la disposición final de RSU es un proceso natural y biológico que ocurre cuando los desechos orgánicos presentes en los vertederos y rellenos sanitarios se descomponen en condiciones anaeróbicas, es decir, en ausencia de oxígeno. El metano (CH4) es un gas de efecto invernadero muy potente en términos de su capacidad para atrapar el calor en la atmósfera.

Sin embargo, el problema en la disposición final no termina en la generación de GEI. Los gobiernos locales enfrentan incremento gradual en el volumen de residuos, la falta de sitios de dispo-

sición final adecuados, el limitado financiamiento y la falta de capacidades institucionales; lo que resulta en diversas situaciones de conflictos socioambientales. En los estudios de caso, los conflictos inician alrededor de finales de los ochenta y principios de los noventa, sin presentar soluciones contundentes al 2023. De aquí que la mitigación requiere abordar las causas subyacentes de una inadecuada GIRSU y no limitarse a las implicaciones atmosféricas de los GEI.

3.1. Conflictos socioambientales por disposición final de residuos sólidos urbanos

Mérida, Yucatán. Este municipio tiene un total de 995,129 habitantes (INEGI, 2020) y se recolectan diariamente 1032 ton/RSU/día los cuales ingresan directamente al sitio de disposición final del mismo municipio; en lo que respecta al control de biogás, en este sitio se realiza quema con pozos individuales (INEGI, 2021). Este sitio ha sido motivo de debate y lugar del conflicto socioambiental, debido a los impactos ambientales y de salud que provoca. Se han reportado problemas de contaminación en el agua subterránea y en el aire, además de la presencia de malos olores y plagas.

Desde el año 2020 los habitantes cercanos al vertedero y diversas organizaciones han solicitado la implementación de medidas para mitigar estos problemas y una mejor gestión de los residuos. Al 2023 aún hay denuncias sobre la afectación del sitio de disposición final a la población. Cabe mencionar que en el año 2018 se publica el Programa de Acción contra el Cambio Climático del municipio y no se ha actualizado.

Zapopan, Jalisco. Es uno de los municipios con mayor población a nivel nacional teniendo 1 476 491 habitantes (INEGI, 2020), así mismo es parte de las áreas metropolitanas más grandes de México: el área metropolitana de Guadalajara. Al año 2020 se recolectaron en este municipio un total de 1 350 ton/RSU/día (INEGI, 2021).

Zapopan cuenta con dos sitios de disposición final en predios contiguos, uno es público y otro es privado: para el control de biogás, en el sitio municipal se tienen pozos de desfogue o venteo (chimeneas sin quema de gas) y en el privado se tiene quema con pozos individuales; en el sitio público se depositan los RSU del mismo municipio, y en privado de otros municipios y de manejo especial

A pesar de que el sitio público sigue operando, su vida útil fue extendida con la construcción de otra celda, ya que se confirmó la saturación de este en el año 2020. Los dos sitios de disposición final han sido motivo de preocupación y conflictos por parte de la población aledaña a estos debido a su impacto en la calidad del aire y la contaminación del agua en la región. Las comunidades cercanas han denunciado problemas de salud desde el año 2008 y exigen una gestión adecuada de los residuos, así como alternativas más sostenibles para la disposición de los desechos (Venegas Sahagún, 2018). Zapopan publica su programa de Acción Climática en 2022.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Este municipio se encuentra en la zona sur del país y cuenta con una población de 604,147 habitantes (INEGI, 2020). La recolección de residuos es de 560 ton/RSU/día y la forma en que realizan el control de biogás en el sitio de disposición final es a través de pozos

de desfogue o venteo (INEGI, 2021). En el año 2020 la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH) de México emitió la Recomendación 3/2020 en donde hace el reconocimiento de la contaminación del Río Suchiapa debido a la mala gestión de residuos. El programa de Acción Climática se publicó en el año 2016 y no ha tenido actualizaciones.

Coyuca de Benítez, Guerrero. Es una ciudad costera y se ubica en la costa sur del país, cuenta con 73,056 habitantes (INEGI, 2020), La recolección en este municipio es de 46.6 ton/RSU/día (INEGI, 2021). En el sitio de disposición final no se reporta ningún tipo de control de biogás. En este caso, la CNDH EN el año 2018 presentó la Recomendación 47/2018 por el daño ambiental y a la salud que ocasiona el basurero a cielo abierto del municipio de Coyuca de Benítez, de la región Costa Grande, ya que ha impactado en el suelo y en las fuentes de agua del territorio.

Tijuana, Baja California. Este municipio se encuentra al norte del país, colindando con Estados Unidos de América, por lo que es un lugar clave de entrada y salida del mismo. Su población es de 922 523 habitantes (INEGI, 2020). En este municipio se recolectan 1 793.9 ton/RSU/día; en el sitio de disposición final se cuenta con pozos de venteo para la emisión del biogás (INEGI, 2021). Este municipio tiene un problema sobre el control de los residuos peligrosos, ya que éstos llegan a parar en sitios clandestinos y en el propio sitio de disposición final del municipio, lo que ha ocasionado un serio conflicto socioambiental. El sitio de disposición final ya cumplió con su vida útil.

Atitalaquia, Hidalgo. De los siete municipios analizados, este es el municipio con menor número de habitantes, teniendo un total de 31 525 (INEGI, 2020), así mismo es en el que se recolecta la menor cantidad de RSU por día, siendo un volumen total de 14.5 ton/RSU/día (INEGI, 2021). En este municipio no se tienen oficialmente reportados sitios de disposición final, sin embargo, en el 2022 el mal manejo del sitio clandestino cobró la vida de un activista ambiental que trataba de impedir el paso a los camiones de basura, esto con el objetivo de que el gobierno mejorara la GIRSU en este sitio, ya que las externalidades del mal manejo ya estaban siendo presentes.

Temixco, Morelos. El número de habitantes total es 122 263 (INEGI, 2020), en este mismo año se recolectaron 65.5 ton/RSU/día, los cuales no tienen ningún tipo de control o tratamiento (INEGI, 2021). En este municipio, al igual que en Atitalaquia, no se tiene reportado un sitio de disposición final en las bases de datos de INEGI, sin embargo, en el 2021 el ayuntamiento municipal reabre el sitio, a pesar de que había sido clausurado por el mal manejo de sus residuos. Los municipios anteriormente mencionados tienen que dar solución a los problemas relacionados con la deficiente disposición final de sus RSU, los cuales están generando conflictos socioambientales por sus impactos negativos a la salud de la población y al medio ambiente, siendo este último un punto importante en lo que refiere a los GEI y las estrategias de mitigación que se puedan proponer dentro del plan de acción climática.

3.2. Medidas de mitigación en los programas de acción climática municipal desde el sector residuos

Los siete estudios de caso analizados cuentan con programas de acción climática de reciente creación, elaborados entre 2016 y 2023. Para su formulación, los municipios contaron con el apoyo técnico de instituciones diversas. El programa de Zapopan fue liderado por Global Covenant of Mayors (GCOM), y el de Mérida y Temixco por Local Governments for Sustainability (ICLEI); el programa de Coyuca contó con la colaboración de Climate & Development Knowledge Network. Por su parte, Atitalaquia, Coyuca, Tijuana y Tuxtla Gutiérrez contaron con apoyo de instancias gubernamentales locales, sin colaboración internacional.

Los programas que fueron elaborados en vinculación con instancias internacionales como GCOM e ICLEI, tienden a compartir elementos comunes. La estructura del documento es similar, considerando medidas de mitigación a partir de un inventario de GEI y medidas de adaptación derivadas de un diagnóstico de riesgos. Si bien, el sector residuos está presente en las medidas de mitigación, el interés se centra en temas en boga como el energía y movilidad. Los programas sin cooperación internacional tienden a ser menos homogéneos y a priorizar la perspectiva de mitigación, dejando de lado elementos de adaptación. Así mismo, el manejo de RSU en sus diferentes etapas está más presente.

Los programas de acción climática de los siete casos de estudio plantean, en primer lugar, objetivos vinculados con las metas planteadas en acuerdos internacionales de cambio climático. En segundo lugar, los objetivos hacen referencia a los programas, estrategias y normatividades mexicanas. Se mencionan, por ejemplo, el Acuerdo de París, los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el plano internacional; y los programas y estrategias nacionales y estatales de cambio climático, así como la ley general de cambio climático al interior del país. Esto muestra una articulación entre los distintos niveles y órdenes institucionales que influyen en la elaboración de los programas locales de acción climática.

La articulación entre estos documentos tiene implicaciones positivas. Los programas locales de acción climática logran tener objetivos comunes entre sí. Por ejemplo, existe un acuerdo generalizado respecto a la importancia de reducir la generación de gases de efecto invernadero para lograr mantener la temperatura global por debajo de los 1.5 grados centígrados para 2030. Con esto, en términos de mitigación, los programas de los casos analizados establecen metas específicas de mitigación en los sectores de mayor generación de GEI. En el sector de la GRS, por ejemplo, el programa de Mérida establece su intención de disminuir el 6.2% de las emisiones generadas por actividades del sector desechos sólidos en el municipio a 2030. El resto de los programas en los siete casos de estudios se suman a la reducción de GEI con referencia al 2030. Con esta finalidad, los programas determinan que la situación en torno a la generación de residuos sólidos urbanos en los municipios se asocia con el incremento poblacional.

El programa del municipio de Mérida, por ejemplo, establece que el crecimiento demográfico, los cambios en los patrones de consumo y las actividades productivas en una sociedad han dado

lugar a la urbanización y al uso de recursos naturales para satisfacer las necesidades de bienes y servicios. Como consecuencia, se generan diversos tipos de desechos urbanos.

En este contexto se establece que el incremento demográfico y sus implicaciones (cambio en los patrones de consumo y crecimiento urbano acelerado, por ejemplo) generan mayor cantidad de residuos y esto, a su vez, produce GEI a la atmósfera. Según lo establecido en los programas locales de acción climática, la problemática principal se encuentra en los sitios de disposición final. Se reconoce que la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos en los vertederos es la principal fuente de producción de gas metano en el sector de residuos. Sin embargo, las causas del problema están desvinculadas del mismo, así como las soluciones propuestas; mientras que los efectos del problema se centran en los GEI.

Son poco abordados otros efectos de la incorrecta disposición final, tales como la contaminación del suelo y agua por la generación de lixiviados y la pérdida de biodiversidad por el cambio de uso de suelo para la instalación de los vertederos. Aun y cuando este tipo de efectos se dan en el territorio local desde hace décadas para los casos seleccionados. Por ejemplo, como se mencionó en el apartado anterior, en los casos de Tijuana, Tuxtla Gutiérrez y Zapopan, los vertederos han rebasado su vida útil y aún continúan operando. El programa municipal de Tijuana reconoce que su vertedero de residuos ha estado en funcionamiento desde el año 2003, cubriendo un área de 100 hectáreas al Sur Oriente del municipio. Se proyecta que su vida útil será de 20 años, lo que implicaría que alcanzaría su capacidad máxima en el año 2023. Aun así, en el programa no hay acciones concretas para un cierre adecuado del sitio.

La mención de las poblaciones afectadas por la contaminación de los sitios de disposición final es nula en todos los casos estudiados. En este sentido, en las medidas de mitigación de los programas analizados fallan en plantear acciones orientadas los problemas de contaminación ambiental en esta etapa. Lo anterior a pesar de los conflictos socioambientales vinculados con la disposición final que enfrentan los municipios.

En la Figura 1 se presentan las medidas de mitigación de los programas de acción climática estudiados acorde a las etapas de la GIRSU y en el material complementario es posible consultar el listado completo de las medidas de cada programa.

Los programas de acción climática de los municipios proponen estrategias que impactan en la prevención, generación y valorización, y tratamiento, principalmente. Aquí destaca el fomento de la participación ciudadana para la minimización de los residuos, la separación de los residuos generados desde la fuente, la elaboración de planes de manejo de RSU, la realización de composta de residuos orgánicos, aprovechamiento energético de los residuos y el tratamiento de estos. Si bien son estrategias que suman a la reducción de los GEI, en la revisión de los casos de estudio solo se encontraron dos medidas de mitigación orientadas a la etapa de eliminación (sitio de disposición final).

Con esto se observan medidas de mitigación orientadas a cumplir con las metas e indicadores de la acción climática internacional antes que a dar respuesta a la crisis ambiental vivida en el propio territorio. Incluso, es importante señalar que, en cinco de los programas analizados, se plan-

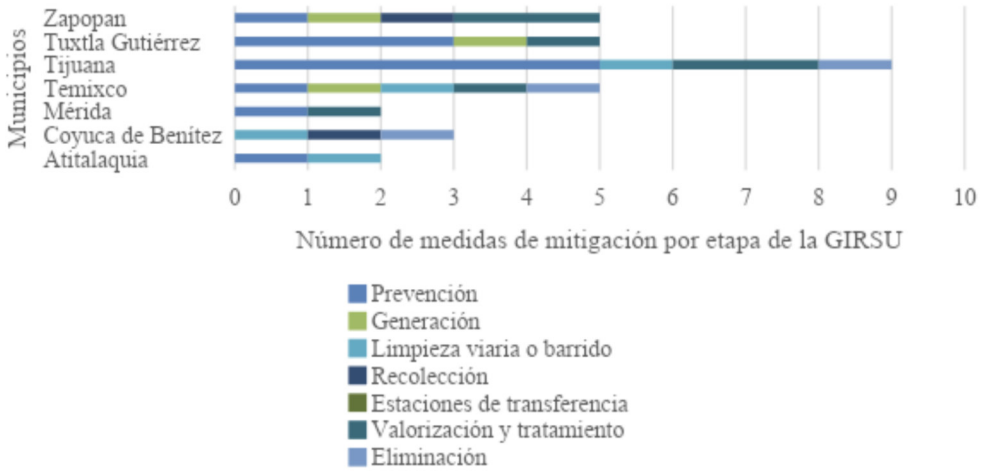


Figura 1: Medidas de mitigación por municipio analizado.

tearon medidas de mitigación para la GIRSU en la etapa de valorización. Estas medidas refieren al aprovechamiento energético de gas metano en los vertederos aún y cuando presentan situaciones de conflicto socioambiental. Así, los programas propician que los vertederos continúen recibiendo residuos aún y cuando la vida útil de los mismos haya caducado, lo cual es contradictorio en términos de justicia climática.

3.3. Discusión

El discurso internacional de cambio climático materializado en tratados como el Acuerdo de París o las Conferencias de las Partes, ha permitido que la formulación de planes y programas locales para la acción climática avance significativamente (Solecki et al., 2021) México evidencia esta dinámica al ser un país que, desde su legislación, ha hecho obligatoria la formulación de dichos programas. Sin embargo, en esta investigación se observa que los casos de estudio analizados presentan programas municipales de acción climática con una visión reduccionista del problema que se busca enfrentar. El cambio climático tiende a plantearse como un asunto que requiere únicamente de la reducción de GEI para ser resuelto.

Lo que muestran los casos de estudio en esta investigación es que los programas municipales de acción ante el cambio climático fallan en reconocer las causas de la crisis climática que, en primer lugar, se debe a los procesos de despojo y contaminación, en donde las necesidades y problemáticas del territorio local quedan rezagadas en lo que respecta a las respuestas frente al cambio climático.

La tendencia en las medidas de mitigación de los casos de estudio es promover acciones paliativas cuya implementación, incluso, podría agravar los conflictos socioambientales en el territorio. Dicho esto, se sostiene que los programas locales de acción climática analizados están planteando guías fuera del contexto mexicano. Más que resolver o reducir los efectos por mala disposición de residuos, el planteamiento de los programas se enfoca en la valorización de residuos, lo cual con-

lleva posibles escenarios de conflicto socioambiental vinculados a la disposición final de residuos sólidos urbanos.

Lo anterior es claro cuando las propuestas de mitigación se orientan al aprovechamiento energético del gas metano en sitios de disposición final que, en principio, han concluido con su vida útil. Esta tendencia se ha identificado en otras investigaciones que evidencian cómo el discurso para la acción climática está dominado por enfoques tecnológicos basados en mecanismos de mercado para controlar las emisiones de carbono (Lankao, 2007).

En los casos aquí estudiados, el potencial para mejorar la GIRSU y promover la resolución de conflictos socioambientales es deficiente, a pesar de que los municipios enfrentan desde hace décadas dichos conflictos por mala disposición final de residuos. Aún y cuando la cooperación internacional se ha considerado clave para el avance en la formulación efectiva de programas de acción climática, existe una la falta de elementos vinculados a la atención de conflictos socioambientales en los procesos de mitigación de los programas que recibieron apoyo de instancias internacionales como ICLEI y GCOM.

Si bien, aquí no se niega la importancia de los procesos colaborativos entre distintas instancias (sector público, iniciativa privada, asociaciones civiles, organizaciones internacionales, etc.), con base a los resultados obtenidos, se sostiene la necesidad de repensar las bases discursivas que orientan el diseño de los programas de acción climática local. El hecho de que la planeación de la acción climática local priorice las agendas y discursos posicionados por naciones de países desarrollados implica una baja probabilidad de implementar exitosamente medidas que atiendan las injusticias socioambientales del propio territorio.

4. Conclusiones

En este estudio se analizaron siete municipios mexicanos que enfrentan conflictos socioambientales vinculados con la disposición final de residuos y que cuentan con programas locales de acción climática. El objetivo de la investigación fue analizar las medidas de mitigación propuestas en dichos programas y el reconocimiento de los problemas de injusticia climática desde los conflictos socioambientales derivados de la etapa de disposición final. Esto con la intención de valorar el potencial de los gobiernos locales para promover la justicia climática en el territorio de su competencia.

Como hallazgo principal se encontró que, los conflictos socioambientales por disposición final figuran en los programas municipales de acción ante el cambio climático de los casos de estudio. Esto a pesar de reconocer como problema central del sector residuos la disposición final. En este tenor, las medidas de mitigación de los programas están poco vinculada con los problemas dentro del contexto municipal, como consecuencia, los casos de conflicto socioambiental por disposición final quedan invisibilizados e, incluso, en riesgo de ser agravados en la implementación de las medidas de mitigación orientadas a la valorización de GEI.

La dinámica anterior conlleva una situación de injusticia climática en los términos planteados en esta investigación: la relación entre la justicia climática en entornos urbanos y la reducción del cambio climático reside en la necesidad de que las medidas de mitigación aborden tanto las causas fundamentales como las desigualdades vinculadas a los efectos del cambio climático. Así, con este estudio se contribuye con conocimientos críticos y empíricos que permiten ampliar el debate sobre la justicia climática y la mitigación, proporcionando un marco teórico y metodológico que permita investigar otros casos de estudio. Las limitaciones de esta investigación se encuentran principalmente en las implicaciones de la recolección de datos sobre las situaciones de conflicto identificadas. Sería pertinente llevar a cabo estudios de trabajo de campo que permitan profundizar en las situaciones de conflicto mediante herramientas metodológicas como la entrevista y los grupos focales. Aunado a esto se identifican áreas de oportunidad para futuras investigaciones:

¿Cuál es la percepción y la perspectiva de los afectados por conflictos socioambientales por disposición final de RSU sobre las medidas de mitigación de los programas de acción climática?

¿Cuál es el papel de la participación comunitaria en la formulación de los planes de acción climática y qué tanto valoran la experiencia de las poblaciones afectadas por problemas de despojo y contaminación ambiental?

¿De qué manera incide la adopción de otros discursos conceptuales como economía circular, descarbonización o desarrollo resiliente en programas de acción climática que respondan a las necesidades locales y que garanticen la justicia climática? ¿Cuál es el alcance de las medidas de mitigación respecto a la promoción de la justicia climática en otros sectores prioritarios en la generación de GEI?

Referencias bibliográficas

[1] Arzaluz Solano, S. (2005). La utilización del estudio de caso en el análisis local. *Región y Sociedad*, 17(32), 107-144.

[2] Blanco, G., & Günther, G. (2016). Introducción. Cambio ambiental global y políticas ambientales en América Latina. En G. Günther & A. Gutiérrez (Coords.), *La política del ambiente en América Latina. Una aproximación desde el cambio ambiental global* (pp. 15-36). UAM.

[3] Caetano, M., Góis, J., & Leitão, A. (2020). Challenges and perspectives of greenhouse gases emissions from municipal solid waste management in Angola. *Energy Reports*, 6, 364-369. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.074

[4] Hritonenko, V., & Yatsenko, Y. (2022). Sustainable adaptation and mitigation in regions and cities: Review of decision-support methods. *Resources Conservation & Recycling Advances*, 13, 200066. https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200066

[5] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2020). Análisis de los instrumentos de política climática en municipios. https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/EI_09.html

[6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#collapseccpv0

[7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021. https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/

[8] Lankao, P. R. (2007). Are we missing the point? Particularities of urbanization, sustainability and carbon emissions in Latin American cities. *Environment and Urbanization*, 19(1), 159-175. https://doi.org/10.1177/0956247807076915

[9] Olay-Romero, E., Turcott-Cervantes, D. E., Hernández-Berriel, M. C., Lobo García de Cortázar, A., Cuartas-Hernández, M., & De la Rosa-Gómez, I. (2020). Technical indicators to improve municipal solid waste management in developing countries: A case in Mexico. *Waste Management*, 107, 201-210.

[10] Schreier, M. (2013). *Qualitative content analysis in practice*. SAGE.

[11] Solecki, W., Delgado Ramos, G. C., Roberts, D., Rosenzweig, C., & Walsh, B. (2021). Accelerating climate research and action in cities through advanced science-policy-practice partnerships. *NPJ Urban Sustainability*, 1(1), 3. https://doi.org/10.1038/s42949-021-00015-z

[12] Venegas Sahagún, B. A. (2018). Conflicto socioambiental y rellenos sanitarios en los pueblos de la Barranca en Zapopan, Jalisco. *Carta económica regional*, 121, 193-215.

Modelo de Manual de Cumplimiento Legal para Rellenos Sanitarios en México: Caso de Estudio en Poza Rica de Hidalgo Veracruz

Rommel Rodrigo Skynka López[1], Nadia Angelica Cruz Vázquez[1], Ana Lizette Sánchez Meza[1], Juan Manuel Pech Canche[2], Juan Carlos López Acosta[2], Erika Fuentes Vergara[3]

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Poza Rica, Veracruz, México.
[2]Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.
[3]Evaluación Asesoría y Servicios Integrales A.C., Poza Rica, Veracruz, México.

*Correo electrónico: nadcruz@uv.mx

Resumen
El análisis de la legislación es un punto crucial para el desarrollo de cualquier proyecto en un lugar y momento determinado es de mayor importancia cuando el proyecto es fundamental para la calidad de vida de una población, y los recursos para su ejecución son limitados. Este proyecto genera un manual que evalúa un relleno sanitario en cualquiera de sus cuatro etapas de desarrollo o en todas en su conjunto, alineándolo a lo dispuesto en la normativa mexicana; y adaptable a lo que se expide en fuentes del derecho a niveles estatales y municipales. Se orienta a la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Ver., que presenta un problema con la disposición de sus residuos al no contar con un sitio que garantice un eficaz y eficienticen destino final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
El potencial de los resultados podrá reflejarse en el beneficio directos de los pozarricenses y demás municipios circunvecinos. Así mismo, este modelo del manual puede ser adaptado para su aplicación en otros sitios del estado de Veracruz o del país.

Palabras clave: *Manual*, *legislación*, *Poza Rica*, *relleno sanitario*, *residuos*

1. Introducción

Los rellenos sanitarios (RS) son uno de los métodos de destino final de residuos más utilizados en el mundo, los cuales por lo general reemplazan a los tiraderos a cielo abierto (Ghanbari et al., 2012). Las grandes ciudades del mundo suelen tener problemas para la instalación y reubicación de los RS (Bocanegra et al., 2001), principalmente por no contar con terrenos adecuados según su normatividad, o porque el crecimiento poblacional encarece la tierra, lo que hace más costoso tenerlos estratégicamente cerca de las ciudades (Ghobadi et al., 2020).

En el plano nacional, los RS constituyen el principal método de destino final de los residuos sólidos urbanos (RSU), con normas específicas para su instalación y funcionamiento. La norma que

se instauró a nivel federal no regula algunos puntos específicos, y deja una libre interpretación y conjetura de estos a las jurisdicciones estatales y municipales, las cuales en muchos lugares del país no han dado seguimiento a estos puntos, o su normatividad no se adapta a las necesidades de su población.

Por lo anterior, es necesario generar un manual para tomadores de decisiones en materia de cumplimiento legal, basado en la legislación aplicable y vigente y orientado a la evaluación de rellenos sanitarios. En este caso de estudio, los tomadores de decisiones son los ediles del Ayuntamiento de Poza Rica de Hidalgo, Ver. quienes son los que cuentan con el poder para aprobar un nuevo relleno sanitario que sirva a la ciudad de Poza Rica en el destino final de RSU (H. Ayuntamiento Constitucional de Poza Rica de Hidalgo, Ver., 2019).

Para ello el problema a resolver con este trabajo es la falta de material de apoyo técnico con un lenguaje practico para el cuerpo edilicio de la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Ver. con respecto a rellenos sanitarios que se utilizan en la actualidad, a los que presenten cierre temporal o definitivo o a los futuros sitios de destino final de RSU que sirvan a esta ciudad. La falta de evaluaciones de gestión ambiental y cumplimiento legal en los futuros proyectos de rellenos sanitarios para Poza Rica de Hidalgo, Ver. Impide que los tomadores de decisión tengan una visión clara del destino final de los desechos, además que, al no ser profesionales en cuestiones de ecología y medio ambiente, manejo integral de residuos y ordenamiento territorial, la información actualmente existente contiene sesgos en su interpretación técnica.

1.1. Contexto de la situación actual del relleno sanitario de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz.

En octubre del 2020, en la página de la Procuraduría Estatal del Medio Ambiente (PEMA) se publica que la empresa Promotora Ambiental de Laguna S.A de C.V. (PASA) debería realizar acciones de remediación de daños en el área del relleno sanitario ubicado en Poza Rica de Hidalgo, Ver., el cual cerraría operaciones definitivamente en ese diciembre debido al desequilibrio ecológico causado durante su operación de los últimos 12 años, como en su momento lo declaró el Procurador Estatal de Protección al Medio Ambiente, Sergio Rodríguez Cortés (Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente, 2020).

A partir de diciembre del 2020, el sitio fue clausurado en su totalidad por lo que a partir de esa fecha dejaron de depositarse 180 toneladas promedio de basura que se generan diariamente. Y es fecha que la ciudad no tiene certidumbre sobre el destino de sus residuos sólidos urbanos.

2. Metodología

En este contexto, se diseña un manual para el cumplimiento legal de rellenos sanitarios en México, aplicándolo al caso de estudio: Poza Rica de Hidalgo, Ver. Por sus características, el presente análi-

sis constituye una investigación del tipo documental que se llevó a cabo a través de los siguientes pasos:

1. Selección y revisión de la normativa y legislación federal, estatal y municipal aplicable al cumplimiento legal de RS en México, el estado de Veracruz y lo aplicable a la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Ver., consultándose los portales y fuentes de información que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Portales de Gobierno consultados para normativa

Niveles de Gobierno	**Normativa**
Federal	Diario Oficial de la Federación (DOF)
Leyes Vigentes Federales	Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión
Local (Veracruz)	Gaceta Oficial del Estado de Veracruz
Legis Ver	Cámara de Diputados del H. Congreso del Estado de Veracruz
Normativa Municipal (Poza Rica)	Prontuario Municipal (Instrumentos Normativos Municipales) – Gobierno de Poza Rica

2. Análisis para la identificación de la vinculación directa de los ordenamientos jurídicos aplicables a cada una de las etapas de desarrollo de un RS (selección del sitio, construcción, operación y cierre).

3. Elaboración del Manual de Cumplimiento Legal para RS, con base a la estructura del Manual de Elaboración de Planes de Cumplimiento Normativo para Entidades del Tercer Sector de Acción Social (Gutiérrez et al., 2020), a partir del análisis de vinculación jurídica, abarcando los siguientes apartados:

   a) Objetivo: El manual contara con una introducción, iniciando ideas de los general a lo particular. Abordaremos de los rellenos sanitarios, su contexto internacional y nacional, la necesidad de generar herramientas de evaluación; y el caso específico que se vive en la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Ver. en cuanto a los residuos sólidos urbanos.

   b) Glosario: Se contará con un glosario que ayudará a contextualizar el trabajo planteado, colocando definiciones históricas, científicas, y legales, vinculadas al campo de aplicación de los RS. Las definiciones son una herramienta que ayuda a las personas a relacionarse con un texto determinado, en este caso, el manual que se plantea está orientado para que los tomadores de decisiones puedan analizar sus resultados, y generar acciones enfocadas a la evaluación legal de un relleno sanitario, o proyectos para ejecutar

su instalación; de igual manera se colocan términos propios de la parte orgánica del manual.

c) Presentación de Matriz de Cumplimiento: Para elaboración del Instrumento de Evaluación que medirá el grado de cumplimiento, se adaptan la matriz de marco lógico y la matriz de medios de verificación expandidos, que sintetizan información ambiental (LGPGIR, 2023); que nos ayudara a medir el grado de cumplimiento del RS de la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Ver. o de las propuestas que se presenten para esta ciudad, utilizando como estándar la normativa aplicable.

La matriz diseñada se basa en matrices de manuales de gestión ambiental (Ortegón et al., 2005), pero tiene características en particular para un relleno sanitario localizado dentro del polígono que limita el territorio del Municipio de Poza Rica de Hidalgo, Ver.

Así mismo en el diseño de la matriz de cumplimiento adaptaremos en método de William Fine, de evaluación de riesgos, de esta manera obtendremos dos parámetros a analizar, el "Grado de Cumplimiento" y el "Grado de Riesgo por Incumplimiento". Este método es adaptado, para medir el riesgo de incumplir con mandatos que establece la legislación aplicable (Ghanbari et al., 2012). Cada etapa de vida del RS contará con una matriz independiente, las 4 etapas son selección del sitios, construcción, operación y cierre (NOM-083-SEMARNAT-2003, 2003). De esta manera podremos analizar el grado de cumplimiento con respecto a la normativa. Y en un siguiente termino se procederá a promediar los resultados de cada evaluador para poder proceder a la interpretación de los resultados.

d) Guía para utilización de la Matriz de Cumplimiento Se utilizará una guía para explicar cómo se utilizan las matrices que componen la parte orgánica del manual, así como el método para obtener los resultados. Esta guía estará conformada de textos, cuadros y figuras, que explicaran los pasos para llegar al resultado numérico del "Grado de Cumplimiento" y el "Grado de Riesgo por Incumplimiento", que son los índices bases para el análisis de la información. Una parte fundamental de esta guía es el diagrama de flujo que indica los pasos a seguir para llegar al resultado (Ghanbari et al., 2012). En esta guía se explica la cantidad de auditores que habrán de aplicar el manual, lo que garantiza la imparcialidad de los resultados, de igual manera las calificaciones numéricas que representarán los parámetros de Cumple, No Cumple y Cumple Parcialmente. Al igual que la explicación de las calificaciones que tiene cada parámetro, en la construcción del método de William Fine.

e) Guía para Interpretación de Resultados. Al obtener los resultados numéricos de la evaluación, se procederá a interpretar los resultados a través de una guía que correlacione los parámetros entre el mínimo y el máximo posible; para calificarlos con dictámenes cortos, que podrán ser acompañados de dictámenes más completos expedidos por los auditores que aplicaran el manual.

El tener el valor de los parámetros, y las operaciones aritméticas a realizar, se utiliza un cuadro de valor ponderado que identificara el índice de riesgo, interpretándolo con un código de colores y los términos; Bajo, Medio, Alto y Crítico. De esta manera obtenemos el "Grado de Riesgo por Incumplimiento". Para obtener el "Grado de Cumplimiento", se divide el resultado obtenido entre el máximo total de la matriz, y el resultado se multiplica por cien, para obtener este grado en un resultado porcentual.

4. Aplicación del método de juicio experto al instrumento desarrollado. Esto es, la validación del Manual de Cumplimiento Legal para RS con base a la opinión de expertos en la materia (Robles y Rojas, 2015), que para este análisis se contó con el apoyo de profesionistas y doctores de la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Ver. con perfiles afines al tema y con experiencia en manejo y gestión de residuos y riesgos ambientales.

5. Conclusiones de los resultados de la evaluación del instrumento por especialistas.

2.1. Análisis normativo

El manual se basa en el análisis de la legislación federal, estatal y municipal aplicable a los RS en México. La Tabla **??** muestra las normativas revisadas para este análisis.

3. Resultados

3.1. Vinculación jurídica de ordenamientos aplicables a Rellenos Sanitarios

Tras leer y analizar las legislaciones y normativas federales, estatales y municipales aplicables al tema de RS, se seleccionaron aquellas descritas en la Tabla 2 como los ordenamientos se vinculan de manera directa en las etapas de selección del sitio, construcción, operación y cierre de un RS.

Tabla 2: Normativa con vinculación directa en materia de RS

Niveles de Gobierno	Normativa
Normas y Leyes Federales (México)	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR),
Normas y Leyes Federales (México)	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA),
Normas y Leyes Federales (México)	Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003,
Normas y Leyes Federales (México)	Ley Federal de Responsabilidad Ambiental (LFRA)

Continúa en la siguiente página

Tabla 2: Normativa con vinculación directa en materia de RS (*continuación*)

Niveles de Gobierno	Normativa
Leyes Locales (Veracruz)	Ley Número 847 - Ley de Prevención y Gestión Integral de RSU y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz,
Leyes Locales (Veracruz)	Ley Estatal de Protección Ambiental – Veracruz (Ley 62),
Leyes Locales (Veracruz)	Código Penal para el Estado Libre y Soberano de Veracruz de Ignacio de la Llave
Normativa Municipal (Poza Rica)	Reglamento Municipal de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz,
Normativa Municipal (Poza Rica)	Reglamento Municipal para la Prevención y Gestión Integral de RSU de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz,
Normativa Municipal (Poza Rica)	Atlas de Riesgos de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz,
Normativa Municipal (Poza Rica)	Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz, Bando de Policía y Buen Gobierno de Poza Rica

Cabe destacar que existe otras normativas que podrían configurarse como vinculantes pero sus desplegados son muy generales, y de incluirla en este manual se perdería objetividad y practicidad en la evaluación.

3.2. Elaboración de Manual de Cumplimiento Legal Ambiental para RS en México. Caso de estudio: Poza Rica de Hgo., Ver.

Se elaboró un manual de cumplimiento legal para rellenos sanitarios en México. Caso de estudio: Poza Rica de Hidalgo, Veracruz.

De los apartados que lo conforma analizaremos en resultados las matrices de cumplimiento, que son los instrumentos principales del manual, como se aplican estas matrices y el método de interpretación de resultados.

Presentación del formato de Matriz de Cumplimiento Legal en forma y fondo

El manual está diseñado para funcionar con cualquier proyecto de relleno sanitario en Poza Rica de Hidalgo, Ver., tomando en cuenta las actualizaciones de las normativas identificadas como aplicables. Pensando en que se tendrán diversas opciones de sitios, configuraciones de equipamiento, obras civiles, organigramas, aprovechamiento de los residuos, etc., este manual ayudará a comparar el grado de cumplimiento y el riesgo por incumplimiento de todas las opciones planteadas.

En ese sentido, la evaluación de un proyecto de RS será dividida en cuatro etapas: Selección del sitio, Construcción del RS, Operación del RS, Cierre de operaciones y Abandono de sitio (NOM-083-SEMARNAT-2003, 2003).

Cada etapa mencionada contará con su propia matriz de cumplimiento legal dentro de la cual, para efectos de facilitar su utilización en otras partes del Estado de Veracruz o en otro estado de la República Mexicana, se colocan jerárquicamente los parámetros con base en su fundamento legal (federal, estatal y/o municipal) con el siguiente código de colores para la fuente del texto:

1. Negro: Normatividad Federal.
2. Azul: Normatividad Estatal.
3. Café: Normatividad Municipal.

Con esto, cualquier usuario puede descartar, por ejemplo, los parámetros en color Café si el uso es para cualquier parte del estado de Veracruz, y los parámetros en color Café y Azul para aplicación en otros estados de la República.

Las matrices que utilizaremos para medir el grado de cumplimiento son 4 tablas de 5 columnas cada una, presentándose una tabla diferente por cada etapa de vida de un RS.

En cada una de estas tablas, la primera columna de izquierda a derecha se refiere al número de parámetro a cumplir; en la siguiente columna se describe el punto exacto del fundamento legal de cada parámetro a cumplir; la columna siguiente contiene la descripción del parámetro a cumplir; la siguiente columna corresponden al valor asignados en la ponderación, según el riesgo que se corre por el incumplimiento o la omisión de lo que se ordena; y la última columna, describe el grado de cumplimiento que le asigna el evaluador, donde según su criterio determina el grado de cumplimiento con tres respuestas posibles: Cumple, No Cumple o Cumple Parcialmente. De estas, cada respuesta tendrá un valor numérico: la respuesta de Cumple tiene un valor de 1 punto, Cumple Parcialmente tiene un valor de 0.5 puntos y la respuesta de No Cumple tiene un valor de 0 puntos. Cuando se tengan las tres evaluaciones por parte de cada uno de los evaluadores, se calcula el promedio y se vacía en la Matriz de Cumplimiento.

A continuación, en la Tabla 3 se presenta un fragmento de una de las cuatro matrices de calificación que se consideran en este Manual, que es una parte de la Matriz de Cumplimiento de la etapa de Operación. En ella podemos observar los parámetros federales, estatales y municipales identificados con el código de colores antes mencionado.

Tabla 3: Fragmento de la Matriz de Cumplimiento Ambiental, etapa de Operación de RS

No.	Fundamento Legal	Parámetro	Valor Ponderado	Evaluación
1	LGEEPA, Artículo 109 BIS	Los municipios deben de contemplar la integración de un registro de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos de su competencia, así como de aquellas sustancias que determine la autoridad correspondiente.	3	—
2	LGEEPA, Artículo 135	Se consideran los siguientes criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo:	/	—
3	LGEEPA, Artículo 135, Fracc. I	La ordenación y regulación del desarrollo urbano.	4	—
4	LGEEPA, Artículo 135, Fracc. II	La operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios.	3	—
62	Ley No. 847 de Veracruz, Artículo 28. Párrafo III	Operar de manera segura y ambientalmente adecuada, de conformidad con las leyes y regulación en la materia.	4	—
74	Reglamento Municipal de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz de Ignacio de la Llave, Artículo 111 Inciso I	En el manejo y disposición de los Residuos Sólidos Urbanos, deberá prevenirse la contaminación del suelo y subsuelo, así como del ambiente en general.	3	—

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que en el presente documento solo se expone el modelo de presentación de matrices que se utilizó para elaborar el Manual.

Para el caso de que una o varias filas que podamos ver expresadas en la matriz no se califiquen debido a que su origen es un mismo artículo contenga varios puntos a evaluar, se colocará en la matriz un guion (/) en la cuarta casilla, que indica el valor ponderado; y la primera casilla, que indica el número de parámetros queda vacía. Esta fila se coloca con la finalidad de evitar el repetir introducir el contexto, evaluar en desglose y que este no afecte la numeración al momento de hacer la ponderación (ver ejemplo en la Tabla 3).

Ponderación de los parámetros a evaluar

A continuación, se describe el significado del número del "Valor Ponderado" que corresponde a la cuarta columna de la matriz de cumplimiento (ver Tabla 3) y que es un valor que se determina con base al análisis de las leyes ambientales coercitivas, como la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, el Código Penal del Estado de Veracruz y el Bando de Policía y Buen Gobierno de Poza Rica.

Es de suma importancia darle valores a cada parámetro evaluado como parte de la estructura de las matrices y del desarrollo del método de obtención del "Grado de Riesgo por Incumplimiento"; una vez establecidos estos valores, no es necesario cambiarlos a menos que se requiera adaptar el modelo del manual a otro municipio.

Las acciones u omisiones de no atender lo que se indica en la normativa puede generar daños en el ambiente, responsabilidades administrativas e incluso la cárcel para quienes participan en acciones de cualquiera de las etapas de vida de un RS. En la tarea de imponer valores a cada parámetro, realizamos una Evaluación de Responsabilidad Legal, Ambiental y de Condiciones que promuevan vulnerabilidad en los ambientes con base en la normativa aplicable y vigente.

La escala de ponderación de parámetros se define con un valor mínimo de 1 y un valor máximo de 5 con la siguiente interpretación para cada valor numérico:

1. Un punto: No Obligatorio. Aplica cuando sea un requisito que se pueda mas no que se deba hacer; es decir, una acción que sea una sugerencia dentro del ordenamiento.

2. Dos puntos: Obligatorio sin daños ambientales. Aplica cuando sea una acción obligatoria.

3. Tres puntos: Obligatorio con daño ambiental. Aplica cuando si además de ser una acción obligatoria representa riesgo de Daño Indirecto, el cual de acuerdo con la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental se define como aquel daño que en una cadena causal no constituye un efecto inmediato del acto u omisión que es imputado a una persona.

4. Cuatro puntos: Obligatorio con daño ambiental catastrófico. Aplica si la acción u omisión del parámetro además de ser obligatoria representa un riesgo de Daño Directo al ambiente,

el cual de acuerdo a la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental se define como la pérdida, cambio, deterioro, menoscabo, afectación o modificación adversos y mensurables de los hábitats, de los ecosistemas, de los elementos y recursos naturales, de sus condiciones químicas, físicas o biológicas, de las relaciones de interacción que se dan entre éstos, así como de los servicios ambientales que proporcionan.

5. Se suma un punto adicional, si la omisión del parámetro conlleva el hacerse acreedor a acciones penales.

Con esto, la calificación máxima de un parámetro es de 5, con lo que basándonos en el método de William Fine (Viña-Rodríguez et. Al., 2021) para la evaluación del Grado de Peligro, y resumiéndolo a una matriz modificada, se obtiene la siguiente Matriz de Ponderación, expresada en la Tabla 4.

Tabla 4: Matriz de Ponderación de los parámetros evaluados

		No obligatorio 1	**Obligatorio sin daños ambientales** 2	**Obligatorio con daño ambiental** 3	**Obligatorio con daño ambiental catastrófico** 4	**+ 1 punto si conlleva consecuencias penales** 5
Cumple	1	1	2	3	4	5
Cumple Parcialmente	0.5	0.5	1	1.5	2	2.5
No cumple	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

3.3. Aplicación de la Matriz de Cumplimiento en la práctica

Para utilizar las matrices del Manual, el tomador de decisiones tendrá que confiar la auditoria a tres personas con conocimientos para evaluar el cumplimiento de un sitio de disposición final en correlación con la normativa aplicable y vigente.

Para emplear el Manual se tendrán que seguir los pasos descritos en la Figura 1, en donde se expresa el orden de pasos a seguir.

1. Selección del Sitio de Estudio. Para este manual, podrá ser cualquier sitio que se encuentre dentro del polígono del Municipio de Poza Rica de Hidalgo, Ver., ya que la normativa está aplicada al sitio.

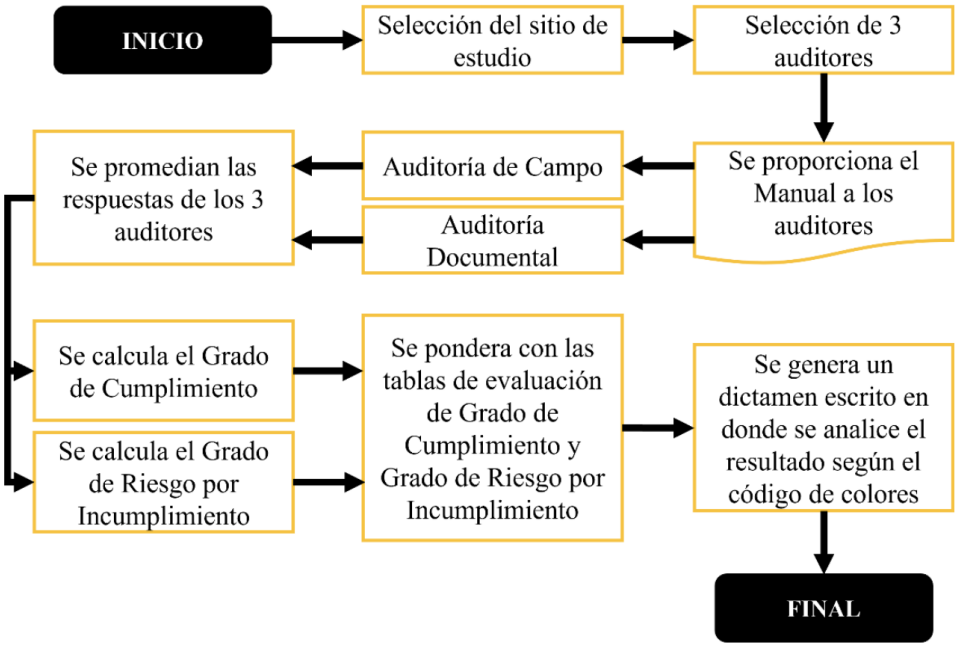


Figura 1: Diagrama de proceso de utilización de las matrices.

2. Selección de Auditores. La Matriz de Cumplimiento será llenada por tres evaluadores que sirvan a instituciones distintas y que preferentemente no presenten conflicto de interés entre quien evalúa y quien propone el modelo de relleno sanitario; todo esto para garantizar la imparcialidad de los resultados emitidos.

   Los evaluadores tendrán que probar mediante certificados académicos o constancias de experiencia laboral su conocimiento en gestión ambiental, manejo de residuos y análisis de riesgos ambientales para probar su capacidad de evaluar el proyecto planteado, utilizando el Manual de Cumplimiento Legal para RS en Poza Rica de Hidalgo, Ver.

3. Se les entrega el Manual a los auditores

4. Se realiza la auditoria de campo y documental. Se realizará una auditoria de campo para corroborar que lo que marca cada parámetro a evaluar es correspondiente a lo que se muestra en el sitio, y documental para corroborar si se cuenta con todos los requisitos y reportes que se deben de presentar.

   Cada uno de los parámetros a evaluar una casilla para la evaluación y tres posibles respuestas: Cumple (con valor de 1), No cumple (con valor de 0) o Cumple Parcialmente (con valor de 0.5). El resultado numérico será colocado en la casilla de “Evaluación” en la matriz correspondiente (Ver Tabla 3).

5. Se promedian los resultados en la matriz de calificación. Cuando se tengan las tres evaluaciones, se vacían en la Matriz de Calificación, donde se promedia el valor total que los tres evaluadores dieron a ese rubro y se multiplica con el valor del parámetro. Este último es el resultado del cumplimiento del parámetro. Para conocer el grado de cumplimiento de cada etapa del proceso, y posteriormente se compara el resultado con la Matriz de Ponderación (Ver Tabla 5).

Tabla 5: Ejemplo de Matriz de Calificación

Etapa de Selección de Sitio					
Número de Parámetro	**Valor de Parámetro**	**Evaluador 1**	**Evaluador 2**	**Evaluador 3**	**Promedio de Evaluadores**
En esta casilla se indica el número de parámetro de la etapa de proceso	*En esta casilla se coloca el valor que se le asigna a cada parámetro con base en la evaluación de responsabilidad ambiental*	*En esta casilla se coloca la calificación que le asigna cada evaluador de acuerdo con su criterio profesional*	*En esta casilla se coloca la calificación que le asigna cada evaluador de acuerdo con su criterio profesional*	*En esta casilla se coloca la calificación que le asigna cada evaluador de acuerdo con su criterio profesional*	*En esta casilla se promedian los resultados de cada evaluador*
1					
2					
n...					

6. Se calcula el grado de cumplimiento. El método de cálculo será una evaluación que arroje el porcentaje de cumplimiento del proyecto, independientemente del riesgo. Para obtener el grado de cumplimiento, se debe considerar el total de los parámetros que son obligatorios, y evaluar como porcentaje sobre el total de puntos, por lo que, para el grado de cumplimiento por etapas, se define lo que se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6: Ejemplo de presentación del grado de cumplimiento por matriz

Etapa	**Puntaje total obligatorio que representa el 100% de grado de cumplimiento**
Selección de sitio	30
Construcción	42
Operación	91
Cierre	23

7. Se calcula el grado de riesgo por incumplimiento. Cada parámetro contenido en las diferentes matrices de proceso está ponderado por su relevancia con respecto a la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, el Código Penal del Estado de Veracruz y el Bando de Policía y Buen Gobierno de Poza Rica; de esta forma se espera que el resultado refleje el grado de riesgo por incumplimiento. Los riesgos pueden generar daños al ambiente, a la salud de la población e incluso riesgos penales para quien apruebe el funcionamiento y desarrollo de los rellenos sanitarios.

8. Se da un dictamen de los resultados a través de las tablas de índice de interpretación. Con un código de colores se indica el grado de riesgo por incumplimiento, si es .ªceptable", "Moderadamente aceptable con recomendaciones", "No aceptable sujeto a recomendaciones.º Ïnaceptable". Para el caso en particular de la Matriz de la etapa de Selección del Sitio, qué es el ejemplo utilizado, con base al número de parámetros su puntaje máximo es igual a 122 puntos, por lo que se tiene el Cuadro de Índice de Interpretación de acuerdo con la escala que se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7: Índice e Interpretación del grado de cumplimiento

Nivel de Cumplimiento	**Rango de Puntuación**
Cumplimiento aceptable	122-104
Cumplimiento moderadamente aceptable con recomendaciones	103-85
No aceptable sujeto a recomendaciones	84-67
Inaceptable	Menos de 67

9. Se añade una discusión a través de la interpretación del código de colores. Después de tener la calificación completa por parte de los evaluadores sobre el cumplimiento legal de un relleno sanitario, el Manual será entregado ya contestado y con el porcentaje de cumplimiento

a los tomadores de decisiones (en este caso de estudio los ediles de Poza Rica) para que ellos determinen de manera global y rubro por rubro si es viable el aprobar el modelo de relleno sanitario propuesto.

Con esto podemos estar seguros de quienes tienen la responsabilidad de decidir tienen la información suficiente y en un formato claro para poder determinar medidas y planes de acción.

3.4. Aplicación del método del juicio experto al Manual de Cumplimiento Legal de RS.

Se aplicó el método del juicio experto con 3 profesionistas conocedores del área de estudio, la ciudad de Poza Rica. Todos ellos profesionistas con título y cedula profesional y con experiencia en riesgos, manejo de residuos y gestión ambiental, resultando las siguientes calificaciones (Ver Tabla 8).

Tabla 8: Calificaciones promediadas de los evaluadores del instrumento

Parámetro analizado	**Promedio**
Descriptores en cuanto a pertinencia para resolver la falta de información clara en tomadores de decisiones.	17.99
Descriptores en cuanto a la guía de llenado.	18.65
Descriptores en cuanto al análisis de resultados.	17.98
Descriptores en cuanto a la Matriz de calificación.	17.98
Descriptores en cuanto si se puede replicar el manual en otro sitio del estado o país.	18.31
TOTAL	**90.57**

Según la evaluación, se obtuvieron un total de 90.57 de 100 puntos posibles, con lo que se determina que los expertos evalúan el Manual de Cumplimiento Legal de RS como viable y fiable.

4. Conclusiones

En muchos casos a nivel nacional en México, las decisiones en materia de manejo de RSU son tomadas por personas que son parcial o totalmente ajenas a esta área del conocimiento por lo que la asesoría de profesionales capacitados garantiza una decisión informada.

Aunque uno de los principios generales del derecho nos dicta que “El desconocimiento de la ley no nos exime de su cumplimiento”, muchos servidores públicos escudan decisiones que finalmente

se traducen en acciones fallidas con el hecho de no ser expertos en el sector ambiental sobre el cual les toca decidir. Por ello es importante generar instrumentos que prevengan la toma de decisiones sin fundamentos que puedan ser perjudiciales para la sociedad y el medio ambiente.

El Manual de Cumplimiento Legal para RS es una herramienta útil para obtener parámetros que concienticen al tomador de decisiones de los impactos que pueden generar sus decisiones. Con este Manual se obtienen los resultados de "Grado de Cumplimiento", que indica de manera simple si se cumple o no con los parámetros de las normativas, y el "Grado de Riesgo por incumplimiento", que nos advierte los riesgos a los cuales se expone a la sociedad, el ambiente y el propio tomador de decisiones por incumplir con estos parámetros. Los riesgos pueden darse en forma de daños a los ecosistemas, el entorno, condiciones insalubres y la responsabilidad penal para el tomador y los ejecutores de las decisiones finales.

Aplicando el método del juicio experto con mujeres y hombres que han previamente han participado en la evaluación de sitios de disposición final de residuos y con pleno conocimiento de la problemática ambiental en el municipio de Poza Rica de Hidalgo, Ver. abalan este Manual como una herramienta útil que de aplicarse y analizarse podrá evitar riesgos futuros a corto, mediano y largo plazo y hacer más eficientes los recursos invertidos para este fin.

Referencias bibliográficas

[1] Asanza Jiménez, A. F. (2013). Elaboración de la Matriz de Riesgos Laborales en la Empresa PROYECLAST CÍA. LTDA. [Tesis de Ingeniería Industrial]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5155/1/UPS-CT002734.pdf

[2] Bocanegra, E. M., Massone, H. E., Martínez, D. E., Civit, E. M., & Farenga, M. O. (2001). Groundwater contamination: risk management and assessment for landfills in Mar del Plata Argentina. *Environmental Geology*. Springer.

[3] Ghanbari, F., Amin Sharee, F., Monavari, M., & Zaredar, N. (2012). A new method for environmental site assessment of urban solid waste landfills. *Environmental Monitoring and Assessment*. Springer Science + Business Media.

[4] Ghobadi, M. H., Babazadeh, R., & Bagheri, V. (2013). Siting MSW landfills by combining AHP with GIS in Hamedan province, western Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. Springer.

[5] Gutiérrez Duque, M. D., Romero Amado, R., & Perea Arias, O. D. (2020). Manual de elaboración de planes de cumplimiento normativo para entidades del Tercer Sector de Acción Social. Plataforma ONG de Acción Social. https://www.plataformaong.org/ARCHIVO/documentos/biblioteca/1603974612_manual.elaboracion.planes.cumplimiento.normativo.pdf

[6] Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [LGEEPA]. Reformada. Diario Oficial de la Federación, 24 de enero del 2024. Ciudad de México, México. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf

[7] Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos [LGPGIR]. Reformada. Diario Oficial de la Federación, 8 de mayo del 2023. Ciudad de México, México. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf

[8] Ley Número 847 de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 28 de junio de 2004. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México. http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Veracruz/wo77544.pdf

[9] Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación, 20 de octubre de 2004. Ciudad de México, México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004#gsc.tab=0

[10] Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (2005). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Publicación de las Naciones Unidas, Nueva York. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2d86ecfb-f922-49d3-a919-e4fd4d463bd7/content

[11] Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente (PEMA). (19 de octubre de 2020). Relleno Sanitario de Poza Rica debe sanearse para que no genere un mayor impacto ambiental. https://www.pmaver.gob.mx/relleno-sanitario-de-poza-rica-debe-sanearse-para-que-no-genere-un-mayor-impacto-ambiental/

[12] Reglamento Municipal de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz. Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 18 de julio de 2019. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México. https://poza-rica.gob.mx/wp-content/uploads/2022/05/reglamento-municipal-de-equilibrio-ecologico-y-proteccion-al-medio-ambiente.pdf

[13] Reglamento Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz. Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 10 de enero de 2019. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México. https://www.segobver.gob.mx/juridico/decretos/decretoslegis/fe251.pdf

[14] Robles Garrote, P., & Rojas, M. C. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Apli-*

cada. https://www.nebrija.com/revista-linguistica/files/articulosPDF/articulo_55002aca89c37.pdf

[15] Viña-Rodríguez, J., Camejo Giniebra, J. J., & Castañeda Valdés, A. (2021). Métodos de estudio más utilizados para el análisis de riesgos de procesos con sustancias peligrosas. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 52(2), 138-160. https://www.redalyc.org/journal/1816/181676103007/181676103007.pdf

Beneficios de la certificación ISO 14001:2015 en la Gestión Ambiental del Instituto Tecnológico de Toluca

María del Consuelo Mañon Salas[1], Areli Lisseth García Córdoba[1], Yolanda Hernández Tamayo[1], Miriam Leticia Ramírez Rosas[1], María del Consuelo Hernández Berriel[1]

[1]Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México, México. C.P. 52149.

[*]Correo electrónico: mmanons@toluca.tecnm.mx

Resumen

La actividad humana ha deteriorado el ambiente desde sus inicios. Surgen los talleres y después las ciudades, y con ellos una multitud de necesidades que satisfacer, aumenta la demanda de recursos y la producción de residuos. Después llega la revolución industrial, transformando aspectos sociales, económicos y políticos, que incrementaron estos impactos a escala global. Con la globalización se intensifico el comercio y la inversión, pero también los problemas ambientales. Las empresas, principales responsables de estos impactos, hoy en día enfrentan presión por parte de la sociedad y organizaciones ecologistas como Greenpeace, que critican la deforestación, la extracción insostenible de recursos y el aumento del uso de combustibles fósiles, para satisfacer modelos económicos como el consumismo y la obsolescencia programada. Se reconoce la necesidad de preservar el ambiente mediante la sustentabilidad y la gestión ambiental, promoviendo un desarrollo económico compatible con la conservación del ambiente y la equidad social. En México, la preocupación por el deterioro ambiental ha llevado a respuestas institucionales y a la creación de normas ambientales. La Norma ISO 14001:2015, es un estándar internacional para la protección ambiental y crecimiento sostenible de uso voluntario en la gestión ambiental. Es por ello, que el objetivo de este trabajo es mostrar cómo la implementación del Sistema de Gestión Ambiental ha beneficiado al Instituto Tecnológico de Toluca en aspectos ambientales como la reducción del consumo del agua, de energía eléctrica y residuos peligrosos, además del cumplimiento de la legislación ambiental, identificando áreas de oportunidad que fortalecen los programas ambientales existentes.

Palabras clave: *Sistema de Gestión Ambiental*, *Desarrollo sustentable*, *Certificación de procesos*

1. Introducción

Desde sus orígenes, la presencia del ser humano ha introducido cambios en los procesos ambientales, y lo que inició como un conjunto de pequeñas alteraciones puntuales terminó por adquirir una dimensión global. Aunado al desarrollo industrial, con su producción a gran escala mediante el uso de maquinaria, no solo transformó los aspectos sociales, económicos y políticos de la humanidad,

sino que también acrecentó los impactos ambientales a escala planetaria. Desafortunadamente, los campesinos que cultivaban la tierra terminaron por migrar a las ciudades a trabajar en las fábricas, produciendo un rápido crecimiento de éstas. Las ciudades no solo requieren de servicios como el agua, alimentos y energía para sostener sus crecientes necesidades, sino que también dependen cada vez más de materias primas para los procesos de producción de las empresas. La globalización, un proceso que ha intensificado los flujos de inversión y el intercambio comercial a nivel mundial, ha influido significativamente en esta dinámica, es un proceso que ha conectado los mercados, las sociedades y las culturas de todo el planeta. Sin embargo, este fenómeno se ha visto acelerado en las últimas décadas del siglo XX mediante procesos de intensificación de los flujos de inversión y el intercambio comercial de bienes y servicios (Pellegrini Blanco & Reyes Gil, 2007). Aunado a ello, las ciudades generan residuos sólidos y líquidos, además de contaminantes a la atmósfera, que afectan los ecosistemas cercanos o distantes. De los cuatro tipos de globalización: política, cultural, tecnológica y económica, la más avanzada es esta última, a pesar de ser considerada como resultado de un proceso histórico de innovación humana y progreso tecnológico, debido a un comercio liberalizado y cada vez más internacional (Zúñiga et al., 2016).

Los argumentos científicos sobre la realidad y la gravedad de los diversos problemas ambientales provocados por las empresas como principales responsables directos o indirectos tienen que hacer frente a las presiones ejercidas por diferentes organizaciones y por una sociedad civil cada vez más sensible al deterioro ambiental (SEMARNAT, 2024). Existen organizaciones ecologistas que denuncian su impacto como Greenpeace, de acuerdo a esta, el crecimiento económico que generan conlleva a procesos de deforestación, la extracción de recursos naturales de manera insostenible y el aumento del consumo de combustibles fósiles, que agravan el calentamiento global (Díaz, M., 2002). La nueva forma en que se ha manifestado el capitalismo es a través del neoliberalismo, creando las condiciones propicias para una crisis económica mundial y ambiental. El cual se ve apoyado de modelos de producción que no tienen en cuenta el cuidado del ambiente como el consumismo y la obsolescencia programada (Calderón, 2010).

Afortunadamente, ha llegado el momento en el que los diversos sectores de la sociedad reconozcan la necesidad de preservar el ambiente, cuidando los recursos naturales, reduciendo la contaminación y minimizando los impactos ambientales negativos. Es necesario limitar y sancionar la extracción y transformación de los recursos naturales sin criterios de sostenibilidad, ya que este tipo de acciones han conducido a su agotamiento. De esta insuficiencia, surgen nuevas estrategias como la sustentabilidad y la gestión ambiental encaminadas a implementar un modelo de desarrollo económico mundial compatible con la conservación del medio ambiente y la equidad social, impulsadas por ciudadanos, empresas y gobiernos (Challenger, et al., 2014).

En México, la evidencia del deterioro ambiental y de sus implicaciones negativas sobre la salud, la economía y la calidad de vida, determinó una secuencia de respuestas institucionales cada vez más ambiciosas e integrales. Dando lugar a la creación de pautas, exigencias tanto de la sociedad como las reglamentaciones ambientales y normativas a las acciones de contaminación al ambiente generada por el sector empresarial, en la búsqueda de una gestión ambiental apropiada. En este

contexto surge la Norma ISO 14001:2015, como un Estándar Internacional con un compromiso de protección ambiental. Destaca por su importancia y principalmente por su potencial de presentar resultados positivos en todos los ámbitos de injerencia, incluyendo el sector educativo. El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) se encarga de establecer procedimientos para garantizar que las acciones llevadas a cabo para el cuidado del medio ambiente sean las adecuadas. Su implementación es de carácter voluntario, representa un aporte y/o beneficio para las instituciones que apliquen esta normativa, al alcanzar una certificación conforme a determinados estándares internacionales (Norma ISO 14001).

El objetivo de este trabajo es presentar los hallazgos de como el Sistema de Gestión Ambiental ha beneficiado a los procesos de gestión ambiental del Instituto Tecnológico de Toluca, apoyado en cuatro aspectos ambientales significativos (consumo de agua, consumo de energía eléctrica, generación de residuos sólidos urbanos y residuos peligrosos) y el cumplimiento de la legislación aplicable en un esquema multi sitios. Como resultado de este análisis de busca definir áreas de oportunidad que coadyuven al fortalecimiento del SGA y a los programas ambientales existentes en la Institución.

2. Metodología

La metodología se integra de 5 etapas, inicia caracterizando el área de estudio, posteriormente se hace una revisión exhaustiva de la normatividad vigente, de revisan los componentes del sistema, para alcanzar una mayor comprensión del mismo, finalmente se dan las propuestas de mejora (ver Figura 1).

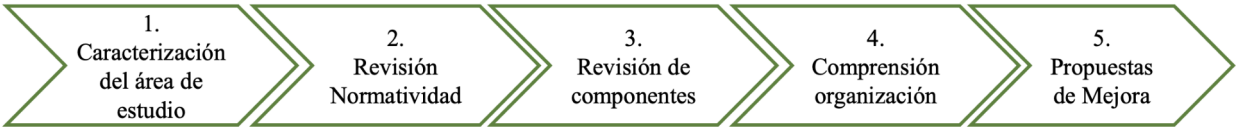


Figura 1: Descripción de la Metodología

2.1. Caracterización del área de Estudio

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) integrado por 126 Institutos Tecnológicos Federales, 122 Descentralizados, es un sistema educativo de educación superior pública, funge como órgano central de carácter normativo a la Dirección General del Tecnológico Nacional de México. Entre los Tecnológicos federales se encuentra el Instituto Tecnológico de Toluca.

2.2. Revisión de Normatividad

carácter ambiental. Las expectativas sociales para el desarrollo sostenible, la transparencia y la rendición de cuentas se desarrollan gracias a la legislación que existe hoy en día, permitiendo al ser humano el desarrollo de sus potencialidades y sus propiedades biofísicas y culturales, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio.

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización. La norma ISO 14001:2015 proporciona a las organizaciones un marco para proteger el ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, siempre guardando el equilibrio con las necesidades socioeconómicas. En la norma se especifican todos los requisitos para establecer un Sistema de Gestión Ambiental eficiente desde un enfoque sistémico, que permita a la organización conseguir información suficiente para alcanzar los resultados deseados en los procesos de gestión ambiental. A través del modelo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) promueve un proceso interactivo usado por la organización para conseguir la mejora continua. Como una estrategia para alcanzar la Certificación del Sistema de Gestión Ambiental, el TecNM establece un esquema multi sitios, integrado por los Institutos Tecnológicos y Centros relacionados.

2.3. Definición de componentes del Sistema

Un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) es un conjunto de elementos relacionados entre sí bajo procesos de trabajo orientados en prevenir la contaminación y proteger el medio ambiente. La gestión se realiza gracias a la interrelación que existe entre los elementos: recursos que se tienen disponibles en la organización para cumplir con los requisitos ambientales. Los procesos ambientales, políticas de trabajo ambiental y los objetivos que se hayan determinado. El TecNM establece objetivos ambientales para las funciones y niveles pertinentes, teniendo en cuenta los aspectos ambientales significativos de cada instituto, sus requisitos legales y otros v requisitos asociados y considerando sus riesgos y oportunidades, conservando información documentada sobre los mismos.

2.4. Comprensión de la organización y de su contexto

El TecNM establece las cuestiones externas e internas que son pertinentes para su propósito y que afectan a su capacidad para lograr los resultados previstos de su sistema de gestión ambiental. Estas cuestiones incluyen las condiciones ambientales capaces de afectar o de verse afectadas por la organización, a través del procedimiento para la Gestión de Riesgos del SGC por multi sitios.

2.5. Propuestas de mejora

Son las oportunidades de mejorar los procesos, derivadas del seguimiento, medición, análisis y evaluación, Auditoría Interna y Revisión por la Dirección e implementar las acciones necesarias para lograr los resultados previstos en su sistema de gestión ambiental.

3. Resultados y discusión

En esta sección se presentan lo resultados obtenidos en esta investigación

3.1. Caracterización del área de Estudio

El Instituto Tecnológico de Toluca (ITTol), se ubica en el municipio de Metepec, en el Estado de México. Tiene un área de 19.25 hectáreas, en la que se distribuyen edificios de aulas y oficinas administrativas, laboratorios, talleres, centro de cómputo, centro de información, centro de convenciones, salas audiovisuales, auditorios, e instalaciones deportivas que incluyen una alberca, campo de beisbol, canchas de volibol, basquetbol y futbol soccer (ver Figura 2). En el segundo semestre de 2023 reporto un registro de 6,137 estudiantes matriculados en nueve carreras: Ingeniería en Electromecánica, Mecatrónica, Electrónica, Gestión Empresarial, Industrial, Logística, Química, Sistemas Computacionales y TICS. Además de tres posgrados: Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, en Ciencias de la Ingeniería y el Doctorado en Ciencias Ambientales.



Figura 2: Localización del Instituto Tecnológico de Toluca

3.2. Norma Internacional ISO 14001:2015

En junio del 2017 el Instituto Tecnológico de Toluca (ITTol) inicio la transición de su certificación vigente de la Norma ISO 9001:2008 a la ISO 9001:2015, a través de la impartición de cursos de actualización para todo el personal académico y administrativo, con el fin de que conocieran la nueva norma y su participación desde sus áreas de trabajo. El ITTol al contar con esta certificación garantizó el cumplimiento de estándares de calidad en todos los procesos que se relacionan con el alumnado desde su selección para estudiar en la institución hasta su titulación; la norma se aplicó a través del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC). En 2022 los funcionarios docentes tomaron el curso de certificación para auditores. Debido al esquema multi sitios en el que opera el SGA, cada año se realiza una auditoria cruzada entre alguno de los tecnológicos que integran el sistema TecNM y una auditoría externa realizada con una empresa certificadora.

3.3. Identificación de los procesos y componentes del Sistema

Son cuatro los elementos que se integran el SGA del ITTol, entre ellos se encuentran los objetivos, las políticas de trabajo, los procesos ambientales y todos los recursos que se tienen disponibles en la organización para cumplir con los requisitos ambientales.

Objetivos del SGA

Los objetivos se desprenden de la policía ambiental, se clasifican en objetivo general y cuatro particulares, uno asignado a cada aspecto ambiental. El objetivo general busca fomentar una cultura de cuidado del ambiente en el personal, estudiantes y partes interesadas. Los objetivos particulares se enfocan al uso racional y eficaz del agua, la energía eléctrica, el manejo integral de residuos sólidos urbanos y residuos peligrosos. Se tienen cuatro metas, una por cada objetivo particular y son: Reducir el consumo de agua en un 2%, reducir emisiones de CO2 en un 2%, potenciar el reciclaje y reúso al menos en un 3% y disminuir la generación de residuos peligrosos en un 4%, todas ellas se comparan con respecto al año inmediatamente anterior. En la Tabla 1, se presentan las actividades que se desarrollan en el ITTol y su relación con cada aspecto ambiental del SGA.

Tabla 1: Actividades relacionadas en cada aspecto ambiental

Número	Aspecto ambiental	Actividades relacionadas
1	Consumo de agua	Servicio de cafetería, servicio de sanitarios, mantenimiento de áreas verdes

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Actividades relacionadas en cada aspecto ambiental (*continuación*)

Número	Aspecto ambiental	Actividades relacionadas
2	Consumo de energía eléctrica	Uso de equipo de cómputo e impresión, servicio de papelería y fotocopiado, trabajo docente, uso de aires acondicionados, desarrollo de prácticas e investigación en laboratorios y talleres escolares, iluminación, actividades en audiovisuales
3	Generación de residuos sólidos urbanos	Trabajo docente, desarrollo de prácticas e investigación en laboratorios y talleres escolares, actividades extraescolares, servicio de cafetería, mantenimiento a la infraestructura
4	Residuos peligrosos: [RAEE, RPBI, pesticidas y agroquímicos]	Iluminación, equipos y/o herramientas de trabajo, desarrollo de prácticas e investigación en laboratorios y talleres escolares

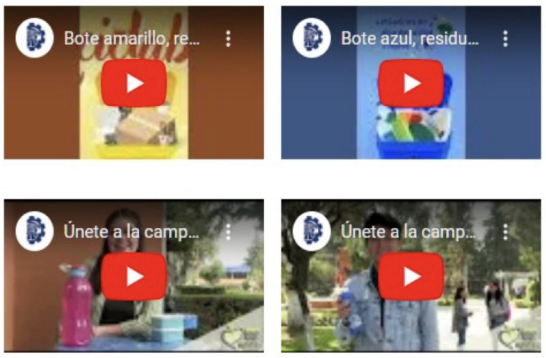
Políticas y Normas ambientales

La Política ambiental del TecNM establece el compromiso de implementar y orientar todos sus procesos estratégicos y actividades del proceso educativo, hacia la Calidad del Servicio Educativo y respeto del medio ambiente, dando cumplimiento a los requisitos del estudiante y partes interesadas, legislación ambiental aplicable y otros requisitos ambientales que se suscriban así como promover en su personal, estudiantes y partes interesadas la prevención de la contaminación y el uso racional de los recursos; mediante la implementación, operación y mejora continua de un Sistema de Gestión de Calidad conforme a la Norma ISO 9001:2015/NMX-CC-9001-IMNC-2015 y un Sistema de Gestión Ambiental conforme a la Norma ISO 14001:2015/NMXSAA-IMNC-14001-2015, coadyuvando a la conformación de una sociedad justa y humana con una perspectiva de sustentabilidad y ser uno de los pilares fundamentales del desarrollo sostenido y sustentable. Dentro de la política de operación del TecNM, la Alta dirección en conjunto con el Comité del SGA y los Responsables de Área son los responsables de asegurar el cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos, en materia de medio ambiente, aplicables al Instituto.

Procesos de trabajo

En cada uno de los aspectos ambientales establecidos en el SGA, parten de un diagnóstico el cual sirve de apoyo para realizar la planeación de las actividades a desarrollar durante el semestre, estas inician con tareas de sensibilización y concientización a toda la comunidad tecnológica, lo que fomenta el interés en el cuidado del ambiente, puede ser a través de capsulas informativas





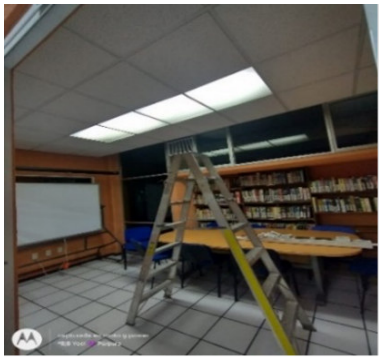
(a) (b)

Figura 3: (a) Pláticas de concientización; (b) Videos en la Página del ITTol

en los salones o bien charlas durante el curso de inducción (ver Figura 3a), o videos en la página del ITTol (ver Figura 3b) y redes sociales, además de conferencias sobre temas ambientales de interés, estas se desarrollan de manera permanente, debido a que cada semestre ingresan nuevos estudiantes.

Con el fin de reforzar la conciencia sobre el ahorro de recursos como la energía eléctrica y el agua, se realizan campañas de sustitución de equipos obsoletos por equipos de menor consumo de agua (ver Figura 4a) y los equipos de alto consumo de energía se cambian por dispositivos ahorradores (ver Figura 4b y Figura 4c).



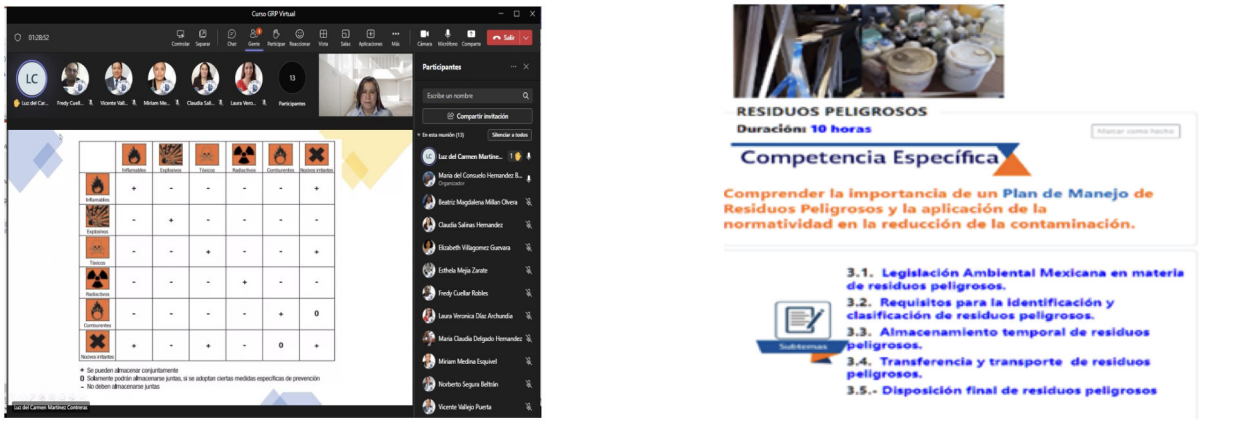




(a) (b) (c)

Figura 4: (a) Sustitución de equipos de medición; (b) Sustitución por equipos ahorradores de energía; (c) Sustitución de lámparas fluorescentes

En la gestión de los residuos peligrosos (RP), se identificaron las fuentes generadoras de RP con las que se integró un catálogo. Se programó un curso de capacitación sobre el manejo y gestión de RP para apoyar el programa de concientización, esté se impartió en formato presencial y virtual al personal docente (ver Figura 5a). Se implementó un curso de RP en de la plataforma Moodle para los estudiantes tanto en sistema escolarizado como a distancia (ver Figura 5b).



(a) (b)

Figura 5: (a) Curso de RP a docentes; (b) Curso de RP a alumnos

Se analizó con docentes de la carrera de ingeniería química, la sustitución de reactivos peligrosos por otros menos dañinos al ambiente (ver Figura 6a). Se implementó un programa para reciclar tóner y cartuchos de impresoras con la empresa HP (Ver Figura 6b).



(a) (b)

Figura 6: (a) Docentes de Ingeniería Química; (b) Tóners y cartuchos de impresoras

Con respecto a la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU), por parte de Comunicación y difusión se han elaborado y difundido a través de la página y redes sociales una serie de campañas visuales para fomentar la cultura de separación de los residuos (ver Figura 7a). En el ITTol se han ubicado alrededor de 24 baterías, están formadas por cuatro tambos de diferentes colocares con el fin de separar los residuos sólidos urbanos generados en la Institución (ver Figura 7b). Existe el Programa ambiental Institucional el cual apoya con la incorporación de estudiantes de servicio social en la separación y recolección de los residuos.



(a) (b)

Figura 7: (a) Separación de RSU; (b) Ubicación de las baterías

Recursos: humanos, materiales y financieros.

Con respecto a recursos humanos el ITTol cuenta con personal directivo, administrativo y docente. Dispone de edificios para desarrollar actividades administrativas, docentes y deportivas. Además de la asignación de recursos financieros para certificaciones de los sistemas de gestión de la calidad y ambiental, análisis de laboratorio y disposición final de residuos peligrosos, tal como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Relación de recursos de ITTol

Personal / Cantidad							
Directivos	4	Funcionarios Docentes	22	Docentes	243	Administrativos	116
Infraestructura / Cantidad							
Edificios	37	Talleres	6	Laboratorios	55	Aulas	113
Unidad Académica Departamental	5	Salas Audiovisual	4	Sala uso múltiples	1	Centro de Información	1
Centro de Convenciones	1	Cubículos maestros	165	Cafetería	1	Quioscos	2
Instalaciones deportivas / Cantidad							

Continúa en la siguiente página

Tabla 2: Relación de recursos de ITTol (*continuación*)

Alberca Techada	1	Beisbol / Estadio	1/1	Básquetbol techado	1	Futbol Pasto	1
Gimnasio Auditorio	1	Pista Atletismo	1	Volibol aire libre	1	Básquetbol aire libre	1
Recursos financieros / Cantidad							
Auditorias	$65,000		Disposición final de residuos peligrosos		$8,500		

3.4. Comprensión de la organización y de su contexto

Estas cuestiones incluyen las condiciones ambientales capaces de afectar o de verse afectadas por la organización, a través del procedimiento para la Gestión de Riesgos del SGC. Analiza su contexto externo a través del cual, el ITTol busca alcanzar sus objetivos culturales, sociales, políticos, jurídicos, reglamentarios, financieros, tecnológicos, económicos y competitivos, ya sean internacionales, nacionales, regionales o locales. Y desde su contexto interno busca lograr sus objetivos de reglamentos, lineamientos académico-administrativos, la estructura organizativa, las funciones y responsabilidades. Las políticas, los objetivos y las estrategias que están en marcha para alcanzarlos. Además de la capacidad, entendida en términos de recursos y conocimientos. Los sistemas de información, flujos de información y la toma de decisiones.

Entre las fortalezas que presenta el SGA, es el compromiso de la alta dirección por alcanzar los objetivos y metas ambientales, dirigiendo los esfuerzos de todos los elementos clave del sistema. Con lo que se asegura de que las funciones, responsabilidades y autoridad para el SGA estén definidas, documentadas y son comunicadas dentro del TecNM para facilitar una gestión ambiental eficaz.

3.5. Propuestas de mejora

Para lograr los objetivos ambientales se deben establecer Programas Ambientales los cuales establecen actividades para la consecución de las metas del Sistema de Gestión ambiental, se registra la asignación de responsabilidades a través de un calendario para su control y seguimiento en los plazos de revisión establecidos. Las propuestas de mejora se proponen en función de alcanzar los indicadores determinados en cada aspecto ambiental (ver Tabla 3). En los aspectos ambientales consumo del agua y de energía se pretende reducir un 2% más que el año inmediato anterior, residuos sólidos el 3% y residuos peligrosos un 4%.

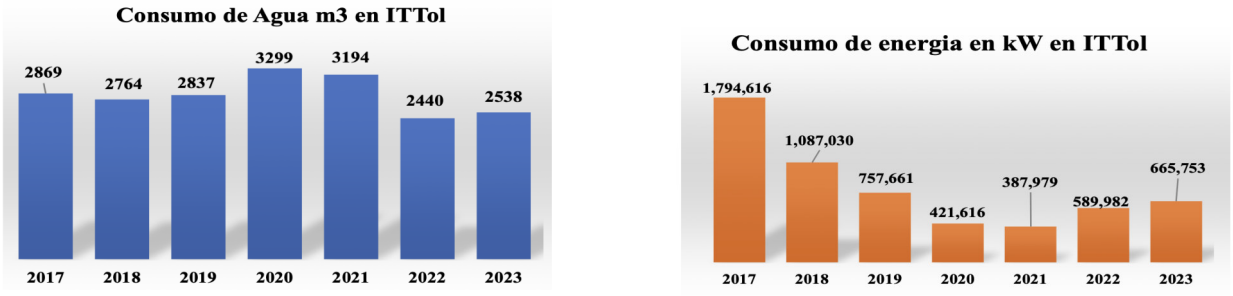
Tabla 3: Metas ambientales

Aspecto ambiental	Indicadores	Programado (año inmediatamente anterior)
Consumo de agua	((Consumo anual de agua en m3 del año actual– Consumo anual de agua del año anterior en m3) / Consumo anual de agua en m3 del año anterior) *100	2%
Consumo de energía eléctrica	100 – ((Consumo eléctrico anual del año actual en Ton CO2 / Consumo eléctrico anual del año anterior en Ton CO2) *100)	2%
Manejo integral de residuos sólidos urbanos	((R S U dispuestos en kg / R S U Generados en kg) *100	3%
Manejo de residuos peligrosos	((kg de RP generados del año actual - kg de RP generados en el año anterior) / kg de RP generados en el año anterior) * 100	4%

En la Figura 8a se presenta el consumo de agua en m3, durante los años 2017 al 2023, se observa que durante los años 2020 y 2021 hay un mayor consumo, esto se debió a la construcción del edificio del Centro de Convenciones del ITTol, y a la construcción de dos cisternas con una capacidad de 120m3 y 90m3 respectivamente. Uno de los proyectos de mejora fue colocar etiquetas en baños, laboratorios, talleres con el fin de concientizar a la comunidad Tecnológica de usar solo el agua necesaria y reportar fugas.

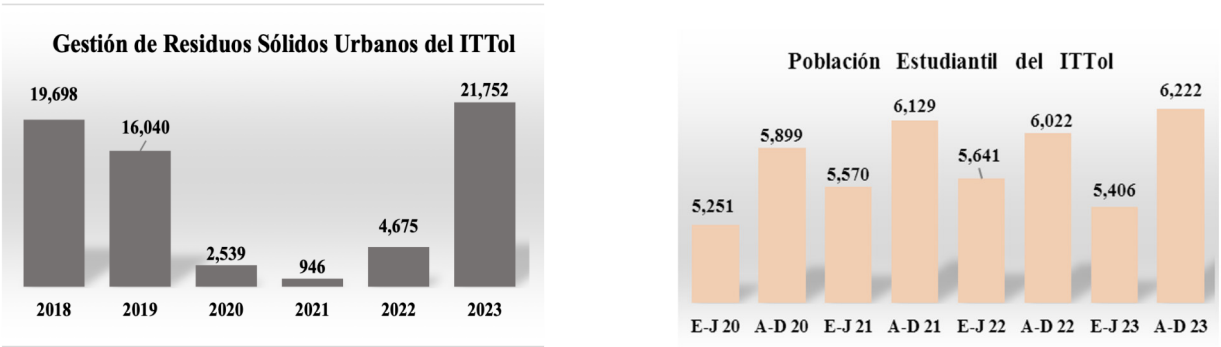
De las acciones realizadas por la coordinación de energía, fue la sustitución de lamparás y focos por otros de bajo consumo. De igual forma se colocaron etiquetas en los contactos con el fin de concientizar sobre la importancia de apagar la luz cuando no se está usando. En la Figura 8b, se muestra que el periodo del 2019 al 2022 son los de menor consumo que el año 2018, sin embargo, a partir del 2022 se inició con estas campañas, con lo que es posible comparar el 2023 con el 2018, se verifica que 2023 presenta una reducción del 40% en relación con el 2018. Al finalizar 2024 se tendrá información para evaluar los resultados de estos programas de concientización.

Con respecto al manejo de residuos sólidos urbanos, se observa un descenso en 2018 cuando inician los programas, estos se suspenden por la pandemia y en 2022 se da el regreso parcial, el 2023 muestra generación en todo el año (ver Figura 9a). Se observa un incremento significativo



(a) (b)

Figura 8: (a) Consumo del Agua; (b) Consumo de Energía Eléctrica



(a) (b)

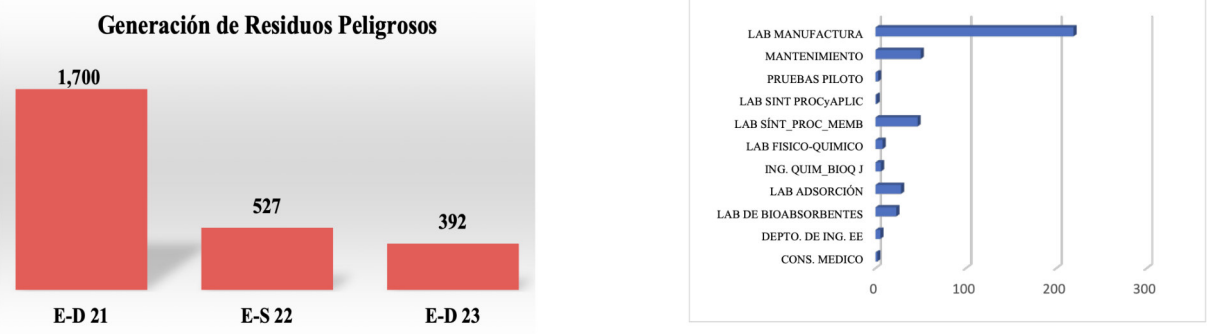
Figura 9: (a) Manejo integral de RSU; (b) Alumnos Inscritos por semestre

que años anteriores, esta generación se justifica por el incremento de la población estudiantil, ya que esta tuvo un incremento del 3.8 % (ver Figura 9b).

Con respecto a los residuos peligrosos (RP), del año 2021 al 2022, se presentó un descenso del 69 %, del 2022 al 2023 fue de 26 %, esto se logró gracias a la reducción en escala de prácticas de laboratorio (ver Figura 10a), sin embargo, uno de los mayores generadores de RP, es el laboratorio de Manufactura (ver Figura 10b) el cual produce aceite, que es usado para lubricar la maquinaria, este se cambia semestralmente, este residuo representa el 55.8 % de la generación total de los RP del ITTol.

Como resultado de este análisis, se observan áreas de oportunidad, con respecto al consumo del agua, se puede usar el agua de lluvia ya que hay cerca de 2300m2 de azoteas, esta agua puede emplearse para baños, limpieza de áreas externas o bien para regar áreas verdes. Con respecto al consumo de energía, se pueden implementar celdas solares en lámparas de áreas verdes y estacionamientos esto contribuiría a reducir su consumo.

Con respecto a la gestión de residuos sólidos urbanos, se puede hacer una redistribución de los contenedores, colocar uno solo para papel en cada edificio de las carreras, y promover la separación



(a) (b)

Figura 10: (a) Generación de RP; (b) Generadores de RP

de: orgánicos, reciclables (cartón, vidrio, metal) y no reciclables con el fin de facilitar la disposición por parte de la comunidad.

4. Conclusiones

A pesar de que se ha trabajado arduamente en el establecimiento de procedimientos que mejoran la gestión ambiental en el Instituto Tecnológico de Toluca, aún existen áreas de oportunidad, como los programas para el cuidado forestal, preservación de áreas verdes y 100% libre de plásticos de un solo uso.

Una acción que puede mejorar la concientización y sensibilización del proceso consistiría en hacer públicos los indicadores de las coordinaciones del SGA para que la comunidad tecnológica colaboré en su reducción.

Otra mejora sería apostar a la capacitación permanente en cursos y talleres a toda la comunidad del ITTol, incluyendo a los proveedores de servicios.

Referencias bibliográficas

[1] Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Chavero, E. L., & Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental: Ciencia y Política Pública*, 6(2), 1-21.

[2] Calderón, J. P. (2010). La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos. *El Cotidiano*, (162), 91-97.

[3] Díaz, M. M. L. (2002). Marketing ecológico y sistemas de gestión ambiental: conceptos y estrategias empresariales. *Revista Galega de Economía*, 11(2).

[4] Norma ISO 14001:2015 Sistemas de Gestión Ambiental – Requisitos con orientación para su uso. (10 de junio de 2024). Recuperado de https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf

[5] Pellegrini Blanco, N. C., & Reyes Gil, R. E. (2007). Programa de Interpretación Ambiental en la Universidad Simón Bolívar: sus recursos, su cultura y su historia. *Educere*, 11(39), 605-611.

[6] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (9 de junio de 2024). La Gestión Ambiental en México. Recuperado de https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/libro_blanco%20semarnap.pdf

[7] Zúñiga, I. Y. C. Lona, L. R., & Flores, M. D. R. S. (2016). Incentivos, motivaciones y beneficios de la incorporación de la gestión ambiental en las empresas. *Universidad & Empresa*, 18(30), 121-141.

Parte V

Impacto y riesgo medioambiental

Variación estacional de residuos sólidos en playas de Acapulco: impactos del turismo y fenómenos meteorológicos

Carlos Nicolás Sosa Quintero[1], Maribel Velasco Pérez[1], *Arely Areanely Cruz Salas[1], Alethia Vázquez Morillas[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[1], Natalia Paulina Martínez Toledo[1], Aylin Geraldine Rodríguez Villa[1], Luisa Fernanda Rosales Salinas[2]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 420, Col. Nueva el Rosario, C.P. 02128, Alcaldía Azcapotzalco, CDMX.

[2]Secretaría de la Defensa Nacional, Universidad del Ejército y Fuerza Aérea, Escuela Militar de Ingenieros, Av. Industria Militar No. 261, Col. Lomas de San Isidro, Naucalpan de Juárez, Edo. Méx., C.P. 53960.

[*]Correo electrónico: aacs@azc.uam.mx

Resumen

Las playas son ecosistemas costeros dinámicos, productivos, con un alto potencial económico y valor natural. Sin embargo, actividades antropogénicas han conllevado a su degradación e incluso pérdida, ejemplo de esto, es la afectación causada por la contaminación de residuos sólidos urbanos (RSU). El objetivo del presente estudio fue analizar la variación de la concentración, composición e índice de contaminación de residuos sólidos urbanos en cuatro playas de Acapulco de Juárez (Tamarindos, Condesa, Icacos y Barra Vieja), durante dos temporadas con distinta afluencia turística. Para ello, en cada playa se delimitó un área de estudio de 100 m, la cual se dividió en secciones de 5 m, dentro de ellas se recolectaron, cuantificaron y clasificaron los residuos visibles, se calculó el índice de contaminación y la densidad superficial de RSU. Se encontró un aumento porcentual en el índice de contaminación en tres las playas durante la temporada de afluencia turística alta, con un máximo del 97.30%. El valor máximo de la concentración fue de 1.5 pzas/m2 (Condesa). Los materiales de mayor incidencia durante la temporada de baja afluencia turística fueron: plástico, plástico espumado y otros; mientras que en la temporada de alta afluencia turística se encontraron: plástico y plástico espumado. Se encontró que, si bien existe una relación entre el turismo y el aumento de la contaminación en las playas, algunos residuos como concreto, metálicos y plásticos espumados, son remanentes del fenómeno meteorológico "Otis", ocurrido en octubre del 2023.

Palabras clave: *Índice de contaminación*, *Otis*, *plástico*, *plástico espumado*

1. Introducción

Las playas son ecosistemas de alta productividad, esta distinción está relacionada con su biodiversidad, su papel en la prevención de la erosión y salinización costera, así como su potencial

de aprovechamiento en actividades económicas, como el turismo y la pesca. No obstante, estos ecosistemas costeros han sido degradados debido a actividades antropogénicas y fenómenos meteorológicos (Moon, 2024; Thu Huong et al., 2024).

Dentro de las actividades más lucrativas llevadas a cabo en estos ecosistemas costeros está el turismo. En México, durante el 2022 esta actividad representó el 8.5% del producto interno bruto (PIB) (INEGI, 2022). El turismo de sol y playa si bien ha fungido como estrategia de desarrollo en zonas del litoral, caracterizadas por alta marginalidad y fragilidad socio ambiental (Busto Ibarra, 2017), también ha conllevado a una degradación acelerada de los ecosistemas costeros a consecuencia de la contaminación, crecimiento urbano y una explotación desmesurada en búsqueda de beneficios económicos.

Acapulco de Juárez es uno de los municipios donde la estrategia de desarrollo basada en el turismo es más notoria. Este municipio, en el estado de Guerrero, al sur del territorio nacional, ha sido referente nacional e internacional por su actividad turística, espacios naturales e importancia cultural. Por ejemplo, el gobierno de Guerrero informó que Acapulco, en este año, concluyó la temporada vacacional de semana santa, con una afluencia de 159 mil personas, lo que generó una derrama económica de 1,018 millones de pesos (El Financiero, 2024). La industria turística, como eje central de la economía del municipio, impulsó un desarrollo desigual dentro del puerto, reflejando una amalgama de matices sociales, entornos urbanos y ofertas turísticas distintas; todas ellas moldeadas por el contexto histórico y exigencias de visitantes con diferentes tendencias en sus hábitos de consumo. En consecuencia, dentro del sector urbano coexisten tres zonas turísticas denominadas: "Turística Tradicional", "Turística Dorada" y "Diamante" (Ruz-Vargas, 2014).

La primera zona "Turística Tradicional", inició ejerciendo el turismo de manera artesanal, buscando explotar la belleza de los recursos de sol y playa, tratando de atender a los turistas en casas de huéspedes y pequeños establecimientos comerciales; se considera el primer destino de sol y playa en México y su periodo de auge comprende de 1930 a 1960. Por otra parte, en la zona "Turística Dorada", el enfoque turístico que fue desarrollado es considerado fordista, tratando de atraer un turismo de masas, de gran afluencia y demandante de hospedaje de mayor calidad, con amenidades y atracciones basadas en la prestación de servicios; su etapa de esplendor y desarrollo data de 1960 a 1990. Finalmente, la zona "Diamante" surgió en 1988, y en la actualidad es la zona con mayor desarrollo, inversión y potencial de crecimiento, su enfoque de creación es considerado posfordista, en el cual, se apostó por la diversificación en la oferta lúdica y de servicios para captar un turismo de mayor exigencia y poder adquisitivo, tratando de reposicionar al puerto a nivel nacional e internacional, en un entorno competido por otros destinos de sol y playa emergentes (Bergeret-Muñoz & Castillo-Nechar, 2021; Quintero, 2002; Ruz-Vargas, 2014).

En Acapulco algunas playas relevantes son: Tamarindos, ubicada en la zona "Turístico Tradicional", que se caracteriza por sus actividades de pesca de subsistencia, servicios gastronómicos y uso lúdico por parte de bañistas; Condesa, en la zona "Turística Dorada", que posee un fuerte oleaje y una vida nocturna dinámica, en consecuencia de los clubes nocturnos y bares adyacentes a ella; Icacos, también perteneciente a "Turística Dorada", cuenta con un oleaje tranquilo, es pre-

ferido por los bañistas para nadar y practicar deportes acuáticos, llegó a contar con la certificación internacional Blue Flag; y Barra Vieja localizada en el desarrollo turístico "Diamante" en el exterior del anfiteatro; esta playa es frecuentada por visitantes extranjeros y es preferida para realizar caminatas, pesca deportiva y recorridos a caballo o cuatrimoto (Fideicomiso para la Promoción Turística de Acapulco, 2023).

Debido su numerosa población y a la naturaleza de sus actividades económicas, las cuales traen consigo una gran cantidad de población flotante y un consumo elevado de bienes y mercancías, la gestión de residuos en Acapulco resulta compleja. De acuerdo con el Programa municipal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos del municipio de Acapulco de Juárez, Guerrero, en el municipio se generan 950 ton/día de RSU de las cuales 350 provienen de casas habitación y 600 de actividades económicas (Galán-Castro et al., 2023). Relacionado a lo anterior, en octubre de 2023, impactó en el puerto el huracán categoría 5 Otis, el cual provocó la generación de 666,000 ton de residuos sólidos urbanos y de construcción, consecuencia de la destrucción de edificaciones, embarcaciones y capa vegetal (Kanno-Youngs & Rodríguez-Mega, 2023), lo anterior desarrolló problemáticas ambientales debido a la difícil recolección y gestión de residuos posteriores al huracán.

Una de las mayores problemáticas que causa la degradación de las playas es la contaminación por residuos sólidos. Estos residuos pueden llegar a las playas arrastrados por corrientes marinas, escorrentías, viento, o bien, ser consecuencia de una incorrecta disposición (UNEP, 2021). Los residuos sólidos en las playas pueden generar riesgos a la salud humana, tener afectaciones en las actividades económicas y ser precursores de problemáticas ambientales más complejas, como la generación de microplásticos, consecuencia de los residuos plásticos presentes (Cruz-Salas, 2020).

En México se han realizado estudios que relatan la contaminación por residuos sólidos en diversas playas a lo largo del territorio nacional. En ellos se suele abordar la presencia de residuos desde dos perspectivas: la primera, de acuerdo con el número de piezas, lo cual refleja el manejo inadecuado de residuos; la segunda, a través de la contribución másica, que permite medir la carga de contaminantes generada al ambiente (Oceana, 2022). En el caso específico del análisis con base en el número de piezas, algunos de los estudios que se han llevado a cabo referente a la contaminación residuos sólidos urbanos se visualizan en la Tabla 1.

Acapulco de Juárez es el mayor motor económico del estado, un destino predilecto por visitantes nacionales y extranjeros con distintos hábitos de consumo y poderes adquisitivos, y un sitio de estudio que ofrece distintos entornos socioeconómicos. En este sentido, el objetivo del presente estudio fue analizar la variación de composición, concentración e índice de contaminación de residuos sólidos en cuatro playas, de las tres zonas turísticas de Acapulco de Juárez, durante dos temporadas con distinta afluencia turística.

Tabla 1: Estudios referentes a la presencia de residuos en playas de México

Título	Objetivo	Lugar	Resultado	Referencia
Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas	Evaluar la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas y su relación con la calidad ambiental, así como con la presencia de residuos sólidos urbanos	La Barra de Sontecomapan, Veracruz; Playa Grande, Quintana Roo; Zipolite, Oaxaca; San Agustinillo, Oaxaca y La Misión, Baja California	La concentración máxima de residuos sólidos se presentó en la playa La Misión, con 0.13 piezas/m2. El material más común fue el plástico con 42.5%	(Cruz-Salas, 2020)
Estudio para identificar los plásticos de un solo uso innecesarios en México	Identificar los artículos plásticos de un solo uso que sean innecesarios y tengan alto potencial de contaminación marina en México	Baja California, Sonora, Jalisco, Colima, Tamaulipas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo	Los residuos de mayor incidencia en costas son: bolsas de plástico (16.2%), contenedores de alimentos y cubiertos desechables (15.4%) y botellas de plástico (12.9%)	(Oceana, 2022)
Basura marina: residuos en playas mexicanas	Cuantificar y clasificar los residuos sólidos presentes en playas mexicanas y analizar la relación existente entre la presencia de residuos sólidos e indicadores	Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Quintana Roo, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Sinaloa, Baja California, Baja California Sur	Los residuos con mayor incidencia fueron: colillas de cigarrillos (42%), plásticos (26%), metales (14%). El índice promedio de contaminación por residuos fue de 7.2, en Guerrero fue de 0.5	(Alvarez-Zeferino et al., 2019)

2. Metodología

Existen distintas metodologías para cuantificar y caracterizar los residuos sólidos en playas. Algunos autores recurren a los servicios de recolección y limpieza de residuos municipales; para ello, reúnen los residuos ubicados en los contenedores cercanos a las playas y posteriormente los caracterizan y cuantifican (Ariza et al., 2008). Otros autores realizan una recolección manual de residuos a lo largo de un sólo transecto de playa; por ejemplo, Sibaja-Cordero et al., (2022) lo realizó a lo largo de 100 m de la línea pleamar, considerando un ancho de 3 m a partir de ésta.

En esta investigación, se procedió con la metodología planteada en la tesis de maestría Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas (Cruz-Salas, 2020), realizando las siguientes actividades: selección de puntos de muestreo, recolección, caracterización y cuantificación de residuos sólidos; y la determinación del índice de contaminación, así como la densidad superficial. Se optó por esta metodología de muestreo debido a que considera la recolección de residuos en todo el ancho de la playa, abarcando desde la línea de agua, hasta las zonas cercanas a las infraestructuras costeras, incluyendo la línea pleamar, una zona visible con mayor acumulación de residuos.

2.1. Selección de zonas de muestreo

Se seleccionaron las playas a muestrear con base en criterios como: acceso público, seguridad, longitud mínima de 100 m y ubicación dentro de las tres zonas turísticas del puerto de Acapulco. De lo anterior se seleccionó la playa Tamarindos, perteneciente a "Turística Tradicional"; playas Condesa e Icacos, pertenecientes a "Turística Dorada"; y playa Barra Vieja, perteneciente a zona "Diamante". En el caso particular de la zona "Turística Dorada", se seleccionaron dos playas por la diferencia de las actividades económicas realizadas en ellas y la poca distancia entre sí, facilitando la logística de recorrido; siendo Condesa una de las principales zonas de bares y clubes nocturnos en la ciudad, su playa funge como punto de reunión de los visitantes en espera de entrar en dichos establecimientos y posee mayor afluencia nocturna; mientras que Icacos por su oleaje tranquilo, es frecuentado por bañistas que realizan actividades acuáticas, o pescadores, teniendo una mayor afluencia diurna. Las ubicaciones de las playas seleccionadas pueden observarse en la Figura 1.

Se programaron las fechas de muestreo durante diciembre de 2023 y febrero de 2024. Sin embargo, debido a el fenómeno meteorológico "Otis", ocurrido en octubre de 2023, se reagendaron las fechas de muestreo. La primera campaña de muestreo se realizó en temporada baja, el 19 y 20 de febrero, y la segunda se llevó a cabo en temporada alta durante el fin de semana largo perteneciente a semana santa, del 28 al 30 de marzo, ambas durante 2024.

2.2. Muestreo, caracterización y cuantificación

La toma de muestras en campo fue posible con el apoyo de voluntarios. En el muestreo se colocó una cuerda de 100 m a lo largo de la playa, colocándose sobre el transecto de la línea pleamar,

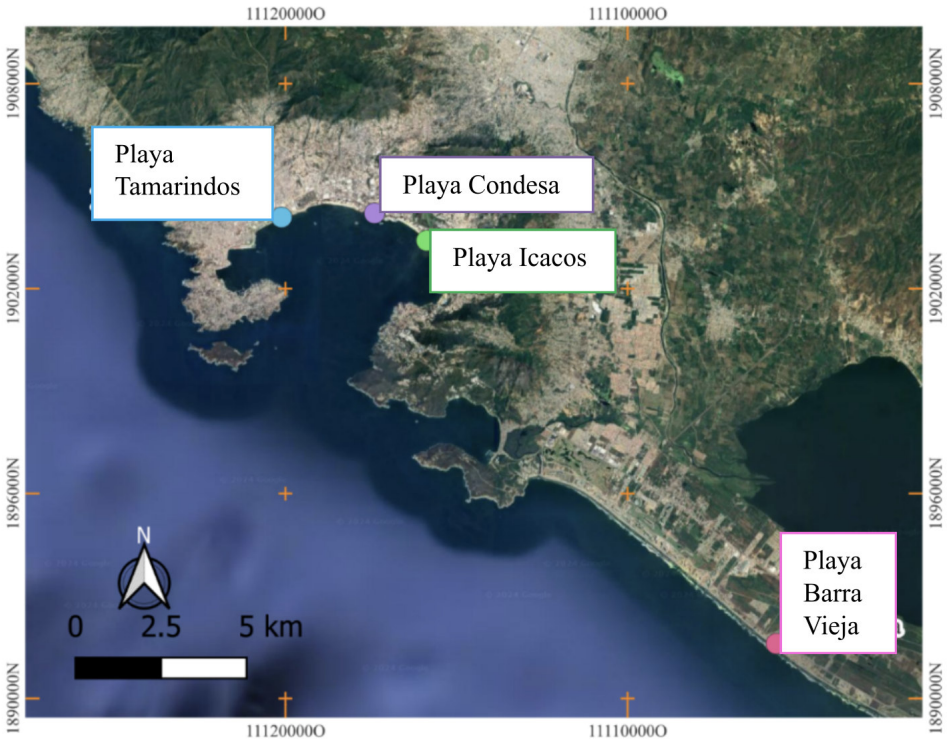


Figura 1: Ubicación de playas seleccionadas. Elaboración propia con Google Earth.

delimitando así la zona de estudio. La cuerda fue marcada cada 5 m, dividiendo el largo de la playa de manera simétrica. Posteriormente, se registró el ancho de la playa, tomando como inicio la línea de agua y como final las construcciones fijas encontradas. Finalmente, de manera aleatoria se seleccionaron 5 secciones (a excepción de playa Barra Vieja, donde se decidió conservar la longitud de la playa completa, debido a la poca presencia de residuos sólidos sobre la playa) en las cuales se realizó el levantamiento de todos los residuos encontrados.

Una vez recolectados los residuos de todas las secciones, se procedió a su caracterización de forma manual. Estos se separaron por material y por tipo de residuos. Las categorías de clasificación se seleccionaron con base al listado de la UNEP, descrito en el reporte Guidelines on survey and monitoring of marine litter (Cheshire et al., 2009) y una vez caracterizados los residuos, se cuantificó el total del número de piezas encontradas y se determinó su masa.

2.3. Índice de contaminación y densidad superficial de residuos

Por sí sola, la cantidad de residuos presentes en una playa no es suficiente para afirmar que está contaminada. Por lo que el *índice de contaminación* (IC) funge como un indicador viable que contempla también el área de la playa, estandarizando el criterio de contaminación por residuos en playas y permitiendo comparativas entre éstas. Se usó la Ecuación 1 para calcular el IC.

$$IC = \frac{\#Piezas}{(\#Secciones)(L)(A)} x20 \quad (1)$$

Donde:
# piezas = el número de piezas recolectadas
# secciones = el número de secciones muestreadas
L = longitud de la sección (m)
A = ancho de la playa (m)

La interpretación del IC propuesta por Alkalay et al. (2007) se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Interpretación del Índice de Contaminación propuesta por Alkalay et al. (2007)

Valor IC	Clasificación	Criterio
0.0-1.0	Muy limpia	No se observan residuos
1.1-2.0	Limpia	No se observan residuos en un área grande
2.1-3.0	Moderada	Se observan algunos residuos
3.1-4.0	Sucia	Presencia de muchos residuos
4.0<	Muy sucia	La mayor parte de la playa está cubierta por residuos

La densidad superficial de residuos (Ds) indica el número de piezas de residuos por unidad de área de la playa. Considerando el área de las secciones por playa, la densidad superficial se calcula con la Ecuación 2.

$$Ds = \frac{\#Piezas}{(\#Secciones)(L)(A)} \quad (2)$$

Donde:
# piezas = el número de piezas
# secciones = el número de secciones
L = Longitud de la sección (m)
A = ancho de la playa (m)

3. Resultados y discusión

En esta sección se presentan las concentraciones de residuos obtenidas y su contribución másica. Se detalla la clasificación de los materiales que presentan mayor frecuencia de aparición y los tres tipos predominantes. Finalmente, se exponen el índice de concentración, así como la densidad superficial de los residuos en las playas estudiadas.

3.1. Concentración de residuos sólidos

La Tabla 3 detalla las piezas totales de residuos recolectados y su correspondiente masa húmeda durante ambas temporadas de estudio.

Tabla 3: Número y masa húmeda totales de residuos por temporada de afluencia turística

Playa	N° de piezas		Masa húmeda total (kg)	
	TB	TA	TB	TA
Tamarindos (Turística Tradicional)	407	803	13.90	0.74
Condesa (Turística Dorada)	1198	608	4.38	7.38
Icacos (Turística Dorada)	444	552	2.23	1.71
Barra Vieja (Diamante)	233	452	3.05	3.20

3.2. Clasificación de residuos

Las proporciones de los materiales encontrados en el periodo de baja afluencia turística se muestran en la Figura 2.

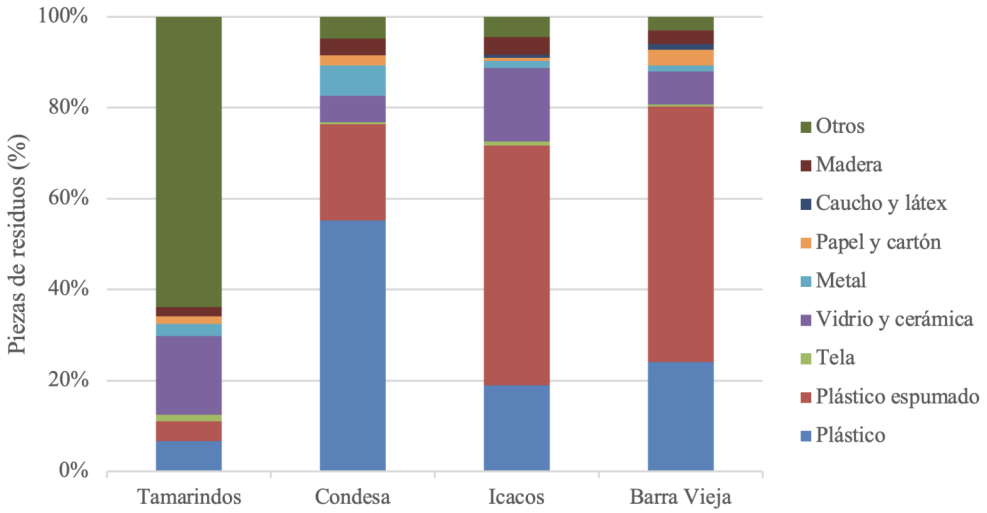


Figura 2: Clasificación de residuos por playa en la temporada de afluencia turística baja (número de piezas)

Los tipos de residuos de mayor incidencia, para la temporada de afluencia turística baja, considerando el número de piezas encontrados se muestran en la Tabla 4.

Los resultados del número de piezas en porcentajes, de acuerdo con los materiales encontrados durante el muestreo realizado en la temporada de afluencia turística alta, se muestran en la Figura 3.

Los tipos de residuos de mayor incidencia, en la temporada de afluencia turística alta, considerando el número de piezas encontrados, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4: Residuos de mayor incidencia considerando el número de piezas durante la temporada de afluencia turística baja

Playa	1°	2°	3°
Tamarindos (Turística Tradicional)	Residuos orgánicos -63.88 %	Fragmentos de vidrio -14.74 %	Vasos, charolas y contenedores de alimentos de unicel -4.42 %
Condesa (Turística Dorada)	Cigarros, colillas y filtros -22.20 %	Vasos, charolas y contenedores de alimentos de unicel -9.35 %	Fragmentos de boyas de espuma -8.10 %
Icacos (Turística Dorada)	Vasos, charolas y contenedores de alimentos de unicel -27.93 %	Fragmentos de boyas de espuma -13.74 %	Fragmentos de vidrio -11.49 %
Barra Vieja (Diamante)	Fragmentos de boyas de espuma -34.33 %	Espuma de aislamiento y embalaje -12.02 %	Fragmentos de poliestireno (unicel) -6.44 %

Tabla 5: Residuos de mayor incidencia considerando el número de piezas durante la temporada de afluencia turística alta

Playa	1°	2°	3°
Tamarindos (Turística Tradicional)	Residuos orgánicos -18.43 %	Tazas, bandejas de comida, vasos, envolturas de comida, palitos de paleta -11.46 %	Cuchillos, tenedores, cucharas, agitadores, palitos de paleta y popotes -11.21 %
Condesa (Turística Dorada)	Bolsas de plástico, considerando envolturas de dulces y alimentos -19.41 %	Residuos orgánicos -11.84 %	Fragmentos de plásticos semirrígidos -10.20 %
Icacos (Turística Dorada)	Fragmentos de poliestireno (unicel) -18.48 %	Vasos, charolas y contenedores de alimentos de unicel -17.75 %	Bolsas de plástico, considerando envolturas de dulces y alimentos -13.41 %
Barra Vieja (Diamante)	Fragmentos de boyas de espuma -53.10 %	Bolsas de plástico, considerando envolturas de dulces y alimentos -7.52 %	Cigarros, colillas y filtros -5.09 %

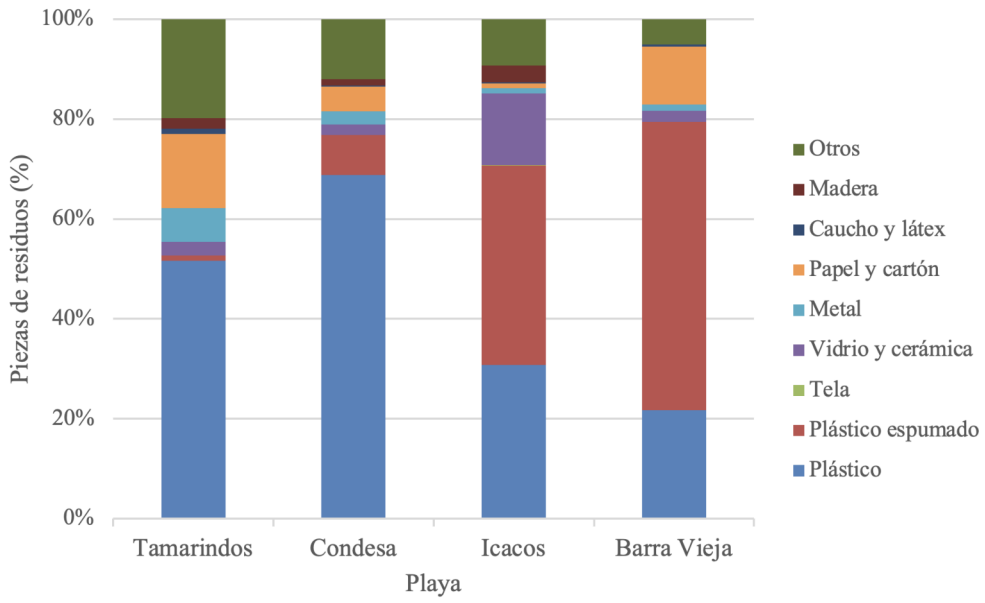


Figura 3: Categoría de residuos por playa en la temporada de afluencia turística alta (número de piezas)

3.3. Índice de contaminación y densidad superficial de residuos

En la Tabla 6, se muestran los indicadores calculados en cada playa, es importante mencionar que la variación porcentual descrita es la misma para el número de piezas y para cada indicador de una misma playa, puesto que el número de piezas está implícito en las Ecuaciones 1 y 2.

Tabla 6: Número de piezas, densidad superficial e índice de contaminación en cada playa, durante ambas temporadas

Playa	**Número de piezas**		**Densidad de residuos (pzas/m^2)**		**Índice de contaminación**		**Variación entre temporadas**
	TB	TA	TB	TA	TB	TA	(%)
Tamarindos (Turística Tradicional)	407	803	0.56	1.11	11.23 (Muy sucia)	22.15 (Muy sucia)	97.30%
Condesa (Turística Dorada)	1,198	608	1.5	0.76	29.95 (Muy sucia)	15.2 (Muy sucia)	-49.25%
Icacos (Turística Dorada)	444	552	0.57	0.71	11.46 (Muy sucia)	14.25 (Muy sucia)	24.32%
Barra Vieja (Diamante)	233	452	0.09	0.17	1.71 (Limpia)	3.32 (Sucia)	93.99%

La Tabla 6 muestra un aumento en tres de las cuatro playas analizadas. El aumento del número de residuos en playas, y la afluencia de personas consecuencia de la temporada vacacional, sugiere una correlación entre el turismo y la contaminación de playas por residuos sólidos; resultado que ha sido discutido y analizado en distintos contextos (Botero et al., 2017; Garcés-Ordóñez et al., 2020; Thu Huong et al., 2024). No obstante, la zona turística de mayor afluencia (Turística Dorada) esperada por su enfoque fordista presentó menor variación porcentual promedio, considerando ambas playas, con una variación del -12.46%. La disminución en la variación porcentual puede explicarse por distintas causalidades: el fuerte oleaje de playa Condesa, que pudo provocar el arrastre de residuos mar adentro; la posibilidad de que los residuos estuviesen enterrados pudiendo inhabilitar su recolección, o acciones por parte de comercios, autoridades locales y prestadores de servicios, que, realizando una recolección y gestión de los residuos en playas, buscaron tener una mejor imagen para los turistas.

Aun cuando se presentó una disminución entre la temporada alta y la baja en una de las tres zonas turísticas, el IC promedio de Acapulco de Juárez fue de 13.59 y 13.76 en la temporada baja y alta, respectivamente; estando ambos valores por encima del valor IC=4 que implica playas “muy sucias” en el municipio, siendo playa “Barra Vieja” de zona “Diamante”, la única que estaría debajo de este valor en ambas temporadas. La zona “Diamante”, caracterizada por un turismo posfordista de visitantes de alta exigencia, mostró un valor muy por debajo de los IC y Ds respecto a las demás zonas turísticas, pudiendo ser consecuencia de la poca afluencia de gente por el difícil acceso a sus playas, su carácter exclusivo en el cual, el prestador de servicios gestiona y dispone los residuos de los turistas atendidos y las construcciones de tipo turístico-residencial adyacentes a la playa.

Por otra parte, el carácter artesanal del turismo de la zona “Tradicional”, es reflejado en los residuos generados en la playa Tamarindos. Los principales tipos de residuos generados en esta playa durante ambas temporadas fueron los residuos orgánicos, siendo los plásticos de un solo uso, residuos de relevancia de igual forma. Esto puede ser explicado por las dinámicas y hábitos de consumo de los visitantes de esta zona, en los cuales, el visitante prepara y consume sus alimentos en la misma playa, o los adquiere en los pequeños vendedores ambulantes y locatarios especializados en servicios gastronómicos.

Los valores promedio del índice de contaminación obtenidos están por encima del promedio nacional ICnacional=7.3 y del promedio estatal ICGuerrero=0.5 reportados en el trabajo “Basura marina: residuos en playas mexicanas"(Alvarez-Zeferino et al., 2019). Los IC en las playas de Acapulco, si bien pueden ser consecuencia de la incorrecta disposición final de los residuos, una alta afluencia de gente y las actividades económicas realizadas, en estos ecosistemas costeros, también pudieron ser influidos por el fenómeno meteorológico “Otis”, huracán ocurrido en octubre del 2023.

Evidencia de lo antes mencionado, se observó en los residuos sólidos encontrados en playa Barra Vieja. Dentro de los materiales encontrados en la caracterización y cuantificación de los residuos, se identificaron materiales asociados con la construcción y fachadas, como cerámicos, maderables y plásticos espumados, que pudieron ser arrastrados durante los eventos del huracán. Los

plásticos espumados fueron el principal material de los residuos encontrados en ambos muestreos en esta playa, siendo el tipo de plástico espumado con mayor incidencia las “Boyas de espuma y sus fragmentos”, los cuales son utilizados en las construcciones y en embarcaciones, también, se encontraron fragmentos de poliestireno expandido en forma de lonjas, los cuales son utilizados en construcciones como aislante térmico en fachadas y muros, además de trozos de cemento (Figura 4)

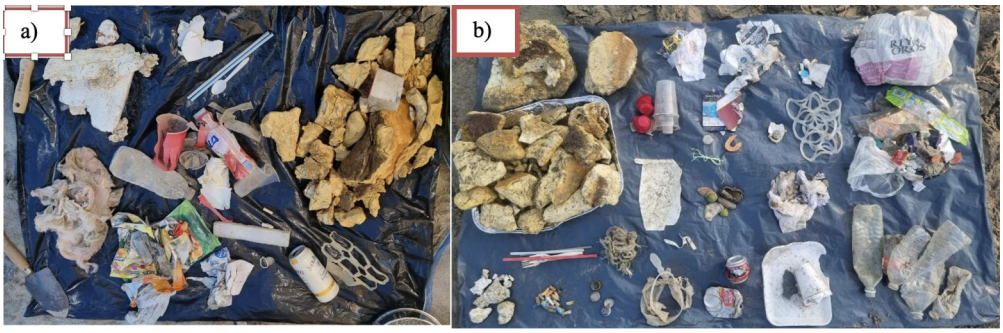


Figura 4: Residuos encontrados en playa Barra Vieja: a) Temporada turística baja b) Temporada turística alta

4. Conclusiones

Los resultados del presente trabajo evidencian la contaminación de las playas de Acapulco como consecuencia de la presencia de residuos. Se muestra una afectación directa en todas las playas estudiadas, repercutiendo de manera preocupante en el patrimonio natural, en el medio de subsistencia de la población y las posibilidades recreativas y lúdicas de los visitantes. Por otra parte, los resultados sugieren que, si bien existe una correlación entre el turismo y la concentración de residuos, el enfoque desarrollado en las zonas turísticas (artesanal, fordista y posfordista) y el fenómeno meteorológico Otis, tuvieron influencia en la composición e índice de contaminación de residuos en las playas.

El turismo es de vital importancia en la economía del estado de Guerrero y del municipio de Acapulco, siendo a veces el modus vivendi de pequeños locatarios, comerciantes y prestadores de servicios, sin embargo, el enfoque de las playas como un bien meramente económico, y la falta de conciencia y empatía ambiental por parte de visitantes y habitantes, ha provocado la contaminación del patrimonio natural y con ello, su medio de subsistencia.

La presencia de residuos sólidos en las playas de Acapulco superó significativamente las concentraciones y los índices de contaminación reportados a nivel estatal y nacional (Alvarez-Zeferino et al., 2019; Cruz-Salas, 2020). Además, la composición y distribución de estos residuos revelan patrones distintos a los descritos en otros estudios (Botero et al., 2017; Garcés-Ordóñez et al., 2020; Thu Huong et al., 2024), sugiriendo causas más complejas que trascienden el impacto directo del Antropoceno.

El manejo inadecuado de residuos por parte de los visitantes, junto con la acumulación de escombros de construcción tras fenómenos de alta energía, revela un desafío ambiental complejo en el cual, los impactos de la contaminación por residuos trascienden la responsabilidad de actores tradicionales como el gobierno, la industria y la ciudadanía. Ahora, dichos efectos se integran también a fenómenos meteorológicos desmesurados, los cuales, por el cambio climático, serán cada vez más frecuentes.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al entusiasmo de los voluntarios participantes en las campañas de muestreo, a Dulce Domínguez, Fiorella Sotelo, Heidy Francisco, María Fernanda Salgado, Mariana Menchaca, Julio Chávez, Edwin Baca, Norma Luz Castro, Marco Antonio Carrillo, Camilla Albarrán, Fátima Cerdenares, Víctor Vergara, Rosalinda Sánchez, Francisco Javier Orozco y Jocelyn Navarrete, muchas gracias por su energía, entusiasmo y disposición.

De igual manera a la Dra. Dulce Quintero, del Centro de Gestión del Desarrollo, le agradecemos el valioso apoyo logístico, de transporte y su acompañamiento.

Referencias bibliográficas

[1] Alkalay, R., Pasternak, G., & Zask, A. (2007). Clean-coast index—A new approach for beach cleanliness assessment. *Ocean & Coastal Management*, 50(5–6), 352–362. https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2006.10.002

[2] Alvarez-Zeferino, J. C., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A. A., & Vázquez-Morillas, A. (2019). Basura marina: residuos en playas mexicanas. *4o Congreso de Ingeniería Ciencia y Gestión Ambiental AMICA*, 9.

[3] Ariza, E., Jiménez, J. A., & Sardá, R. (2008). Seasonal evolution of beach waste and litter during the bathing season on the Catalan coast. *Waste Management*, 28(12), 2604–2613. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.11.012

[4] Bergeret-Muñoz, R. J., & Castillo-Nechar, M. (2021). El turismo en Acapulco: de los inicios artesanales a la modernización del destino turístico. Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México. http://hdl.handle.net/20.500.11799/111790

[5] Botero, C. M., Anfuso, G., Milanes, C., Cabrera, A., Casas, G., Pranzini, E., & Williams, A. T. (2017). Litter assessment on 99 Cuban beaches: A baseline to identify sources of pollution and impacts for tourism and recreation. *Marine Pollution Bulletin*, 118(1–2). https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.061

[6] Busto Ibarra, K. (2017). Espacio y ocio: el turismo en México. Investigaciones Geográficas, 2017(92), 172–174. https://doi.org/10.14350/rig.59443

[7] Cheshire, A., Adler, E., Barbière, J., & Cohen, Y. (2009). UNEP/IOC Guidelines on survey and monitoring of marine litter. *UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 186; IOC Technical Series*, 186.

[8] Cruz-Salas, A. A. (2020). Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas. [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. http://hdl.handle.net/11191/6843

[9] El Financiero. (2024, 7 de abril). Exitosa temporada vacacional para destinos turísticos de Guerrero. https://www.elfinanciero.com.mx/estados/2024/04/07/exitosa-temporada-vacacional-para-destinos-turisticos-de-guerrero/

[10] Fideicomiso para la Promoción Turística de Acapulco. (2023, enero). Guía turística de Acapulco, 34.

[11] Galán-Castro, E. A., Juárez-López, A. L., & Casarrubias-Jáimez, A. I. (2023). La gestión de residuos en Acapulco, Guerrero: Acercamientos desde la antropología del Estado. *Iztapalapa. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 1(94), 193–219. https://doi.org/10.28928/ri/942023/aot4/galancastroe/juarezlopeza/casarrubiasjaimeza

[12] Garcés-Ordóñez, O., Espinosa Díaz, L. F., Pereira Cardoso, R., & Costa Muniz, M. (2020). The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 160. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558

[13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Comunicado de prensa núm. 538/22. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CSTM/CSTM2022.pdf

[14] Kanno-Youngs, Z., & Rodríguez-Mega, E. (2023, 25 de noviembre). Acapulco entre montañas de basura y cucarachas tras el paso de Otis. *The New York Times en español*. https://www.nytimes.com/es/2023/11/25/espanol/acapulco-basura-enfermedades-huracan-otis.html

[15] Moon, J. (2024). The Impact of Coastal Erosion and Shoreline Changes on Beach Leisure Activities: Evaluating the Importance of Maritime Police in Maintaining Public Safety. *Journal of Coastal Research*, 116(sp1). https://doi.org/10.2112/JCR-SI116-134.1

[16] Oceana. (2022). Estudio para identificar los plásticos de un solo uso innecesarios en México. https://doi.org/10.5281/zenodo.7470844

[17] Quintero, D. (2002). José Francisco Ruiz Massieu y el periodismo en Guerrero. Reproducciones y Materiales S.A. de C.V.

[18] Ruz-Vargas, M.-I. (2014). La vulnerabilidad en el paraíso. [Tesis]. Universidad Autónoma de Guerrero. http://ri.uagro.mx/handle/uagro/2242

[19] Sibaja-Cordero, J. A., & Gómez-Ramírez, E. H. (2022). Marine litter on sandy beaches with different human uses and waste management along the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Marine Pollution Bulletin*, 175, 113392. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113392

[20] Thu Huong, D. T., Lan, T. D., & Le, D. T. (2024). Environmental Conflicts with Tourist Beach Uses along the Northeastern Vietnam Coast. *Journal of Coastal Research*, 40(1). https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-23-00002.1

Determinación del área de afectación por residuos sólidos mediante imágenes satelitales; caso Polotitlán, Estado de México

Iris Margarita Pérez Palacios[1], María del Consuelo Hernández Berriel[1*], María de la Luz Jiménez Núñez[2], Beningno Ortiz Muñiz[1], María del Consuelo Mañón Salas[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N Col. Agrícola Bellavista, Metepec, Estado de México, C.P. 52149, Tel. (52) 722 208 72 00 ext. 3630.
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, Carretera Veracruz-Córdoba Km.12, C.P.94290, Tel. (52) 229 6905010, Boca del Río, Veracruz, México.

[*]Correo electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen
La falta de control en la disposición de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos genera alteraciones ambientales, derivadas de su degradación y, su remisión es insuficiente si se desconoce la afectación total de la zona. Es por ello, que en este trabajo se determinó el área total afectada del sitio de disposición final en el municipio de Polotitlán, Estado de México. Se identificaron las características fisiográficas, de infraestructura y operación del sitio mediante investigación documental y de campo. Se calculó el promedio de toneladas recibidas diaria, semanal y anualmente con base a información documental y entrevistas a los encargados del sitio. Se detectaron y delimitaron áreas de disposición de residuos sólidos en un periodo de quince años, con el análisis de imágenes satelitales en Google Earth Proo. Se identificaron tres tipos de residuos: domiciliarios, cárnicos y automotrices. Se estimó una superficie total impactada de 69,196 m2, distribuida en tres áreas principales, con una recepción promedio de 3,071 t/año de residuos sólidos, lo que refleja la falta de supervisión en la disposición. Con el fin de no incrementar la zona impactada, se recomienda limitar las disposiciones en área afectadas y cubrir todos los residuos con suelo, incluso los residuos orgánicos que ya tiene cal.

Palabras clave: *Imágenes satelitales*, *residuos sólidos urbanos*, *residuos peligrosos*, *sitio de disposición final*

1. Introducción

La degradación de residuos sólidos urbanos (RSU), de manejo especial (RME) y peligrosos (RP) en sitios de disposición final no controlados (SNC), es fuente de contaminación ambiental, que contribuye al deterioro del aire, agua y suelo (Ampofo, et al., 2023). La falta de gestión en los SNC va desde la falta de cubrimiento de residuos hasta la nula captación de subproductos como lixiviados y biogás. En el caso de los lixiviados estos pueden filtrarse, contaminar el suelo y las aguas

subterráneas, estos problemas son evidentes en los sitios de disposición final (SDF) que carecen de revestimientos adecuados, perforados o con fugas, como es el caso de Malasia, donde los vertederos en su mayoría carecen de un sistema de impermeabilización, confinamiento y recolección de lixiviados que contaminan el medio ambiente (Munirah, et al., 2021).

Una de las herramientas que existen hoy en día, es el uso de imágenes satelitales, como aplicación tecnológica para identificar áreas de disposición de residuos sólidos municipales. Esta herramienta brinda la capacidad de visualizar, calcular y recopilar información, con el fin de apoyar la planeación de estrategias para el mantenimiento, remediación, rehabilitación o clausura de los SDF, lo que promueve una gestión de los RSU más dinámica (Mendoza, et al., 2023, Susunaga Miranda et al., 2023).

En México la Constitución Política otorga a los Municipios la responsabilidad de la recolección, traslado, tratamiento y disposición de los residuos (DOF, 2024). En muchos casos los Municipios son rebasados por la creciente demanda, derivado de la falta de manuales de operación, recursos humanos y económicos (Bernache, 2012, Cervantes & Castellanos, 2022). Aunado a ello, existe falta de continuidad por la reestructuración cada tres años de los gobiernos municipales. Ejemplo de esto es el municipio mexiquense de Polotitlán, el cual cuenta con un SDF que ha sido administrado como tiradero, sitio controlado y relleno sanitario. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue determinar el área de afectación total por la disposición de residuos sólidos en la propiedad llamada "Rancho del Municipio", mediante imágenes satelitales.

2. Metodología

El método utilizado se basó en la recolección de datos de las cantidades de residuos depositados y el uso Google Earth Pro para visualizar imágenes satelitales históricas en el SDF "Rancho del Municipio" de Polotitlán, Estado de México.

2.1. Caracterización del sitio de disposición

Se realizó una investigación documental de la ubicación del SDF y las características fisiográficas de la zona. Se realizó una visita al sitio denominado "Rancho del Municipio", para observar el manejo de la disposición de residuos sólidos, la infraestructura existente y su operación. Esta información se contrastó con la obtenida de publicaciones referentes al manejo de los servicios de recolección y disposición del municipio (Ayto de Polotitlán, 2022; 2019; 2018; 2017; 2016; 2016a; 2015; 2012; 2010; CGPCEM, 2020; DGPCEM, 2018; GEM, 2012; SEMARNAT, 2020).

2.2. Cálculo de residuos sólidos recibidos en el sitio de disposición

Se realizó una investigación documental en registros municipales, estatales, del INEGI y de la SEMARNAT; así como entrevistas a los encargados del SDF del municipio, para conocer las cantidades depositadas. Con la información proporcionada se calculó el promedio de toneladas recibidas

diaria, semanal y anualmente. Los datos no obtenidos se estimaron mediante la ponderación de promedios, utilizando los registros máximos.

2.3. Delimitación del área total impactada

Se elaboró un análisis histórico entre los años 2008 y 2023 del SDF, por medio de imágenes satelitales con Google Earth Pro, donde se detectaron áreas de tiro y disposición de RSU y, en su caso RME, utilizando las herramientas de área, perímetro, distancia y perfil topográfico (Google, 2024). Con el fin de dimensionar cronológicamente las áreas de afectación por la disposición de RSU, se delimitó el área de uso por año y posteriormente se ajustaron los vértices externos de las áreas afectadas (AI#) en la sobreposición de imágenes para calcular el área total impactada (ATI). Con apoyo del Dron DJI Phantom 4, se sobrevolaron las zonas de disposición de residuos solidos y se verificaron los tipos de residuos dispuestos.

3. Resultados y discusión

El municipio de Polotitlán, Estado de México se encuentra ubicado entre las coordenadas longitud 99.9341 a 99.6952 y latitud 20.1383 a 20.156667, con altitudes entre 2,200 y 2,700 msnm, con una población de 14,895 habitantes (González-Polo, 2020; INEGI, 2020; 2022).

El clima predominante es C(w1), templado subhúmedo con lluvias en verano. Las temperaturas que prevalecen van desde los 12 a los 22 °C. Hidrográficamente el municipio está ubicado en la cuenca del Río Moctezuma. Los cuerpos de agua del municipio son en su mayoría intermitentes como es el caso de la presa "El Derramadero" utilizado para riego agrícola, el cual es más cercano al área de estudio (INEGI, 2010; 2009; Ayto. de Polotitlán, 2016a; SIGEA, 2021)

Fisiográficamente, el municipio forma parte del sistema montañoso de la Sierra Nevada del Eje Neovolcánico Transversal y queda constituido dentro de una secuencia diversa de rocas volcánicas, donde predomina el relieve en lomerío y llanura. El suelo preponderante es el planasol, aluvial y vertisol. Geológicamente, está formado por rocas clásticas y volcánicas, así como depósitos sedimentarios fluviales y lacustres producidos simultáneamente con el vulcanismo. Edafológicamente, el municipio cuenta con cuatro unidades: Phaeozem, Litosol, Planasol, y vertisol. El suelo dominante en el municipio es el Planasol, además de otros como Leptosol en menor proporción (CONAGUA, 2015; DGPCEM, 2018; INEGI, 2010; Sotelo, 2020).

El uso principal del suelo es para agricultura, el resto del territorio es ocupado por zonas urbanas y vegetación (INEGI, 2009). El SDF se ubicó dentro del Área Natural Protegida "Santuario del Agua Sistema Hidrológico Presa Huapango" (GEM, 2023; SEMARNAT, s.f.).

3.1. Caracterización del sitio de disposición

El SDF "Rancho del Municipio" se encuentra ubicado en la delegación de San Antonio el Viejo a 4.3 km de la cabecera municipal Polotitlán de la Ilustración y, a 523 m en línea recta de la presa

"El Derramadero" (Google, 2023; INEGI, 2022) y cercano a bordos y corrientes intermitentes que se forman en época de lluvia y que son utilizados para riego agrícola (Figura 1).

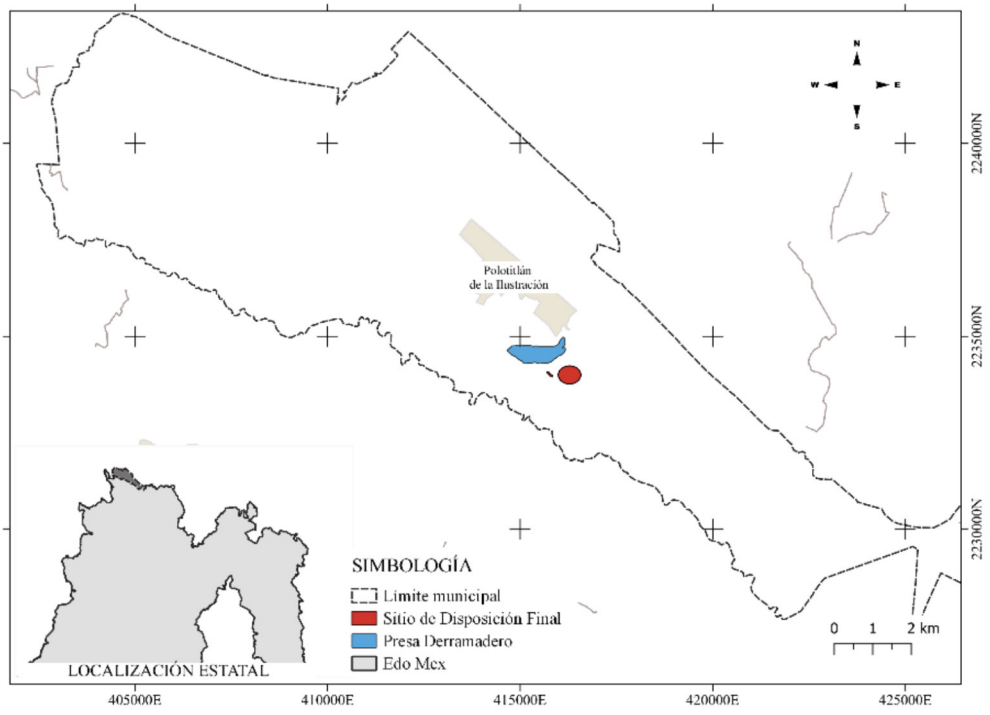


Figura 1: Ubicación del municipio de Polotitlán y su Sitio de Disposición Final.

El SDF se encuentra en una zona de transición entre los relieves llanura y lomerío, en un área con suelo de tipo Planasol, el cual se caracteriza por tener una capa subsuperficial de arcilla; estos suelos son típicamente áreas húmedas bajas que pueden soportar la vegetación tipo hierba o del bosque abierto. Sin embargo, son pobres en nutrientes vegetales, y su contenido de arcilla conduce tanto al agua estacional como al estrés por sequía (FAO, 2021).

El SDF de Polotitlán ha recibido varios nombres: "Rancho del municipio", "Relleno Sanitario Municipal Celda de disposición" y "Tiradero municipal"; en este trabajo se le refiere como "Rancho del municipio". El terreno que cuenta con una superficie entre 3.44 y 5.00 ha, de las cuales 0.76 ha se utilizan para depositar RSU y RME, es clasificado como RESA desde 2016, debido a que fue rehabilitado con la construcción de una celda de disposición para RSU, sin embargo, no se implementó la operación y manejo adecuados (CGPCEM, 2020; SEMARNAT, 2020). De acuerdo con la entrevista realizada al Ing. Ruiz Sánchez (2021), el cual fungió como Director de Ecología del Ayuntamiento 2019-2021, el SDF contaba con una vida útil de 22 años.

En cuanto a su infraestructura, la zona donde se construyó la celda de disposición cuenta con captura de lixiviados a través de una geomembrana, la cual se encuentra deteriorada y rota, pozos de venteo para captura de biogás (inhabilitados con piedras), cerca perimetral de llanta para controlar fauna nociva y caseta de vigilancia para control de acceso, la que se encontró desmantelada.

La operación del sitio consiste en el control de acceso vehicular y peatonal por parte de un encargado, sin embargo, este no revisa exhaustivamente que solo ingresen RSU. En la visita realizada en diciembre del 2021, no se apreció actividades de compactación y cubrimiento con tierra de residuos sólidos. Para la disposición final de residuos cárnicos, se lleva a cabo un entierro con cubrimiento de cal y tierra; la tarea es realizada por usuarios que pagan una cuota al ayuntamiento según entrevista con el encargado del sitio. En las visitas realizadas durante octubre y diciembre del 2021 y marzo 2022, se observó la disposición de residuos sólidos mezclados (Figura 2), lo que puede atribuirse a que los camiones recolectores no están adaptados para realizar la recolección en forma separada, entre orgánicos e inorgánicos.



Figura 2: Camión recolector en el SDF "Rancho del municipio" de Polotitlán, EdoMéx.

3.2. Cálculo de los residuos sólidos recibidos en el sitio de disposición

El Manejo integral de los RSU del municipio de Polotitlán comprende cuatro etapas: barrido, recolección, valorización y disposición final de residuos. La composición de los residuos sólidos depositados se clasifica en RSU, RME, automotrices y cárnicos. La valorización de los RSU se realiza en el SDF a través de segregadores primarios (Figura 3), que acopian lata, cartón, vidrio y plásticos (Ayto. de Polotitlán, 2022, 2019, 2018, 2017, 2012, 2010).

En el mes de diciembre del 2009, se depositó en el SDF 20 t/sem, en ese mismo año se registró un promedio anual de 3,780 t/año. Durante el año 2010 el municipio recolectó un promedio de 12 t/día de RSU, las cuales se consideraron como dispuestas en el SDF. En el año 2012, el SDF se catalogó como SNC, operado por el municipio de Polotitlán. En ese entonces, se generaban aproximadamente 5 t/día de RSU, un promedio de 450 g/hab-día y un promedio de disposición de 11 t/día (Ayto. de Polotitlán, 2012; GEM, 2012; INEGI, 2020).

En 2014, el Ayuntamiento designó al SDF como "Sitio de Disposición Final celda nueva tipo "C", con una superficie de 5 ha (Ayto. de Polotitlán, 2015). Aunque es hasta 2016 cuando se registra



Figura 3: Segregadores primarios en la valorización de residuos sólidos (abajo) y residuos de manejo especial (arriba) en el sitio de disposición final de Polotitlán EdoMéx.

la construcción de una celda de disposición, producto de este rezago es la designación de este SDF como RESA (Ayto. de Polotitlán, 2016).

Para el 2019, el SDF recibió entre 8 y 10 t/día de RSU para disponer en una superficie de terreno de 2,000 m2. En este año el SDF fue un RESA tipo C operado por el municipio, en el que se realizó la valorización de residuos por recolectores primarios (Ayto. de Polotitlán, 2019). La cantidad de RSU y RME dispuestos en el sitio ha variado en la última década, como se muestra en la Tabla 1, con una generación promedio de 3,055.8 t/año. Conforme a la referencia anterior, el SDF "Rancho del municipio" recibió en promedio 9.1 t/día.

Año	**Residuos Sólidos Urbanos Dispuestos**		
	(t/día)	(t/semana)	(t/año)
2009	s/d	20.0	3,780.0
2010	12.0	84.0	4,368.0
2011	11.8*	82.3	4,277.0
2012	11.0	77.0	4,004.0
2013	5.0	35.0	1,680.0
2014	10.0	70.0	3,640.0
2016	12.0	48.0	1,680.0
2017	8.0	48.0	1,680.0
2018	7.0	48.0	1,680.0

Fuente: INEGI, 2020; H. Ayuntamiento de Polotitlán, 2012, 2013; 2016a; 2019; DGPCEM, 2018; 2020. * datos calculados; s/d: sin datos.

3.3. Delimitación del área total impactada

Durante la operación del SDF "Rancho del Municipio" se han ocupado diferentes espacios al interior del predio para la disposición de RS.

El análisis visual realizado con Dron durante la visita del 11 de octubre de 2021 permitió identificar tres zonas. En la zona Z1 se vierten RME y RSU, se ubica al noroeste del predio, donde se pudo observar una gran cantidad de RME del sector automotriz, principalmente llantas, autopartes de plástico provenientes de la autopista México-Querétaro y RSU en menor cantidad. La empresa operadora de la autopista tenía un convenio con el municipio para recibir los desechos automotores con vigencia hasta 2021 (Ruiz, 2021). Con la llegada de la administración 2022-2024, se dejó de recibir estos RME, sin embargo, se continúan depositando de forma clandestina, aunque en menor cantidad (Retana, 2023). En cuanto a la zona de disposición de RSU (Z2) se lleva a cabo el vertido de residuos provenientes de la recolección municipal, donde la mayoría de ellos son susceptibles de ser valorizados: papel, cartón, tetrapak, plásticos, vidrio y textiles. La zona Z3 es un área ubicada en un predio colindante a la Z2, donde principalmente se depositan residuos cárnicos.

Con apoyo de Google Earth Pro se encontró evidencia fotográfica aérea que establece el uso del sitio como SNC; delimitadas en la Tabla 2, sin embargo, no hay certeza de su instalación.

La primera imagen satelital corresponde al 5 de marzo del 2008, visualizándose RSU dispersos que afectaban un área de 4,069 m2, distribuida en diversas superficies. Para el 7 de febrero del 2011, el área afectada ya era de 7,145 m2, lo que representó un incremento de 76% respecto de 2008.

Hacia el 13 de diciembre del 2012, el área de afectación incremento su tamaño en 160% respecto al registrado en 2008 y en un 46% respecto al año anterior.

Entre los años 2016 y 2020 la disposición se concentró en dos áreas principales. El área afectada promedió 8,000 m2, lo que permite suponer que las autoridades responsables del sitio realizaron un mejor manejo administrativo que en trienios anteriores (Google, s.f.). Para el 16 de enero del 2020, el área afectada se incrementó a 9,020 m2 lo que se atribuye a un menor control en la zona oeste de este SDF, según se aprecia en imágenes de Google Earth Proo (Google, s.f.).

En esta imagen satelital del 13 de noviembre de 2021 se observaron las zonas de disposición de RSU y RME. El área abarcada representa un incremento del 47% respecto al área determinada en 2020, lo cual puede deberse a una mayor actividad en la disposición de RSU.

Por su parte en la imagen del 18 de junio del 2023, se observa la falta de compactación y cubrimiento de residuos. Las áreas de disposición no presentan un incremento significativo respecto a las visualizaciones anteriores.

La superficie de disposición de RSU y RME en el SDF entre marzo del 2008 y junio del 2023 varió entre 4,069 y 40,190 m2 (Tabla 3). El área impactada comprende tres zonas de afectación (Figura 5), con una superficie total de 8.0 ha. El área AI1 tiene una superficie de 17,563 m2, el AI2

Tabla 1: Análisis multitemporal del SDF "Rancho del municipio" de Polotitlán, EdoMéx.

2008		2011	
2012		2016	
06/2019		12/2019	
16/01/2020		07/2020	
13/11/2021		18/06/2023	

de 10,541 m2 y el área AI3 donde se depositan RSU y se realiza el entierro de cárnicos tiene una superficie de 41, 092 m2, lo que habla de una zona con residuos ATI de 69,196 m2.

Tabla 2: Disposición de residuos sólidos urbanos en el SDF de Polotitlán.

Año	Número de áreas	Área impactada por RSU y RME (m2)
2008	4	4,069
2011	11	7,145
2012	9	10,470
2016	2	7,942
2019	2	7,962
2020	2	9,020
2021	2	22,668
2023	4	40,190



Figura 4: Área total impactada por disposición de residuos sólidos en el sitio "Rancho del Municipio".

El manejo deficiente en la disposición de residuos sólidos es un indicativo de consecuencias ambientales derivadas de la proliferación de fauna nociva, dispersión de residuos y su descomposición. Por ello es necesario proporcionar a los tomadores de decisiones herramientas que ayuden al mejoramiento del sitio. Mendoza et al. (2023) menciona que el uso de la observación de imágenes de Google Earth permite un mejor análisis para gestionar futuros rellenos sanitarios y proponer una mejor gestión. En el caso del sitio "Rancho del municipio" esta herramienta permitirá implementar medidas correctivas en las áreas impactadas, así como diseñar un plan de manejo adecuado para prevenir contaminación a otras áreas.

4. Conclusiones

El análisis cronológico de las áreas donde se han depositado residuos mediante imágenes satelitales en el SDF de Polotitlán, permitió observar la falta de gestión en el SDF y en el control de la disposición de residuos en todos estos años. Al comparar el área afectada calculada (8 ha) con la documentada (0.76 ha) se aprecia que se ha impactado en un área mayor a la superficie del sitio que es de 5 ha.

El análisis multitemporal presenta un desface en la sobreposición de algunas imágenes aéreas. El uso del Dron DJI Phantom 4 permitió respaldar la georreferencia del sitio. Utilizando herramientas de análisis de superficie se logró calcular el área total impactada por RSU y RME entre los años 2008 y 2023.

Durante el tiempo analizado se han realizado mejoras al sitio, aunque no en la medida necesaria, por lo que se sugiere la utilización de esta tecnología para su monitoreo y propuestas de control de disposición, enfocadas a la protección ambiental y cuerpos de agua, ya que es de suma importancia restringir la disposición de residuos peligrosos a la zona impactada.

Agradecimientos

Al Honorable Ayuntamiento de Polotitlán gestión 2019-2021 y 2022-2024, Estado de México por permitir la visita del sitio y brindar facilidades para la revisión de documentos.

Al CONAHCyT por la beca otorgada y al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca por las facilidades brindados para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas

[1] Ampofo, S., Issifu, J. S., Mba Kusibu, M., Sumaila, Mohammed, A., & Adiali, F. (2023). Selection of the final solid waste disposal site in the Bolgatanga municipality of Ghana using analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria evaluation (MCE). *Heliyon*, 9(8), e18558. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18558

[2] Ayuntamiento de Polotitlán. (2010). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Polotitlán. Polotitlán de la Ilustración, México. Recuperado el mayo de 2021 de http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/polotitlan/PMDUPOLO.pdf

[3] Ayuntamiento de Polotitlán. (2012). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Polotitlán. Polotitlán de la Ilustración, México. Recuperado el mayo de 2021 de http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/polotitlan/PMDUPOLO.pdf

[4] Ayuntamiento de Polotitlán. (2015). Datos Ipomex Solicitud de Información pública. Info ART92_17. (Ipomex Ed.) Polotitlán, México. Recuperado el 16 enero del 2022.

[5] Ayuntamiento de Polotitlán. (2016). Gaceta municipal Polotitlán de la ilustración. 16 de marzo de 2016. Estado de México. Recuperado en diciembre de 2020.

[6] Ayuntamiento de Polotitlán. (2016a). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2018. Recuperado el 28 de mayo de 2021 de https://polotitlan.edomex.gob.mx/sites/polotitlan.edomex.gob.mx/files/files/PMDUPOLO%203%20mayo.pdf

[7] Ayuntamiento de Polotitlán. (2017). Datos Ipomex Solicitud de Información pública. Info ART92_17. (Ipomex Ed.) Polotitlán, México. Recuperado el 16 enero del 2022.

[8] Ayuntamiento de Polotitlán. (2018). Datos Ipomex Solicitud de Información pública. Info ART92_17. (Ipomex Ed.) Polotitlán, México. Recuperado el 16 enero del 2022.

[9] Ayuntamiento de Polotitlán. (2019). Plan de Desarrollo Municipal 2019-2021. H. Ayuntamiento de Polotitlán. Obtenido de http://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo3/2019/42987/11/cdec6f3b239d9b677ff8a84d8c1dac0e.pdf

[10] Ayuntamiento de Polotitlán. (2022). Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024. H. Ayuntamiento de Polotitlán. Recuperado de https://polotitlan.edomex.gob.mx/sites/

polotitlan.edomex.gob.mx/files/files/pdm/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%202022-comprimido.pdf

[11] Bernache Pérez, G. (2012). El confinamiento de la basura urbana y la contaminación de las fuentes de agua en México. *Revista de El Colegio de San Luis*, II(4), 36-53.

[12] Cervantes, J. A., & Castellanos, C. E. (2022). Gestión de residuos sólidos urbanos en México: un caso de estudio desde la perspectiva organizacional. *RAE - Revista de Administração de Empresas*, 62(3), e2020-0759. https://doi.org/10.1590/S0034-759020220302

[13] Coordinación General de Protección Civil del Estado de México. (2020). Atlas de Riesgos municipal de Polotitlán 2019-2021. Recuperado el 11 de enero de 2020 de http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/EdoMex/Atlas_Polotitlan_Ene2020_034.pdf

[14] Comisión Nacional del Agua. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual del agua en el acuífero de Polotitlán (1503) Estado de México. Gerencia de aguas subterráneas. Recuperado el 9 de julio de 2022 de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103134/DR_1503.pdf

[15] Dirección General de Protección Civil del Estado de México. (2018). Atlas Municipal de Riesgos de Polotitlán. Recuperado el 28 de mayo de 2021 de https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo3/2019/43031/7/284984867849e7134521c4c1b7eadd1c.pdf

[16] Diario Oficial de la Federación. (2024). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (última reforma 22-03-2024). Ciudad de México. Recuperado el 26 de junio de 2024 de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf

[17] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Planosol FAO soil group. Recuperado en mayo de 2021 de https://www.britannica.com/science/Planosol

[18] Gobierno del Estado de México. (2012). Programa de Protección Civil Para Basureros 2012. Recuperado de https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo/2014/8/7/3fb8ec2acc5dcaaedf926ffe9bdc4fd6.pdf

[19] Gobierno del Estado de México. (2023). Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna. https://cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/Areas%20Naturales%20Protegidas/06._PRONTUARIO_JUNIO_2023.pdf

[20] Google. (2024). [Análisis espacial de áreas]. Recuperado de septiembre de 2020 a junio de 2024. https://earth.google.com/web/@20.2019254399,80470362338,59529207a1006.17314937d35y359.99899959h0t0r

[21] Google. (2023). [Distancia entre el edificio del ayuntamiento municipal de Polotitlán y el sitio de disposición municipal Google Maps]. Recuperado el 12 de noviembre de 2023. https://www.google.com.mx/maps/dir/

[22] Google. (s.f.). [Historial de imágenes satelitales de Polotitlán en Google Earth Pro]. Recuperado de septiembre de 2020 a junio de 2024. https://earth.google.com/web/@20.20192543-99.80470362338.59529207a1006.17314937d35y359.99899959h0t0r

[23] González-Polo, A. (2020). Estado de México. Polotitlán. Recuperado el 8 de noviembre de 2020 de https://estadodemexico.com.mx/polotitlan/

[24] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información. (2009). Portuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Polotitlán de Juárez, México.

[25] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Polotitlán. México.

[26] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado el 28 mayo de 2022 de https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Datos_abiertos

[27] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información. (2022). México en Cifras: Polotitlán Estado de México. Recuperado el 28 mayo de 2022 de https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=15#collapse-Resumen

[28] Mendoza Aquino, M., Mamani Vargas, B. R., & Castro Machaca, Y. (2023). Teledetección de vertederos a cielo abierto de residuos sólidos municipales en una provincia de Tacna. *Ingeniería Investiga*, 5, e825. https://doi.org/10.47796/ing.v5i0.825

[29] Munirah, H., Kenichi, Y., Zuhaida, M., Amnorzahira, A., & NorÁzizi, O. (2021). Heavy metals in leachate impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: An alarming threat. *Chemosphere*, 267(128874). https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128874

[30] Retana Trejo, B. G. (enero de 2023). Seguimiento de mejora del sitio de disposición "Rancho del Municipio" Polotitlán. [Entrevista]. Dirección de Ecología.

[31] Ruiz Sánchez, R. (enero de 2021). Cedula de Entrevista del sitio de disposición "Rancho del Municipio" Polotitlán. [Entrevista]. Dirección de Ecología.

[32] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Gobierno de México. Recuperado de https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD003866.pdf

[33] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s.f.). [Rasgos Ambientales]. Sistema de Información Geografía y estadística. Recuperado el 14 de noviembre del 2021 de https://mapas.semarnat.gob.mx/sigeia/#/sigeia

[34] Sotelo Ruiz, E. D., Cruz Bello, G., González Hernández, A., & Flores López, R. (2020). Actualización de la cartografía edafológica del Estado de México: una herramienta para la planeación. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1775-1788. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1975

[35] Susunaga Miranda, M. A., Ortiz Muñiz, B., Castañeda Chávez, M. D., Lango Reynoso, F., & Hernández Berriel, M. (2022). Sitios de disposición final de residuos sólidos abandonados en la Región de Sotavento del estado de Veracruz México utilizando herramientas SIG. *Enfoque UTE*, 13(4), 11-28. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.853

Los residuos de insecticidas y su incidencia en la producción de miel en la Subcuenca Río Tecolutla Veracruz

María Yolanda Leonor Ordaz Guillén[1], Bianca Citlalli López Domínguez[1], Miroslava González Juárez[2], Luis Alberto Quiroz Mena[2], Eréndira García Aguilar[3]

[1]Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. 30 de Junio de 1520 s/n La Laguna Ticomán Gustavo A. Madero 07340 Ciudad de México México.

[2]Instituto Politécnico Nacional-Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Av. Acueducto La Laguna Ticomán Gustavo A. Madero 07340 Ciudad de México México.

[3]Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Av. Luis Enrique Erro S/N Unidad Profesional Adolfo López Mateos Zacatenco Delegación Gustavo A. Madero C.P. 07738 Ciudad de México México.

*Correo electrónico: mordazg@ipn.mx

Resumen

Se realizó un estudio en la Subcuenca Río Tecolutla (SRT) para determinar los residuos de insecticidas más utilizados y la disposición final de los envases vacíos. A través de 211 encuestas en campo a los agricultores en 37 localidades de Papantla y 14 de Gutiérrez Zamora y Tecolutla, se proyectó que la zona de estudio genera 24, 310 envases vacíos al año, de los cuales 47 % son quemados a cielo abierto. El análisis tiene el propósito de identificar que sucede con los residuos de insecticidas y los efectos en la salud de la abeja melífera. En México, hay 183 ingredientes activos de plaguicidas altamente peligrosos autorizados, de los cuales 63 % pueden usarse como insecticidas. Entre los insecticidas utilizados en la zona de estudio se encuentran clorpirifós etil, cipermetrina, abamectina. En Papantla hay 14 apicultores registrados con aproximadamente 22 apiarios, en Gutiérrez Zamora se entrevistó a dos apicultores, y en Tecolutla, a cuatro apicultores, uno de ellos posee seis apiarios con un total de 700 cajones. La zona de estudio es predominantemente agrícola y cuenta con una amplia diversidad de flora, y la apicultura tiene una variedad de beneficios, entre ellos destaca la polinización que es el factor limitante de la calidad y cantidad de cosecha para los agricultores, beneficiando la economía local.

Palabras clave: *abejas*, *apiarios*, *contaminación*, *envases vacíos*, *plaguicidas*

1. Introducción

Los plaguicidas son compuestos químicos sintéticos que tienen el propósito de combatir malezas y plagas (Damalas, 2009). La historia del uso de plaguicidas se remonta a tres periodos. El primer

periodo, hace 4,500 años los sumerios utilizaban compuestos como el azufre para controlar insectos y ácaros, por otro lado, los chinos empleaban el mercurio y arsénico para combatir piojos. El segundo periodo de 1845-1945, se destaca por el uso de los químicos sintéticos orgánicos. El tercer periodo se considera a partir de 1946 con la introducción de plaguicidas sintéticos, y la síntesis del diclodifeniltricloroetano (DDT), β-hexaclorociclohexano (BHC), aldrín, dieldrín, clordano, paratión y 2,4-D (Tudi et al., 2020).

Para 1994 en México se intensificó el uso y producción de insecticidas y herbicidas, en ese año, se utilizaron 31.1 mil toneladas, de las cuales 20 mil toneladas corresponden a insecticidas. Para 2015, esta cifra aumentó a 55.8 mil toneladas de plaguicidas, de las cuales 28.9 mil toneladas fueron de insecticidas y 26.9 mil toneladas de herbicidas y defoliantes. En 2018, la producción de plaguicidas fue de 123.5 mil toneladas, de las cuales 41.9 mil toneladas correspondieron a insecticidas, 47.6 mil toneladas a funguicidas y 33.9 mil toneladas a herbicidas (CEDRSSA, 2020). Uno de los herbicidas más vendidos en México es el glifosato, debido a la introducción de cultivos transgénicos resistentes a este producto (Ruiz, 2013). Los principales estados con mayor uso de agroquímicos son Nayarit, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Veracruz (Díaz et al., 2021).

El incremento se debe al aumento de plagas y enfermedades en los cultivos, por lo tanto es importante resaltar su importancia para la producción agrícola. No obstante, el manejo inadecuado de estos productos por parte de los agricultores representa un grave riesgo para su salud y de las comunidades vecinas. Los envases vacíos de los plaguicidas por lo general son quemados a cielo abierto, o abandonados en el campo con la consecuente contaminación tanto al aire como a los suelos, mantos acuíferos y cuerpos de agua cercanos.

La apicultura es una actividad pecuaria de gran relevancia, no solo por la generación de divisas, sino también por el servicio de polinización que presta a diversos cultivos y plantas silvestres (INAES, 2018). Sin embargo, enfrenta varios desafíos, como la africanización de las abejas, la presencia de enfermedades y plagas, y el cambio climático (Magaña et al., 2016). Las abejas melíferas salen a recolectar polen, néctar y agua, por consecuente están expuestas a una gran diversidad de contaminantes incluidos los plaguicidas, metales pesados, isotopos radioactivos (Lugo et al., 2017). Según Calatyud et al. (2016) las abejas melíferas están expuestas a distintos plaguicidas, como los neonicotinoides.

En investigaciones previas, se ha recopilado información sobre los herbicidas más utilizados en la Subcuenca del Río Tecolutla (SRT), complementada ahora con datos sobre insecticidas y el manejo de residuos. Esto permite analizar la incidencia de estos productos en la producción de miel, considerando las afectaciones que tienen sobre las abejas.

2. Metodología

Esta investigación es de tipo explicativa. Para llevarla a cabo, se realizó un trabajo de gabinete que incluyó la construcción del marco teórico con información sobre la situación actual de los residuos de envases vacíos de plaguicidas, así como la situación de la apicultura en México y en la SRT, para

esta última se contó con el apoyo de la Asociación Ganadera de Papantla. Con esta información se logró identificar a los apicultores de la SRT. Posteriormente, se prosiguió con la elaboración de una encuesta de 23 preguntas. Esta encuesta proporcionó información básica sobre la producción apícola, incluyendo la ubicación y el tipo de tenencia de la tierra, así como actividades relacionadas, como la trashumancia y los cultivos polinizados. Además, se abordaron aspectos relacionados como el tipo de miel producida, su importancia económica y social; también se identificaron los diferentes tipos de plaguicidas utilizados (acaricidas, herbicidas, fungicidas, insecticidas), junto con sus respectivas dosificaciones.

Los criterios de sustentabilidad, con base en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, 2019). Además, se diseñaron algunos materiales didácticos respecto a las buenas prácticas agrícolas para ser distribuidos entre las comunidades de la zona de estudio y las autoridades municipales. Luego, se llevó a cabo el trabajo de campo donde se realizó un muestreo no probabilístico, tipo casual que consiste en tomar elementos en forma directa y aleatoria a los individuos de la población (Lina, 2012). Las encuestas en la zona de estudio que abarca la SRT, se aplicaron con el propósito de obtener su ubicación para complementar el SIG correspondiente. Así mismo, conocer todo el contexto de la producción pecuaria apícola de SRT.

La información recopilada en las encuestas fue analizada utilizando estadística básica y se continuó con el análisis de los ODS, específicamente 12 y 15, que corresponden a ciudades y comunidades sostenibles (OMS, 2019), así como a la vida de ecosistemas terrestres en las comunidades apícolas. Finalmente, se realizó la discusión de los resultados y se complementó con la elaboración del SIG de la zona de estudio con los temas analizados.

3. Resultados y discusión

Mediante la identificación de agricultores, fueron aplicadas 211 encuestas por medio de un muestreo no probabilístico, tipo casual (Lina, 2012) a los agricultores de Papantla (38 localidades) y Gutiérrez Zamora y Tecolutla (16 localidades) (ver Tabla 1 y Figura 1). Para el análisis de la información, se utilizó estadística básica para conocer los datos numéricos sobre los envases vacíos de plaguicidas. Se proyectó que en la SRT se generan anualmente 24, 319 envases vacíos, de los cuales 47 % son quemados a cielo abierto, 18 % son almacenados, 10 % son enterrados, 15 % abandonados en campo, 6 % se tiran a la basura y 4 % se llevan a un centro de acopio. Como resultado se determinaron los insecticidas más utilizados en la SRT.

La información arroja que los plaguicidas utilizados con más frecuencia en la SRT, en orden prioritario son Clorpirifós etil+permetrina, Cipermetrina, Clorpirifós etil, Dimetoato, Abamectina, Metamidofos, Carbofurán y Paraquat, entre otros (Figura 2).

En cuanto a las localidades en donde se encontraron comunidades apícolas, fueron encuestadas y se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 1: Municipios y localidades encuestados para la obtención de información sobre los insecticidas utilizados en la Subcuenca Río Tecolutla.

Tecolutla	**Gutiérrez Zamora**	**Papantla**		
El Negro	El Moro	Cerro Blanco	Solteros de Juan Rosas	San Lorenzo y Anexos
Pino Suarez	Carrillo Puerto	Llanos de San Lorenzo	Rafael Rosas	Serafín Olarte
La Victoria	El Cepillo	Valsequillo	Emiliano Zapata	La Colmena (La Loma)
Cruz de los Esteros	Coronado	Insurgentes Socialistas	Úrsulo Galván	Agua dulce
El Embarcadero	Ojite	Veinte de Noviembre	Remolino	Plan de Hidalgo
La Libertad	Lagartos	Cuyuxquihui	Rodolfo Curti	Cruceros de San Lorenzo
Paso de Hidalgo	Anclón	Paso del Correo	Guadalupe Victoria	El Tajín
Paso del Progreso	Macarena	La Isla	Pajasco Limonar	Gildardo
		La Reforma	Paso de Valencia	Vista Hermosa
		Ocotillar	El Edén	Luis Echeverría
		Ignacio Allende	San Gotardo	Morgadan Uno
		Paso del Correo	General Lázaro Cárdenas	Porvenir Uno
		Francisco I. Madero	Arroyo del Arco	
8 localidades	8 localidades	38 localidades		

Tabla 2: Localidades encuestadas con existencia de apiarios

Comunidad	**Municipio**	**Ubicación de apiarios**
Papantla Arroyo del Arco Vista Hermosa de Anaya	Papantla	Papantla, San Pablo y el Chote Francisco Villa y el Chote Vista Hermosa de Anaya
Hueytepec El Fuerte Casitas Casitas	Tecolutla	Hueytepec El Fuerte Casitas y Chapachapa Casitas
Santa Rosa Gutiérrez Zamora	Gutiérrez Zamora	Vega y Santa Rosa Gutiérrez Zamora y Hermenegildo Galena

Con esta información se complementa el SIG de una investigación sobre los plaguicidas más utilizados en la SRT. (Figura 3). Ahora se tiene localizado el espacio en donde se encuentran comunidades apícolas de áreas circunvecinas a la SRT.

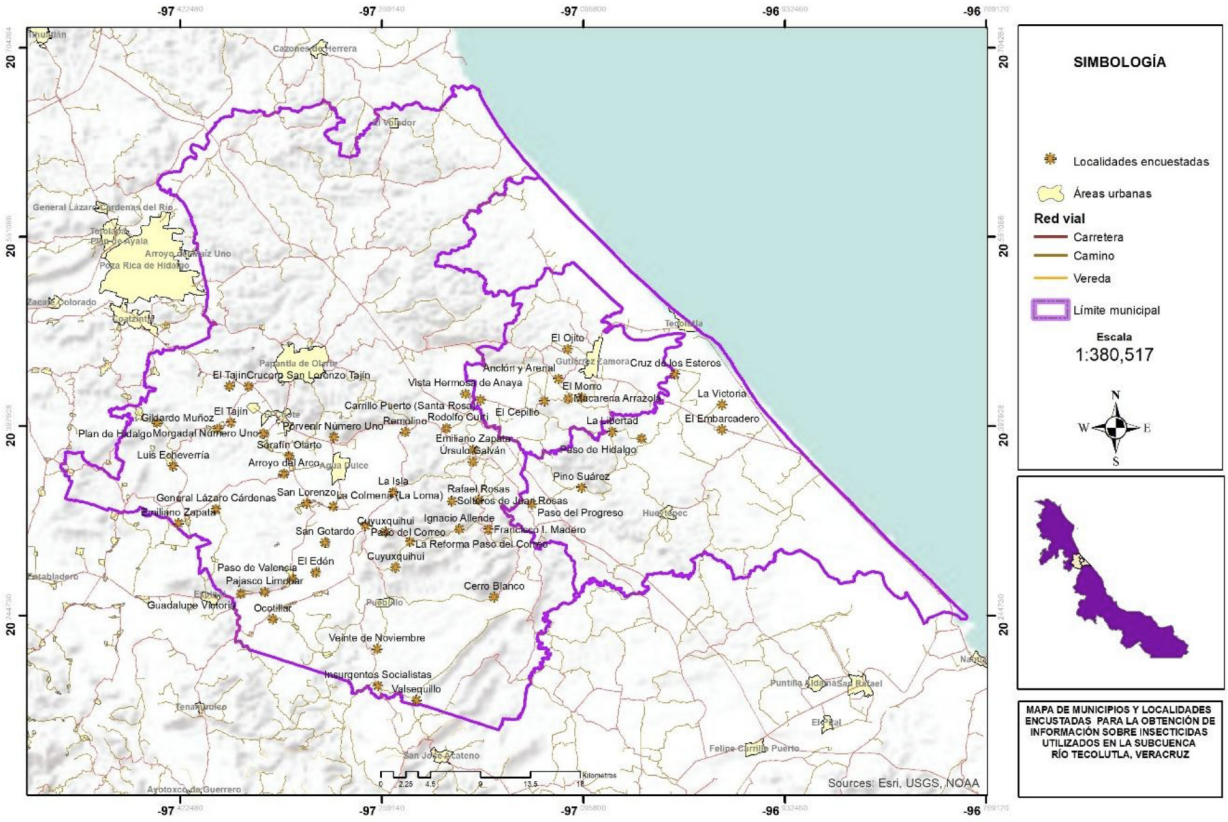


Figura 1: Municipios y localidades encuestados para la obtención de información sobre los insecticidas utilizados en la Subcuenca Río Tecolutla

De las encuestas se obtuvo el número de apiarios en cada zona. En el municipio de Papantla, el presidente ganadero mencionó que cuenta con 14 apicultores registrados, con una cantidad aproximada de 22 apiarios. Por otra parte, en el municipio de Gutiérrez Zamora se entrevistó a dos apicultores, uno de los cuales es externo (de otra entidad federativa) y cuenta con 22 apiarios. En Tecolutla se entrevistaron a cuatro apicultores, uno de ellos mencionó ser dueño de seis apiarios con un total de 700 cajones. En las Figuras 4 y 5 se puede observar el porcentaje de apiarios y cajones en la SRT.

Por lo tanto, Tecolutla es la zona con la mayor producción de miel. En esta zona el apicultor que cuenta con 700 cajones lidera una asociación de apicultores y la mayor cantidad de su producción la exporta.

En la zona de estudio, la agricultura representa una actividad fundamental para la región. Dentro de las temporadas de producción en cada zona (Tabla 3), se tienen dos temporadas en las que la producción es alta, donde la apicultura juega un papel importante, ya que el proceso de polinización favorece a los cultivos y su desarrollo, por lo tanto, los agricultores prestan parte de su superficie de terreno de cultivo.

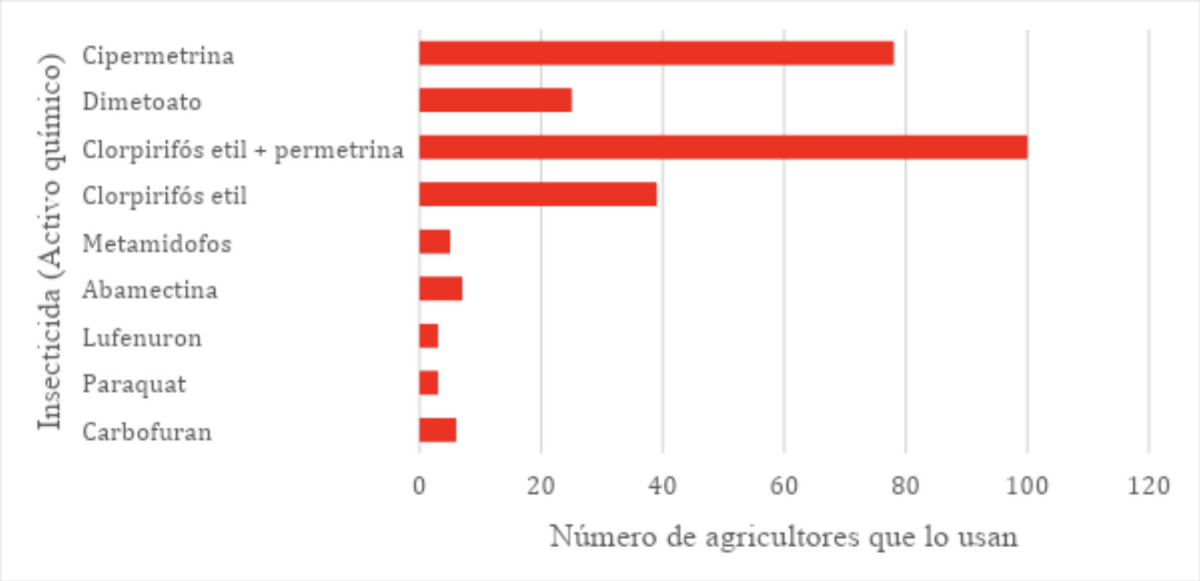


Figura 2: Uso de insecticidas en la Subcuenca Tecolutla

Tabla 3: Temporadas de producción

Temporadas	**Municipios**		
	Tecolutla	Gutiérrez Zamora	Papantla
Marzo/Abril	✓	✓	✓
Mayo/Junio	✓	✓	✓
Agosto	✓		
Noviembre/Diciembre	✓		✓

Lo anterior, explica por qué en los tres municipios la mayoría de la superficie usada para la apicultura es en condición de préstamo, esto debido a que es un proceso ganar-ganar entre agricultores y apicultores (Figura 6).

La SRT, es una zona agrícola y cuenta con una amplia diversidad de flora. La obtención de la miel se deriva de la floración en las temporadas de los diferentes cultivos, donde la apicultura tiene una variedad de beneficios (Tabla 4), entre ellas destaca la polinización que es el factor limitante de la calidad y cantidad de cosecha para los agricultores, ya que el tener un buen producto les favorece en su economía, por otro lado la salud y los recursos educativos son favorecidos, ya que hay algunas personas que se dedican a la enseñanza de la apicultura en la zona de Papantla, mientras que otras practican la apiterapia, la cual consiste en utilizar los aguijones de las abejas como tratamiento de ciertas enfermedades (artritis) y aspectos cosméticos.

En la zona se obtienen diferentes tipos de miel: miel de cítricos (53%), miel de una variedad de flores denominada multiflor (29%), miel de flor de mangle (18%) y la miel negra, que es de eucalipto y cedro.

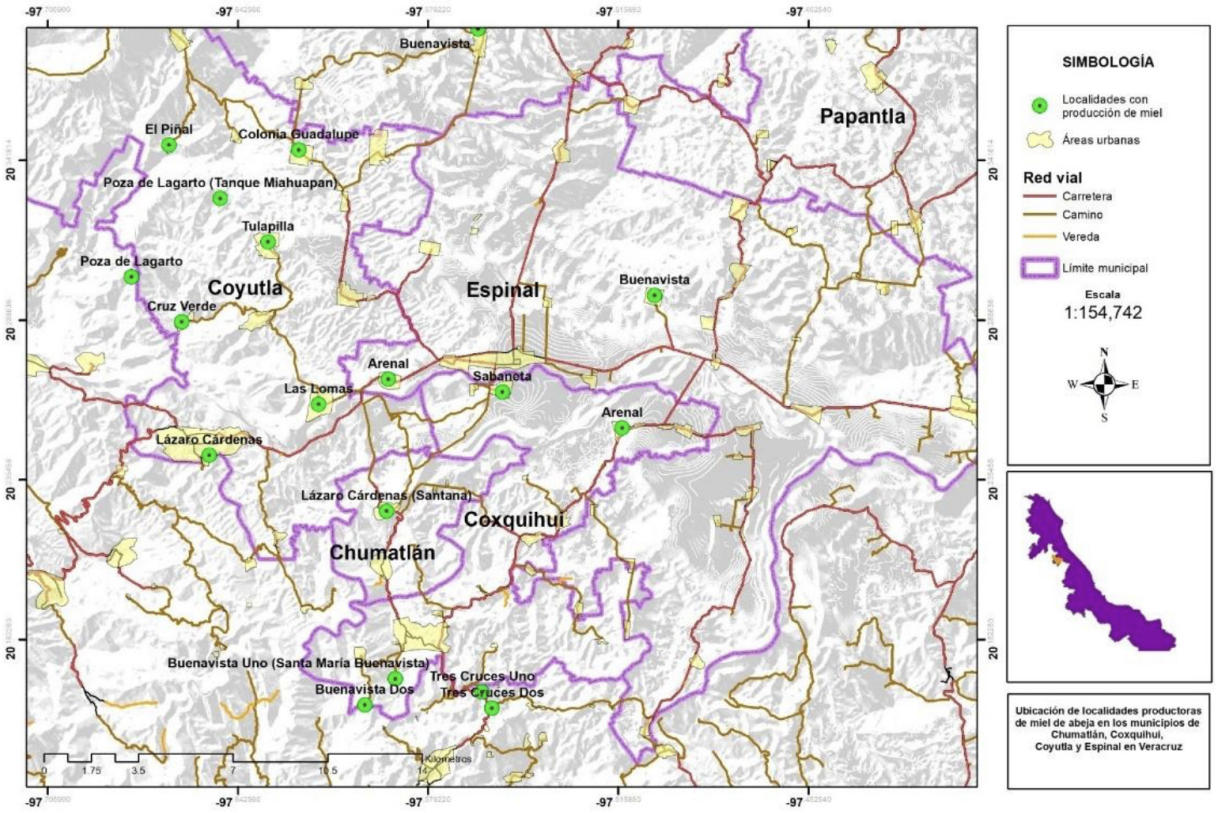


Figura 3: Mapa de comunidades apícolas

Tabla 4: Principales beneficios de la apicultura

Beneficios	Tecolutla	Gutiérrez Zamora	Papantla
Polinización	✓	✓	✓
Economía	✓	✓	✓
Salud			✓
Recursos educativos			✓

A medida que pasa el tiempo, los cambios en la miel son notables. Los apicultores señalan que son provocados por el cambio climático y por la vegetación, ya que cinco de cada nueve apicultores señalaron que la miel cambia de color cada temporada. También, la floración cambia conforme al año, por ejemplo, en la temporada pasada de cítricos, el brote de la flor se adelantó y ocasionó una baja producción de miel y el uso de plaguicidas en los cultivos genera cambios en la miel, donde los cambios se muestra en la Figura 7.

Los apicultores tienen la percepción de que los insecticidas puede tener efectos tóxicos directos e indirectos al momento de su aplicación y hay preocupación por los efectos indirectos que alteran el comportamiento de las abejas. Algunos de sus comentarios se resumen en el Tabla 5.

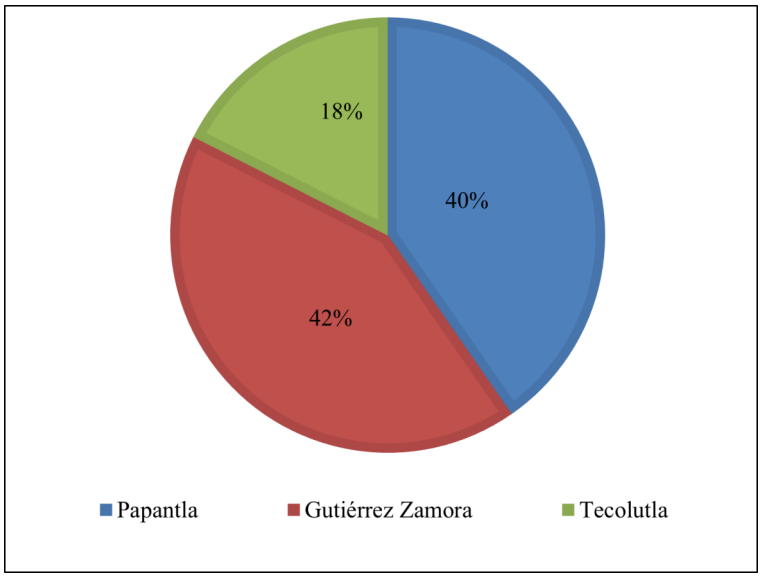


Figura 4: Apiarios en la Subcuenca Tecolutla

Tabla 5: Efectos indirectos en las abejas por el uso de insecticidas

Efectos	**Municipios**		
	Tecolutla	Gutiérrez Zamora	Papantla
Comportamiento	✓	✓	✓
Alimentación	✓	✓	✓
Desorientación	✓		✓
Fecundidad			✓
Muerte	✓		✓
Dificultad para volar	✓		
Temblor			✓
Agresividad		✓	✓

Los impactos en los invertebrados pueden reducir la disponibilidad de fuentes de alimento y afectar su productividad o supervivencia, ya que en la zona estudiada su principal fuente económica es la agricultura, el uso de insecticidas cada vez aumenta, provocando la muerte de las abejas de los apicultores, que para ellos representa un gran problema. En la zona se encontraron envases vacíos de insecticidas tirados en los cultivos (Figura 8), esto provoca que las partículas se adhieran al suelo y por el efecto del aire se diseminen en la zona, provocando la muerte de abejas.

Al realizar la encuesta a los apicultores y preguntar a diferentes pobladores, se identificó un problema principal: la zona cuenta con una baja cantidad de apicultores a pesar de ser una zona agrícola con alta producción citrícola, lo cual podría deberse entre otros factores, a la falta de información y conocimiento sobre los beneficios e importancia de la apicultura. La mayor cantidad de apiarios que se localizan en la zona son de personas externas a la SRT, las cuales, por convenio con los propietarios de los terrenos de cultivo, los colocan en la temporada de floración de cítrico.

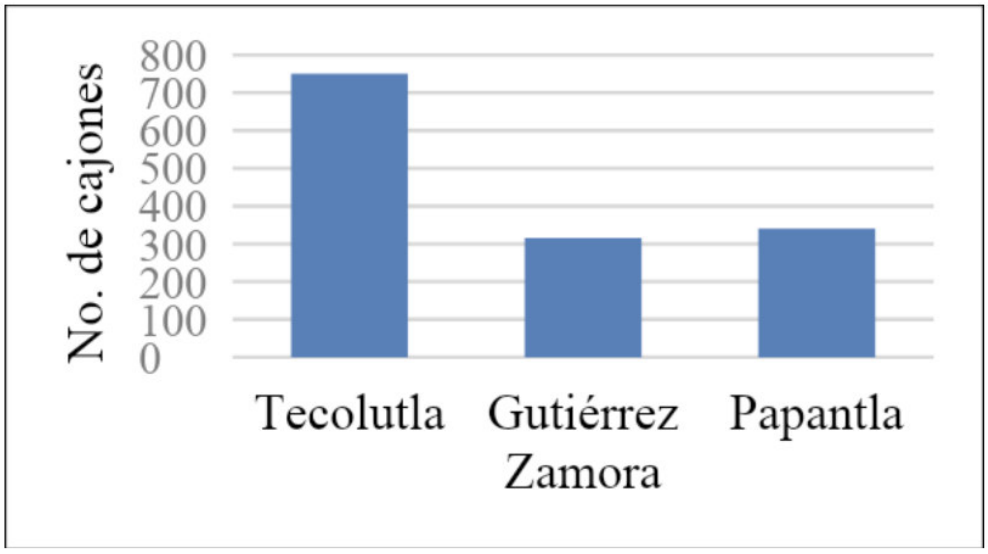


Figura 5: Número de cajones por zona

Al visitar los apiarios, los apicultores compartieron la problemática que se presenta, priorizan el uso de insecticidas en los diferentes cultivos, ya que cuando ellos visitan sus apiarios encuentran una gran cantidad de abejas muertas, esto debido a que la comunicación entre el agricultor y el apicultor no es la mejor para concretar fechas y horarios específicos en la aplicación de insecticidas, puesto que de esta forma se podrían mover los apiarios temporalmente. También, el cambio climático en la región provoca deshidratación por aumento de temperatura, e insolación en las abejas, lo cual provoca su muerte, estos factores son problemas que existen en la apicultura en México (Torres, 2017). Todo esto resulta de suma importancia si tomamos en cuenta que la actividad apícola representa un eje fundamental en la agricultura del país, por la creación de fuentes de trabajo a nivel rural, por la constitución de la tercera fuente generadora de divisas del sector agropecuario (Soto et al., 2017).

Esta situación trasciende nuestras fronteras, por ejemplo, Estados Unidos de América prohibió el uso de algunos activos químicos, cuando observó un aumento significativo en la mortalidad de abejas en su territorio (Ingram et al., 2015).

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, el activo químico del insecticida que tiene más presencia en la zona es clorpirifós etil y la permetrina. Los síntomas más recurrentes en las abejas que fueron observados por los apicultores entrevistados coinciden con los mencionados por Klein et al (2017); Martin y Arenas (2018) y por Rehman et al (2012). El mal manejo y disposición de los envases de insecticidas también son uno de los mayores problemas en la actualidad. Algunos agricultores dejan los envases vacíos en sus terrenos de cultivo o los llevan a sus hogares, en donde los usan o los almacenan de forma inadecuada. Esto puede causar efectos dañinos indirectos para la familia o animales que habiten en la misma, ya que son sustancias altamente

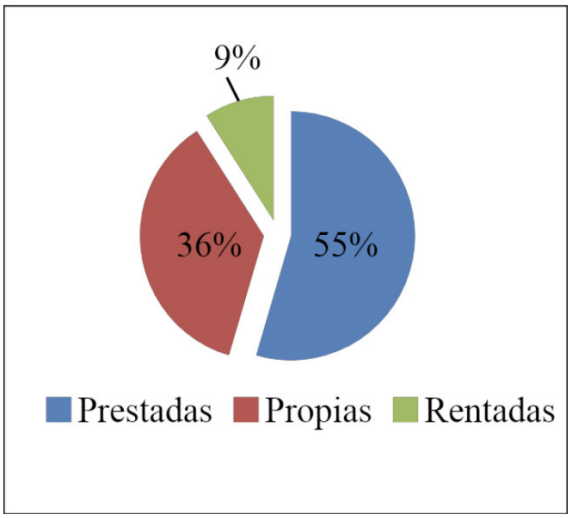


Figura 6: Superficie usada en la apicultura

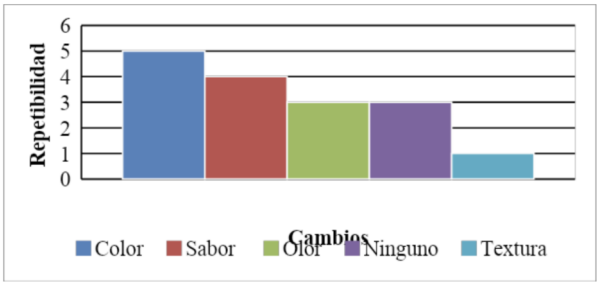


Figura 7: Cambios en la miel

tóxicas para cualquier ser vivo. Por ejemplo, uno de los apicultores entrevistados, quien también es agricultor, tenía envases con plaguicidas a un costado de cajones de abejas y de un extractor de miel.

Rangel (2017) reportó el uso del herbicida Paraquat en la zona de estudio, el cual es altamente tóxico y es una de las sustancias encontradas entre los envases mencionados. Por otra parte, Klein (2018) mencionó que este tipo de sustancias provocan desorientación, agresividad y muerte en abejas.

Con los resultados obtenidos y las investigaciones previas de Juárez y Quiroz (2018), se identificó que el uso de los insecticidas en la agricultura es uno de los principales factores que influyen en la muerte de las abejas (Torres, 2017). En la zona estudiada se encontró que el tipo de abejas con los que trabajan la mayoría de los apicultores es la abeja europea lo cual coincide con lo aportado por el INAES (2018).



Figura 8: Envases tirados en cultivo de cítricos, Casitas, Veracruz

La mayoría de los apicultores entrevistados tienen claro el papel tan importante que tienen las abejas en el ecosistema y en la producción de la alimentación tal como lo manejan (Martin y Arenas, 2018), además de que estos abonan que la biodiversidad mundial depende de ellas.

4. Conclusiones

El estudio reveló la necesidad urgente de implementar medidas regulatorias significativas, para reducir el uso de insecticidas altamente tóxicos, tanto a nivel general como específicamente en la SRT. Estas acciones son esenciales para evitar la degradación del hábitat natural y detener la pérdida de diversidad biológica, lo que incluye la protección de las abejas, que están en riesgo de extinción. El uso inadecuado de insecticidas, así como el incorrecto almacenamiento de sus envases, contribuyen a que esta problemática aumente y afecte a la producción apícola. La presencia de residuos de plaguicidas es un indicador de contaminación ambiental, por lo tanto, es motivo de preocupación para los productores (Juan et al., 2016).

Se recomienda el fomento del conocimiento de buenas prácticas en la apicultura para prevenir el uso de insecticidas altamente peligrosos, así mismo impulsar iniciativas que establezcan la regulación, vigilancia, el buen uso y en su caso prohibir algunos compuestos químicos. También, es fundamental que autoridades, agricultores y apicultores comprendan que el cambio climático y el uso irresponsable de insecticidas altamente tóxicos, son los principales factores que perjudican a la apicultura.

Agradecimientos

A la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento para el Proyecto 20196421.

Referencias bibliográficas

[1] Calatyud, P., Calatyud, F., Simó, E., & Morales, M. (2016). Influence of pesticide use in fruit orchards during blooming on honeybee mortality in 4 experimental apiaries. *Science of the Total Environment*, 541, 33-41. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.131

[2] CEDRSSA. (2020). Reporte del Impacto sobre el uso de plaguicidas en el Sector Agropecuario. Recuperado el 20 de julio de 2023, de http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/54IMPACTO%20DE%20LOS%20PLAGUICIDAS.pdf

[3] Damalas, C. (2009). Understanding benefits and risks of pesticide use. *Scientific Research and Essay*, 4(10), 945-949. https://www.researchgate.net/publication/224934809_Understanding_benefits_and_risks_of_pesticide_use

[4] Díaz, A., Barraza, A., & Yáñez, L. (2021). Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México. *Salud pública de México*, 63(4), 486-497.

[5] Instituto Nacional de Economía Social (INAES). (2018). Historia e importancia de la apicultura. Recuperado el 15 de noviembre de 2019, de https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/historia-e-importancia-de-la-apicultura?idiom=es

[6] Ingram, E., Augustin, J., Ellis, M., & Siegfried, B. (2015). Evaluating sub-lethal effects of orchard-applied pyrethroids using video-tracking software to quantify honey bee behaviors. *Chemosphere*, 135, 272-277. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.022

[7] Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). (2020). Los insecticidas. Recuperado el 27 de julio de 2019, de https://www.insp.mx/avisos/4736-insecticidas.html

[8] Juan, M., Domenech, E., & Escriche, I. (2016). Mixture-risk-assessment of pesticide residues in retail polyfloral honey. *Apidologie*, 67, 127-134. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.02.051

[9] Juárez, M., & Quiroz, L. (2018). Plan de manejo de envases de insecticidas provenientes de las actividades agrícolas en la Subcuenca del Río Tecolutla. [Tesis de Licenciatura, UPIBI-IPN].

[10] Lina, P. (2012). *Metodología de la investigación. Interdisciplinariedad del saber socioambiental*. Plaza y Valdés.

[11] Ruiz, S., Cabirol, A., Devaud, J., & Barron, A. (2017). Why bees are so vulnerable to environmental stressors. *Trends in Ecology and Evolution*, 32(4), 268-278. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.009

[12] Magaña, M., Tavera, M., Salazar, L., & Sanginés, J. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1103-1115. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000501103

[13] Martin, N., & Arenas, S. (2018). Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado*, 14(1), 232-240. http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v14n1/1900-3803-entra-14-01-232.pdf

[14] Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad. Recuperado el 13 de octubre de 2019, de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/

[15] Rangel, P. (2017). Determinación de herbicidas en las matrices ambientales: suelo y agua en Papantla, Veracruz. [Tesis de Maestría, CIIEMAD-IPN].

[16] Rehman, S., Rehman, S., & Waliullah, M. (2012). Chlorpyrifos-induced neuro-oxidative damage in bee. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 4, 30-36. https://link.springer.com/article/10.1007/s13530-012-0114-9

[17] Ruiz, J., Bravo, E., Ramírez, G., Báez, A., Álvarez, M., Ramos, J., & Byerly, K. (2013). Plagas de importancia económica en México: Aspectos de su Biología y Ecología. Libro Técnico Núm. 2, INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.

[18] Soto, L., Elizarrarás, R., & Soto, I. (2017). Situación apícola en México y perspectiva de la producción de miel en el Estado de Veracruz. *Revista de Estrategias del Desarrollo Empresarial*, 3(7), 46-64. http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial/vol3num7/Revista_de_Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial_V3_N7_5.pdf

[19] Torres, Y. (2017). El impacto de los plaguicidas en el sector apícola. Recuperado el 27 de julio de 2019, de https://ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/El-impacto-de-los-plaguicidas-en-el-sector-apicola/34

[20] Tudi, M., Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. (2020). Agriculture Development, Pesticide Application, and Its Impact on the Environment. *Environmental Research and Public Health*, 118, 1112.

Parte VI

Sociedad y gobierno

Panamá: Hacia una economía circular con un enfoque empresarial sostenible

Ana Laura Vallester Pinzón[1], Erick Napoleón Vallester Espino[2]

[1]Consultoría Estudios y Diseños S.A.; Panamá, Ciudad de Panamá; +507 68583651; avallester24@gmail.com

[2]Grupo de Investigación Nitrato, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Víctor Levy Saso.

[*]Correo electrónico: avallester24@gmail.com

Resumen

Cada año aumenta la población y por ende el consumo de los recursos naturales, lo que significa, por un lado, un aumento de los desechos y por el otro, la disminución de los recursos, los cuales recordemos son finitos, lo que significa que poco a poco vemos cómo perdemos cada vez más recursos y estos a su vez aumenten sus precios. Esto ha causado que las empresas vean la obligación de buscar nuevos modelos de negocio que involucran una economía circular, que disminuya los desechos y perpetúe los recursos. Solo en la provincia de Panamá se generan 2500 toneladas de residuos por día, sin mencionar que Panamá (país) arrojo 102 000 229 toneladas de plásticos al océano el año pasado, colocándonos, así como el segundo país más contaminante de Latinoamérica. Con solo una tasa del 5 % de reciclaje, Panamá ha dejado que la acumulación de los residuos en los vertederos sea un problema cada vez mayor. A pesar de existir leyes y programas para motivar al reciclaje, aún no contamos con un sistema integral para aprovechar eficientemente los materiales. Este trabajo investigativo busca resaltar los distintos modelos de negocio y políticas ambientales que se están implementando en Panamá para buscar minimizar el problema de la gestión de los desechos, y al mismo tiempo mejorar la economía del país. Negocios como Tecology S.A., Clandestinos Labs, o leyes cómo la ley regulatoria de plásticos son algunos de los ejemplos de los avances que se han dado en Panamá.

Palabras clave: *Economía circular*, *Panamá*, *empresa*, *modelo de negocio*, *industria*

1. Introducción

El manejo de los residuos es una de las mayores problemáticas en Panamá. A nivel nacional, la generación total estimada de residuos es de casi 4.372,72 ton/día. Dado que el 57,8 % de residuos se recogen, esto significa que unas 2.536,18 toneladas/día van a parar a vertedero y el resto de las toneladas terminan mal dispuesta en ríos, arroyos y mares, lo que nos da como resultado un aumento de la contaminación ambiental. (Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario, 2021).

En la búsqueda de descubrir la forma de conservar nuestro medioambiente, se debe cambiar el sistema de economía lineal; que busca crear, consumir y desechar sin tomar en cuenta el material

desechado; por otro sistema más eficiente. Lo que lleva a que hoy en día se vea la importancia de implementar un sistema que aproveche los residuos, y los reintegre nuevamente a la cadena de valor. Naciendo así la economía circular, que no es más que buscar aprovechar los residuos mediante la reutilización o recuperación de materia, lo que se conoce como de la cuna a la cuna (Braungart, 2002).

Solo en la provincia de Panamá se genera aproximadamente 2.500 toneladas de residuos por día, es decir, el 52% de los residuos totales del país. El 50% de las toneladas de residuos que se generan diariamente son plástico, papel, cartón, metal, vidrio, en fin, materiales que podrían ser aprovechados; pero lastimosamente Panamá tiene una tasa de reciclaje promedio del 5% de los residuos generados es decir que 95% de los residuos no se recicla. (Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario, 2021).

Como se ha mencionado ya, Panamá ha contribuido en empeorar el problema medioambiental y por lo que distintas entidades como el gobierno, las empresas privadas, centros educativos y personas particulares han iniciado algunas acciones para implementar la economía circular en la gestión de los residuos sólidos. Entre ellos podemos destacar la creación de programas de reciclaje, talleres y emprendimientos para enseñar e incentivar a las personas a reutilizar materia prima; además se han creado negocios que recuperan los materiales y se han ejecutado en las escuelas una cultura de reciclaje, sin mencionar la creación de distintas leyes que buscan igualmente incentivar el cambio de una cultura lineal por una circular en el país. Todos estos programas serán detallados dentro del trabajo.

1.1. Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo analizar cómo los diversos modelos de negocio y el marco legal ambiental en Panamá se complementan para abordar el desafío de la gestión de residuos. Se busca evaluar su impacto en la economía circular y proponer recomendaciones para optimizar su implementación y maximizar los beneficios ambientales y socioeconómicos.

1.2. Antecedentes

La Revolución Industrial transformó radicalmente la producción, pasando de lo artesanal a la fabricación en masa. Este cambio, aunque impulsó el crecimiento económico, instauró un modelo lineal de producción y consumo que ha generado graves problemas ambientales. El modelo lineal se basa en extraer recursos, producir bienes y desecharlos, lo que ha llevado al agotamiento de recursos naturales y a la contaminación. La obsolescencia programada, una estrategia para fomentar el consumo, agrava aún más este problema al acortar la vida útil de los productos, y no solo existe la obsolescencia programada, sino que también existe otra estrategia como es la obsolescencia percibida, la cual es la que te hace creer que el producto ya no es útil a pesar de no estar defectuoso, esto se puede ver como ocurre con las modas.

El siglo XX intensificó estas problemáticas debido al crecimiento demográfico y al consumo desenfrenado. La contaminación, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático son algunas de las consecuencias más evidentes. Sin embargo, en el siglo XXI ha surgido una creciente conciencia ambiental. La economía circular se presenta como una alternativa, proponiendo reducir, reutilizar y reciclar para minimizar los residuos y optimizar el uso de recursos.

El plástico, surge como alternativa al marfil para proteger a los elefantes, ilustra tanto los beneficios como los problemas de nuestra economía actual. Aunque útil en muchos aspectos, el plástico ha generado una grave crisis ambiental, con millones de toneladas contaminando océanos y afectando ecosistemas marinos.

Ante esta crisis, gobiernos y organizaciones han implementado medidas para proteger el medio ambiente y promover prácticas más sostenibles. La transición hacia una economía circular es esencial para garantizar un futuro más sostenible para nuestro planeta. (NatGeo, 2022)

2. Metodología

Cómo metodología de este trabajo investigativo se realizó una recopilación documental de la información necesaria, útil y relacionada con el tema a tratar, incluyendo las leyes y normas que regulan la gestión, instituciones y organizaciones encargadas del manejo de los desechos y programas de reciclaje. Además de la recopilación documental también se tuvo la oportunidad de visitar exposiciones y charlas que ayudaron a conocer información relevante que de igual manera será expuesta en este trabajo. Por último, se realizó entrevistas a profesionales panameños en el campo de la economía circular, lo que ayudara a conocer el punto de vista según el gobierno, empresa, ONG y docencia.

Primero nos centraremos en tratar temas cómo los antecedentes y las distintas formas en que se ha implementado la economía circular en distintos modelos de negocios. Se tratará igualmente temas cómo la gestión de residuos y leyes que lo regulan en Panamá.

Se presento la tasa de generación de los residuos sólidos en Panamá, las distintas alternativas que se están implementando para recuperar esos materiales y la perspectiva que tienen diversos actores de la sociedad panameña en cuanto a la adaptación del modelo económico de economía circular a la gestión de los residuos en Panamá. Esta perspectiva fue presentada mediante entrevistas a profesionales de 7 actores clave de la sociedad panameña (gubernamental, empresarial, investigación, educación, organización no gubernamental, energía y turismo) se tomó en cuenta su experiencia en el tema de la economía circular, conocimientos y capacidad de toma de decisiones. Sin embargo, no se logró concretar la opinión de los actores turismo y energía. Las entrevistas fueron llevadas a cabo de forma presencial y para los resultados se realizó una síntesis con respecto a cada entidad.

Por último, se establecerán los resultados, propuestas y conclusiones que se permitan considerar a la hora de avanzar con la implementación de la economía circular en Panamá para el manejo de los residuos sólidos.

2.1. Desarrollo

Relación empresa y medioambiente

El impacto del marketing en la sociedad y el medio ambiente es un tema relevante en la era actual. Las estrategias comerciales no solo afectan los hábitos de consumo, sino que también influyen en la percepción de los recursos naturales. A menudo, estas estrategias fomentan un consumismo excesivo que lleva al incremento en el uso de recursos y la generación de residuos. En muchos casos, el precio de un producto no refleja el verdadero costo de los recursos naturales utilizados, ya que se enfoca en maximizar beneficios y cubrir costos operativos, ignorando el valor intrínseco de los recursos y su escasez.

Para abordar esta problemática, es esencial reconocer y valorar los diferentes roles de los recursos naturales. Más allá de su valor como materias primas, estos recursos cumplen funciones indirectas vitales, como la regulación climática y la protección del suelo, y tienen un valor paisajístico y sociocultural significativo. La preservación de entornos naturales no solo mejora la calidad de vida urbana, sino que también es crucial para comunidades rurales e indígenas que dependen de estos recursos.

El modelo económico tradicional ha sido insuficiente al no considerar los costos ambientales en la producción y consumo, promoviendo un modelo lineal que contribuye al consumo desmedido y la generación de residuos. Sin embargo, está surgiendo un cambio hacia una economía circular, que busca reducir el desperdicio y optimizar el uso de recursos durante todo el ciclo de vida del producto. Este cambio está impulsado por una mayor conciencia ambiental entre las empresas, que ahora integran criterios de sostenibilidad en sus estrategias.

Para un futuro sostenible, es vital que empresas y consumidores entiendan la interconexión entre la salud del medio ambiente y la viabilidad económica a largo plazo, evaluando no solo los costos económicos inmediatos, sino también los ambientales y sociales a lo largo de toda la cadena de valor.

Economía circular

La economía circular es un nuevo modelo económico (de producción y consumo) que tiene como finalidad ser una alternativa imprescindible para la sostenibilidad. Este es un sistema destinado a reducir el impacto humano sobre los recursos naturales como resultado de los patrones de consumismo de hoy. La economía circular es parte del estudio de la retroalimentación de sistemas vivos, es decir sistemas no lineales. El término .^{ec}onomía circularçomo lo conocemos hoy en día fue empleado desde los años 80´s y se utilizaba para describir un sistema cerrado de interacciones entre la economía y el ambiente.

Esto significa separar la actividad económica del consumo de los recursos naturales que son finitos buscando poder diseñar de tal manera que se puedan eliminar los desechos del sistema. Los modelos circulares apoyados en la transición a fuentes renovables de energía generan capital económico, natural y social. Este modelo económico basado en la reducción del consumo de ma-

teriales y la producción de residuos cierra el çiclo.º el flujo de recursos económicos y ecológicos. Aunque parezca una solución al problema actual, lo cierto es que tiene sus orígenes a siglos atrás.

Tomado de Este sistema de economía circular distingue en sus procesos la existencia de dos ciclos, el biológico y el técnico (Ver Tabla 1: Ciclos de la economía circular) y se basa en tres principios básicos:

- Proteger y reforzar el capital natural, gestionando eficientemente los suministros finitos y lograr un equilibrio en el flujo de recursos renovables.
- Optimizar la eficiencia de los recursos mediante la circulación constante de productos, componentes y materiales que brinden los mayores beneficios en el ciclo técnico y biológico.
- Crear un plan que promueva la efectividad del sistema y elimine las negativas externas.

Tabla 1: Ciclos de la economía circular

Ciclo	Descripción
Biológico	El consumo se relaciona solo con alimentos y todo recurso orgánico como puede ser la madera, pieles, algodón y similares, ya que estos compuestos pueden ser diseñados para que puedan ser aprovechados nuevamente mediante compostaje y digestión anaerobia. Este tipo de ciclos permite que los sistemas vivos, así como el suelo puedan regenerarse ofreciendo así recursos capaces de renovarse y puedan mantenerse dentro del ciclo económico.
Técnico	Es donde se recuperan y son restaurados los materiales, productos y demás componentes mediante la implementación de la estrategia multi-R.

Fuente: Elaborado a base de (Ellen Macarthur Foundation, 2017).

Concepto Multi-R

El enfoque multi-R ha sufrido de distintas modificaciones a lo largo del tiempo, es un concepto en el que se le pueden agregar o quitar distintas R dependiendo del autor u organización que la emplee, pero las más comunes son:

- Repensar: pensar de forma creativa para lograr una variedad de formas nuevas que se le pueda dar al producto pero que igualmente pueda lograr satisfacer las necesidades los consumidores y cumplir el objetivo de la organización.
- Rediseñar: diseñar los productos de manera distinta a como se diseñaron originalmente. Esto envuelve a la implementación de principios de ecodiseños en toda la cadena, desde las instalaciones, procesos hasta el diseño del producto en sí.
- Reducir: siendo la primera R que debe tomar en cuenta los diseñadores al diseñar productos ecológicos, ya que la idea es reducir el uso de recursos o utilizar recursos que sean menos dañinos con el ambiente.

- Recuperar: relacionado con tener los mecanismos y recursos necesarios que puedan hacer posible que los residuos, la energía y demás recursos naturales se puedan almacenar en un lugar que permita reutilizarlos en momento posterior, evitando así los vertederos en el caso de residuos.

- Reutilizar (o reusar): prolongar la vida útil de un producto sin deformarlo incluye más allá del mantenimiento adecuado del producto y usarlo para los mismos propósitos, o para fines alternativos al original.

- Reparar: restaura su funcionalidad mediante el cambio o arreglo del componente que llevo a considerar al producto como un desecho.

- Redistribuir: siendo parte de la economía colaborativa, es decir, compartir el empleo de algo con otros, o donarlo o revenderlo para que lo utilicen demás personas si no es válido para nosotros.

- Reciclar: Alarga la vida de un material o producto al transformarlo por medio de un proceso de conversión física y así lograr que pueda ser utilizado como materia prima en un nuevo proceso de fabricación. Restaurar: busca compensar la repercusión ambiental que se haya causado mediante la implementación de medidas compensatorias. Como plantar árboles o utilizar energías renovables, en Panamá la energía es obtenida por medio de hidroeléctricas, un parque eólico y muchos comercios poseen paneles solares.

Acciones que han implementado las empresas para incrementado su valor y aprovechar los más que se pueda los recursos

De esta forma también podemos mencionar otras estrategias que se pueden implementar de economía circular dentro de las empresas tales como:

- Sistemas producto-servicio: ofrecer servicios complementarios a la venta de productos, como pueden ser los servicios de mantenimiento, devolución, garantías, alquiler, sistema de fidelización por medio de contrato y renovación. (Tucker, 2006)

- Segunda vida de materiales y productos: reutilizar materiales para crear nuevos productos. Economía colaborativa: compartir bienes y servicios entre usuarios.

- Ecodiseño y diseño para la sostenibilidad: Productos confeccionados con pocos recursos, recursos renovables y reciclables, componentes de larga duración, fácil mantenimiento, reparaciones, actualizaciones y reciclaje, y sin materiales peligrosos. (School, 2021). Hay empresas que inclusive han innovado y confeccionado cuero sintético a base de la piel de piñas (Eco Inventos, 2019) y de plásticos de maíz. (Daphnia, 2000)

- Fabricar para durar: producir productos de alta calidad y duraderos.

- Acondicionamiento, renovación, reparación y restauración de productos: alargar la vida útil de los productos existentes.

- Sistema de trueque: intercambio de productos sin necesidad de dinero. Repuesto y reparación: facilitar la reparación y el reemplazo de componentes de productos. Por

- ejemplo, los cartuchos de tinta tienden a ser reemplazados con mayor frecuencia que la impresora por lo que existen pequeñas empresas como Ecoink Express en Panamá que se dedican al rellenado de tinta de los cartuchos para impresora, así se pueden seguir utilizando los cartuchos y solo se pagaría por la tinta. (Ecoink Express, 2019)

- Descarbonización de las industrias: reducir las emisiones de carbono y utilizar energías limpias. (Iberdrola, 2022)

- Criterios ASG: considerar el impacto ambiental, social y de gobierno corporativo en las decisiones de inversión. (RSS: Responsabilidad Social y Sustentabilidad, s.f.)Marketing verde: promocionar productos y servicios ecológicos. No confundir con greenwashing. (Redacción APD, 2019)

Sistema de gestión de residuos en Panamá

Los principales elementos de la gestión de residuos son la cantidad y la calidad de estos. La calidad está determinada por la composición de los residuos generados por la sociedad, y mediante un estudio realizado por la AAUD (Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario de Panamá) en conjunto con INECO (Ingeniería y Economía del Transporte S.A) se obtuvo que los materiales que componen los desechos muchos pueden ser aprovechados (papel, plástico, cerámica, brick, aluminio, cartón, textiles, madera, neumático y vidrio) sin embargo, y lastimosamente solo son desechados, perdiéndose así la oportunidad de darles una nueva oportunidad. (Ingeniería y Economía del Transporte, 2017)

En tema de cantidad, podemos decir que, en Panamá a nivel nacional, la generación total estimada de residuos es de casi 4.372,72 ton/día, es decir que cada panameño genera 1,2 kg de residuos al día. De esta cantidad solo el 50 % son plástico, papel, cartón, metal y vidrio, materiales que podrían ser aprovechados. De los residuos totales, solo el 57,8 % son recogidos correctamente, mientras que el 42,2 % restantes terminan mal dispuestos en calles, parques o inclusive ríos, llegando así a los océanos. (Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario, 2021)

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), entre el 60 % y el 80 % de los desechos marinos son plásticos y solo Panamá cada año arroja alrededor de 102 millones toneladas de plásticos a los océanos. Después de Chile, Panamá es el 2° país de América que genera más residuos per cápita. (Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente, 2022). En Panamá existen al menos 62 rellenos sanitarios (383 hectáreas) que según INECO tienen el potencial para ser industrias de reciclaje. (Ingeniería y Economía del Transporte, 2017)

En cuanto a la recolección, la AAUD que es la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario, está encargada de la recolección de los desechos en el área capitalina. Cómo apoyo a los municipios, estas trabajan en conjunto con siete empresas (Garbage Collection, Greatview, Prontoaseo, Voltran, Serviaseo, Aseo Capital, Panamá Waste Management), ya que los municipios no cuentan con el equipo suficiente. El servicio de recolección se supone, se brinda con diferentes frecuencias y rutas a todas las comunidades, pero existen problemáticas tales como rutas ineficientes y desorganizadas que dificultan el servicio y puede llevar a una disposición inadecuada de los residuos.

Legislación ambiental en Panamá La legislación panameña es numerosa en decretos y leyes tendientes a mejorar las relaciones entre el hombre y la naturaleza, que vienen dándose desde los inicios de la era republicana. El derecho ambiental se encuentra en toda la normativa nacional, se puede encontrar en diversas disposiciones descritas en la constitución política de la república de Panamá; en los convenios y acuerdos internacionales; en los tratados; en los códigos penal, administrativo y sanitario; en las leyes orgánicas; en los decretos - leyes; en los resueltos de gabinete; en los reglamentos; en las resoluciones ejecutivas; en los resueltos de cada institución; en los acuerdos municipales; en los decretos de la alcaldía y en las regulaciones institucionales. En Panamá, se dispone de leyes que buscan mejor la gestión de los residuos, cómo las que se enlistan de manera cronológica, a continuación:

- La ley 276 del 30 de diciembre de 2021, que regula la gestión de residuos sólidos en la república de Panamá. Esta ley tiene por objeto regular la gestión integral de residuos en la república de Panamá, definiendo sus principios y estableciendo los derechos, las responsabilidades, las obligaciones y las atribuciones de las instituciones públicas y de la sociedad en su conjunto, con la finalidad de asegurar un manejo de residuos de forma racional y sostenible, así como para prevenir su generación y evitar o mitigar los impactos adversos sobre la salud humana y el ambiente. Dentro los objetivos de esta ley están en establecer un sistema de gestión a través del reciclaje, la reutilización, la reducción, el aprovechamiento y la reparación en todo el ciclo de vida de los bienes y servicios. (artículo 3) (Asamblea Nacional de Panamá, 2021)

- Ley 187 del 2 de diciembre de 2020, que regula la reducción y eliminación progresiva de los plásticos de un solo uso, para poco a poco reemplazarlos por materiales alternativos más ecoamigables ((Asamblea Nacional de Panamá, 2020)

- Ley 33 de 30 de mayo de 2018, publicada en la gaceta oficial número 28537-c de 31 de mayo de 2018, la cual dicta la "política de Basura Cero cómo parte de la gestión integral de residuos basados en los conceptos de economía circular", a fin de lograr el mayor aprovechamiento económico, ambiental y social de los residuos y de los recursos naturales, así como de generar nuevas fuentes de trabajo y reducir la contaminación y los impactos a la salud y al ambiente. Se cuenta con un marco legal, pero todavía queda reglamentar las políticas establecidas en la misma, y que se promueva la inversión mediante incentivos necesarios para impulsar la

economía circular y salvaguardar nuestros recursos no renovables. (Asamblea Nacional de Panamá, 2018)

- La ley 6 del 6 de febrero de 2017, donde establece la gestión integrada de residuos sólidos en las instituciones públicas. Esta ley establece pautas, obligaciones y responsabilidades para las instituciones públicas en el territorio nacional en materia de gestión integrada de residuos sólidos, cómo papel, cartón, latas de aluminio, brick, botellas plásticas desechables y cualquier otro residuo, con excepción de los desechos hospitalarios. (Asamblea Nacional de Panamá, 2017)

Negocios y alternativas sostenibles que han surgido en Panamá

Panamá ha implementado algunas alternativas para la recuperación de materiales y algunas se han convertido en fuente de ingreso para algunos negocios surgentes. Entre las que podemos destacar:

- Tecology Panamá: En Tecology, ellos se encargan de recibir computadoras usadas de usuarios finales o empresas que de otra manera las almacenarían indefinidamente o las desecharían. Estos equipos pasan por un proceso completo de restauración y optimización para asegurar su máximo rendimiento. Posteriormente, se reintroducen al mercado a precios accesibles para todos. Aquellos equipos que no pueden ser restaurados se envían a recicladoras para su desecho adecuado, minimizando el impacto ambiental. (Tecology, S.A., 2024)

- Clandestino Labs: Clandestino es el primer estudio de diseño y arte en Panamá que utiliza plástico descartado como materia prima para la creación de piezas de arte y mobiliario. Su misión es promover una economía responsable y circular, reduciendo desperdicios y optimizando la reutilización de recursos existentes. (Clandestino Labs, 2024)

- Ecoeles: Empresa dedicada a recoger aceite de cocina reciclado semanalmente en la Ciudad de Panamá. En cumplimiento con regulaciones locales, este aceite se destina exclusivamente a la producción de biodiésel y jabones industriales, evitando así su uso en la alimentación animal o humana. El reciclaje del aceite doméstico usado no solo previene la contaminación de ríos y suelos, sino que también contribuye a la creación de productos ecológicos beneficiosos. (Viverolandia, 2024)

- Renuevo Panamá: Empresa especializada en la gestión de residuos electrónicos (RAEE). Cuentan con más de 7 años de experiencia, apoyando a empresas Nacionales e Internacionales. Se realiza un proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos para prevenir el desuso de materiales potencialmente útiles. Proporcionan soluciones integrales como el reciclaje de residuos electrónicos, destrucción segura de datos y desmantelamiento de activos. (Renuevo Panamá, 2024)

Entrevista a representantes del actor clave gubernamental, investigación, empresarial, docencia y organización no gubernamental sobre la economía circular en Panamá

Para enriquecer este trabajo, se procedió a realizar entrevistas a profesionales panameños relacionados con el tema de economía circular (ver tabla 2). A cada uno se le realizó las mismas preguntas para poder comparar las distintas visiones que poseía cada uno de los profesionales. Preguntas empleadas:

1. ¿Cómo se implementa la economía circular y cómo va el avance en Panamá?

2. ¿En cuáles pilares se debe basar una economía circular y cuál de esos usted se siente más compenetrado?

3. ¿Cómo se manejan los incentivos para las empresas que participen dentro de la economía circular?

4. ¿Cómo se ve la implementación de la economía circular a corto, medio y largo plazo?

Tabla 2: Profesionales panameños entrevistados

Profesional	Entidad que representa	Profesión
Dr. Miguel Flores	Gobierno	Director nacional de verificación del desempeño ambiental del Ministerio de Ambiente.
Dr. Euclides Deago	Investigador y docente	Doctor en ingeniería, investigador de la Universidad Tecnológica de Panamá.
Ing. Diomedes Vásquez	Empresa privada	Ingeniero industrial jefe de producción d empresas Kiener (empresa de fabricación de embutidos de Panamá), hola representante del Sindicato de Industriales de Panamá en el Ministerio de Ambiente.
Ing. Graciela Martíz	Docente e ingeniero agrónomo	Profesora de maestría en Producción Más Limpia en la Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología y de la Universidad Tecnológica de Panamá.
Mgter. María Núñez	Organización no gubernamental	Coordinadora de proyecto en Fundación Natura.

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados y discusión

Los especialistas consultados ofrecieron sus perspectivas sobre la economía circular y su articulación con el marco legal panameño, subrayando su potencial para optimizar la gestión de los residuos sólidos. A continuación, presentamos un extracto por sector entrevistado:

- Gobierno: consideran que lo primero que se debe considerar es la capacitación y concientización de las personas y empresas, continuar con las investigaciones, implementación de leyes e incentivos que promuevan la economía circular, cómo lo estipula la ley 223 del 8 de junio del 2021 que establece beneficios y exoneraciones fiscales en tema de materia ambiental. Otros países de la región están avanzando en la implementación de este tipo de sistema, por lo que Panamá no puede quedarse atrás, lo que representaría pérdida de competitividad, lo que lo haría menos atractivo para la inversión. Se espera que a largo plazo Panamá tenga laboratorios e industrias que puedan investigar y desarrollar nuevos productos más sostenibles.
- Investigación: Panamá avanza hacia la economía circular, con mejoras en normativa y regulaciones para el aprovechamiento de residuos. El sector privado y el gobierno están comprometidos con este cambio, que se basa en pilares como el ambiental, la educación, la legislación, la investigación e innovación, y un mercado justo. La investigación y la innovación, especialmente en bio-factorías para biogás y compost, son clave. Los incentivos incluyen reducción de impuestos y regulaciones para energía de digestión anaeróbica. A corto plazo, se necesitan campañas educativas y marcos legales claros. A medio plazo, es crucial invertir en ciencia y graduar profesionales especializados. A largo plazo, la integración sistemática es esencial para impactos positivos.
- Empresa privada: si es cierto que existen los incentivos para las empresas, pero que igualmente hacer este cambio entre sistemas representa un coste para ellas, lo que puede verse reflejado en los precios de los productos. Muchas empresas panameñas ya han ido aplicando el modelo de economía circular, pero son las multinacionales las que llevan la delantera, debido a que obedecen a directrices de sus casas matrices.
- Educación: universidades, la visión de ellos es más encaminada a la parte educativa, consideraban que Panamá va poco a poco ajustándose al concepto de economía circular. Que se encuentra avanzado en materia de normativa ambiental y de regulaciones que buscan incentivar el aprovechamiento de residuos. Existe interés por parte de la empresa privada y del gobierno en establecer esta cultura. Las entidades consideraban que era necesario hacer una modificación en los planes de estudios para incluir este concepto de economía circular, el cual las personas conocen e implementan, pero no de forma sistemática; la creación de marcos legales claros en todos los ámbitos: ambiental, fiscal, etc. Que haya mayor inversión en ciencia, tecnología e innovación para la generación de conocimientos en temas de economía

circular; graduar profesionales especializados en economía circular que se incorporan en el mercado laboral tanto público como privado.

- Organización no gubernamental: Por último, es necesario mencionar las instituciones no gubernamentales y fundaciones, quienes consideraban que Panamá se encuentra en la etapa de implementación de acciones que van en la ruta a generar este tipo de sistemas. Se han aplicado acciones a nivel local cómo, por ejemplo: el cálculo de la huella de carbono, la aplicación de sistemas de reciclaje, el uso de energía renovable, además de los compromisos adquiridos de convenios internacionales que pueden permitir más adelante la aplicación de la economía circular en Panamá.

4. Conclusiones

La economía circular plantea un cambio de sistema económico, social e industrial. Lo que genera grandes oportunidades en la valoración de los residuos cómo recursos secundarios para ser reintroducidos en la cadena de valor. Después de analizar la información recopilada más los resultados de las entrevistas a los expertos, hemos desarrollado las siguientes propuestas:

- Proponemos que es clave la unión entre el gobierno, la participación ciudadana y la empresa privada para lograr cambiar de una economía de consumo por una de eficiencia y ahorro. Hace falta más integración, apoyo, recursos, incentivos, no solo económicos y conocimiento entre la ciudadanía para poder lograr la utopía de la economía circular.

- Ya existen las leyes, pero ya queda en manos de las autoridades competentes hacerlas cumplir con sus respectivas sanciones o incentivar a los que si las cumplen.

- Consideramos que deben ser mejorados los sistemas de recolección de los materiales, es posible utilizar de ejemplo sistemas de otros países que hayan resultado, o por ejemplo proponemos que las comunidades posean contenedores ya separados en donde solo es cuestión de depositar adecuadamente los materiales y posteriormente cada camión recogería de forma separada esos materiales para trasladarlo a los centros de reciclaje. Evitando que cada casa tenga su bote, al tener botes comunitarios les seria más fácil a los camiones recolectar dichos materiales por separado y al ser más grandes evitamos la acumulación de materiales en las casas de las personas.

- Por otro lado, proponemos que las recicladoras debiesen ser un trabajo en conjunto del gobierno y la empresa privada y no solo privada, y que dichos materiales puedan ser utilizados para la creación de objetos de utilidad para la población (como hemos visto anteriormente que desarrollan Trashforma, EcoGreen Recyling, Clandestino Lab, entre otros) o que puedan ser vendidos esos materiales a otros países y crear así una fuente de ingreso al país.

- Por último, proponemos que en las escuelas impartir clases en manejo de desechos y economía circular pero no solo como pequeños talleres sino como algo más elaborado y parte del plan de estudio, ya sea como una materia nueva o parte de la clase de biología, como se aprecia en las entrevistas, la ingeniera Graciela es docente en la universidad e imparte dicha clase (Maestría en Producción más Limpia) pero pensamos que estos conocimientos deberían ser impartidos desde temprana edad.

Referencias bibliográficas

[1] Asamblea Nacional de Panamá. (2017). Ley 6 del 6 de febrero del 2017. Panamá.

[2] Asamblea Nacional de Panamá. (2018). Ley 33 del 30 de mayo del 2018. Panamá.

[3] Asamblea Nacional de Panamá. (2020). Ley 187 del 2 de diciembre de 2020. Panamá.

[4] Asamblea Nacional de Panamá. (2021). Ley 276 del 30 de diciembre de 2021. Que regula la gestión de los residuos sólidos en la república de Panamá. Panamá: Gaceta Oficial 29445 E.

[5] Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario. (2021). Diagnóstico de los Vertederos a Nivel Nacional. Recuperado el 28 de agosto de 2022 de https://www.aaud.gob.pa:https://www.aaud.gob.pa/index.asp?sec=Proyectos/Diagnostico&id=diagnostico

[6] Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.

[7] Clandestino Labs. (30 de Junio de 2024). Sobre Nosotros. Obtenido de https://clandestinolabs.company.site/:https://clandestinolabs.company.site/

[8] Daphnia. (21 de mayo de 2000). Bioplásticos: materiales compuestos a base de maíz. Recuperado el 26 de agosto de 2022 de https://www.daphnia.es/revista/21/articulo/307/Bioplasticos-materiales-compuestos-a-base-de-maiz

[9] Eco Inventos. (18 de diciembre de 2019). Piñatex. Cuero vegetal hecho de fibra de piña. Recuperado el 26 de agosto de 2022 de https://ecoinventos.com/pinatex-cuero-vegetal-hecho-de-fibra-de-pina/

[10] Ecoink Express. (2019). Nosotros. Recuperado el 5 de agosto de 2022 de https://www.ecoinkexpress.com.pa/nosotros

[11] Ellen Macarthur Foundation. (2017). Economía Circular. Recuperado de https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto

[12] Iberdrola. (2022). Principios y acciones regulatorias de la descarbonización energética que contribuyen a un marco sostenible y eficiente para combatir el cambio climático. Recuperado el 23 de agosto de 2022 de https://www.iberdrola.com/conocenos/energetica-del-futuro/descarbonizacion-economia-principios-acciones-regulacion

[13] Ingeniería y Economía del Transporte. (2017). Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027. Panamá.

[14] NatGeo. (2022). ¿Planeta o plástico? Panamá.

[15] Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente. (7 de Junio de 2022). Ocho países de América Latina combatirán juntos la basura marina y la contaminación por plásticos. Recuperado el 28 de agosto de 2022 de https://news.un.org/es/story/2022/06/1509892

[16] Redacción APD. (11 de octubre de 2019). ¿Qué es el marketing verde y cómo beneficia a tu empresa? Recuperado el 23 de agosto de 2022 de https://www.apd.es/marketing-verde-ventajas-desventajas/

[17] Renuevo Panamá. (30 de junio de 2024). Nosotros. Obtenido de https://renuevopanama.wixsite.com/misitio/copia-de-acerca-de

[18] RSS: Responsabilidad Social y Sustentabilidad. (s.f.). Criterios ASG y ESG: qué son, significado, indicadores y principios. Recuperado el 23 de agosto de 2022 de https://responsabilidadsocial.net/criterios-asg-y-esg-que-son-significado-indicadores-y-principios/

[19] School E. B. (30 de noviembre de 2021). El blog de retos para ser directivo. Obtenido de https://retos-directivos.eae.es/economia-lineal-caracteristicas-riesgos-y-alternativa/

[20] Tecology S.A. (30 de Junio de 2024). Quiénes somos. Obtenido de https://www.tecology.com.pa/qui%C3%A9nes-somos

[21] Tucker, A. (2006). New business for old Europe. Product service competive and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 14.

[22] Viverolandia. (30 de junio de 2024). ECOeles. Obtenido de https://viverolandia.com/ecoeles/

Prácticas de la basura en Guaymas y San Carlos Sonora México. ¿Cuestión de habitus?

Diana Blanca Cirett Galan

Calle Azucena Nº 1587, Col. Lázaro Cárdenas, Colima, Col. C. P. 28705. Tel. 3121194807.

*Correo electrónico: dbcirett@gmail.com

Resumen

Esta investigación cualitativa se realizó de 2020 a 2021 en Guaymas y San Carlos, su objetivo era comprender cómo influían las clases sociales, el género, la pertenencia y la gestión pública en los significados dados por hombres y mujeres a la basura y, por ende, en sus prácticas. Se realizó etnografía, con instrumentos como observación, conversación casual y entrevista semiestructurada a diez informantes y a cuatro sujetos clave. En 2006, se concesionó a la empresa Promotora Ambiental, S. A. de C. V. el servicio de recolección, traslado y enterramiento de Residuos Sólidos Urbanos, por un lapso de 15 años. La privatización buscaba reducir costos, optimizar los servicios, pero aquí no logró su propósito, más bien provocó en los habitantes la interiorización de un habitus de suciedad ante una larga exposición a los residuos tirados, por la recolección irregular propiciada debido a la falta de pago. El Ayuntamiento, además de no vigilar rigurosamente la calidad del servicio prestado fue negligente al no educar a la población que estaría expuesta a un contexto de suciedad y terminó familiarizándose con escenarios similares. Según los hallazgos y los testimonios, las prácticas de la basura en ambas ciudades denotaron la existencia de un habitus diferente en cada una. La socialización temprana con cierto tipo de prácticas relacionadas con los desechos en los espacios privados y públicos genera disposiciones durables, que estructuran esquemas de percepción y pensamiento, que tienden a la reproducción de prácticas culturales parecidas a las que se aprendieron en un entorno específico.

Palabras clave: *Habitus*, *Prácticas*, *Residuos Sólidos Urbanos*, *Socialización*, *Suciedad*

1. Introducción

Una de las prioridades de los ayuntamientos en México es la gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), pero en la actualidad, sus patrones de desarrollo ambiental no son del todo sustentables. Su volumen sigue incrementándose por falta de capacidad económica de los ayuntamientos para su manejo, al no tener las estructuras suficientes para su recolección, ni para controlar la contaminación, tampoco para instalar sitios adecuados de disposición final; asimismo, por no incentivar la participación social dentro de estos procesos en la gestión (Bernache, 2015).

Los estudios sobre Residuos Sólidos Urbanos (RSU) tradicionalmente han tenido una visión ingenieril enfocada en los aspectos técnicos, aún cuando las personas son quienes generan la basura.

Esto implica que, en la primera etapa de la gestión, como se enfatiza en la literatura, se da poca atención a la dimensión social, por lo cual no hay mucha investigación sobre la percepción que se tiene de los desechos domiciliarios (Salgado-López, 2012). Para lograr la gestión integral y que se disminuya su generación, se requiere consolidar la separación de estos en el origen propiciando, desde "la recolección selectiva" la separación, la limpieza de materiales, la reutilización y el reciclaje minimizando así el impacto ambiental (Cuevas, 2021, p. 33). De acuerdo a la deontología, la responsabilidad ética es asociada a las obligaciones o deberes que tenemos como seres humanos y a partir de ahí se manifiesta nuestra pertenencia a una comunidad, no sólo al mundo que compartimos con esa colectividad donde desarrollamos lazos, obligaciones y compromisos (Polo, 2019). La falta de conocimiento e información sobre cuál es la responsabilidad de las personas hacia los desechos domésticos, y lo qué le corresponde hacer a una empresa concesionada es congruente con la actitud que tienen hacia esos residuos debilitando así su participación y provocando que se responsabilice a otros sobre el manejo de la basura (Brito y Pasquali, 2006 pp. 340-343). Para crear patrones favorables de comportamiento en beneficio del medioambiente es necesario planificar estratégicamente y considerar los factores que influirían en tal intención (Miner, E., et al, 2023, p. 26). El concepto habitus de Bourdieu es descrito por Safa (2020), como "un sistema de disposiciones duraderas" reproducibles, que orientan las prácticas y la percepción de las personas, como "esquemas de clasificación", aun cuando no haya consciencia de su interiorización.

Este estudio, que atañe múltiples dimensiones se llevó a cabo en Guaymas y en San Carlos (o SC en lo subsecuente) a raíz de una crisis de la basura (en adelante DLB) en la región y por la necesidad de entender cómo la significan las personas y porqué la tiran indiscriminadamente en sitios impropios. ¿Cómo se estructuran sus prácticas? ¿Qué factores las detonan? El término adecuado para referirse a los desechos de origen doméstico es Residuos Sólidos Urbanos, pero si estos no entran al sistema metabólico [de la gestión integral] se convierten en desechos, o basura (Rodríguez-Guerra y Baca-Cajas 2021, p. 51). En 2015, la producción de RSU en Guaymas fue de 42,844 toneladas SEMARNAT (2015). En 2006, de acuerdo a las políticas de descentralización de la época, el ayuntamiento de Guaymas otorgó la concesión del servicio de recolección, traslado y depósito de RSU a la empresa Promotora Ambiental, S. A. de C. V. (PASA). Al ser demasiado elevado el monto mensual establecido en el contrato, desde los primeros años se arrastró una deuda, que fue incrementándose y provocó que el servicio fuera suspendido frecuentemente durante cada administración pública ocasionando inconvenientes a los usuarios.

En 2018, cuando el adeudo creció y por falta de negociaciones, la crisis DLB empeoró en ambas ciudades, al reducir la concesionaria su flotilla de camiones recolectores, de ocho unidades a tres y dejar de prestar un servicio regular de recolección de RSU en todas sus rutas. Esta situación propició el esparcimiento de la basura en los espacios públicos y privados afectando el medio ambiente en general (plazas, vialidades, caminos, playas y montes) haciendo que los escenarios de amontonamiento y desorden se normalizaran favoreciendo así la interiorización de un habitus de suciedad propenso a la reproducción del mismo tipo de prácticas que lo generó. Los reiterados testimonios de los informantes y comentarios de las personas con quienes se tuvo conversación

casual, además de la observación de prácticas DLB en el contexto de estudio permitieron inferir que existían esquemas de percepción y pensamiento orientados a generar disposiciones durables, a fuerza de la constante socialización en contextos sociales similares.

Este documento se enfoca en el objetivo de identificar la responsabilidad personal y comunitaria que creen que tienen hombres y mujeres de Guaymas y de SC hacia los RSU en espacios privados y públicos, así como la responsabilidad que imputan al municipio y a PASA. El texto está divido en cuatro secciones: 1) introducción, 2) metodología, 3) resultados y discusión y 4) conclusiones.

2. Metodología

Se utilizó la sociología de Bourdieu, porque cuenta con elementos teóricos, como el habitus y las prácticas, que permiten entender cómo las personas se relacionan con la realidad respecto a la basura. Se hizo etnografía en el contexto de estudio durante cinco meses y medio, en tres fases (septiembre 2020/noviembre 2021). Guaymas y San Carlos se ubican en el suroeste de Sonora, en el golfo de California, entre ambas localidades la población es de 156,862 (49.7 % hombres/50.3 % mujeres), con una edad mediana de 31 años de edad; su extensión territorial es de 7,945.6 km2 y su densidad de población es de 19.7 hab./km2. (INEGI, 2020, p. 74). Al ser una investigación cualitativa, para obtener información amplia sobre las categorías seleccionadas se emplearon como instrumentos la conversación casual, la entrevista semiestructurada y la observación partiendo de indicadores referentes por objetivo establecidos bajo el método deductivo. Los hallazgos enfatizaron categorías relacionadas con la responsabilidad: personal, comunitaria, pública y empresarial aunadas a las de los significados dados a la basura por hombres y mujeres, y las prácticas culturales hacia ésta, entre otras. Se entrevistaron a cuatro sujetos clave relacionados con el tema y se aplicó el guion hasta la saturación a diez informantes ciudadanos, cinco hombres y cinco mujeres de tres colonias de distintas clases sociales: Centro/baja (CB), Aurora/media (CM) y Miramar/alta (CA), por considerar que tenían información experiencial valiosa sobre la crisis DLB y sus prácticas. El criterio de selección fue pertenecer al género masculino o femenino, ser mayores de 18 años de edad, estar en pleno uso de sus facultades mentales y haber sido residentes al menos por 10 años en una de las tres colonias estudiadas (entendiendo colonia como un área determinada de viviendas).

La pandemia de COVID fue una de las limitaciones del estudio, al impedir el libre acercamiento a las personas, por temor de contagio, así como el uso del cubre bocas imposibilitó observar gestos de los entrevistados evitando la obtención de un retrato completo de los sujetos. Otra limitante fue el hábito de los informantes de negar lo evidente, cuando se les sorprendía tirando basura fuera de lugar, por no querer dar una imagen de irresponsabilidad debido a sus prácticas DLB. En la primera etapa, se realizó observación en el primer cuadro de la ciudad en Guaymas, jardines y calles principales de dos de los contextos habitacionales elegidos, se llevó a cabo conversación casual con los habitantes contactados, a fin de conocer su percepción del entorno con relación a los

RSU; de ahí se escogieron los informantes ciudadanos. Se registraron las condiciones encontradas en estas ciudades (mismas que fueron consideradas para este estudio por ser Guaymas el segundo puerto del Pacífico más grande en México y San Carlos, por ser un referente turístico en el estado y un lugar de segunda residencia para extranjeros.

El instrumento para las entrevistas ciudadanas partió de la operacionalización de las categorías de cada objetivo de estudio y se aplicó prueba piloto a cinco informantes: tres mujeres y dos hombres vecinos de las colonias de estudio (de 35 a 78 años de edad), con quienes se estableció contacto durante los recorridos en el contexto investigado. Para dar validez, el guion se adecuó con las recomendaciones de los expertos (cinco doctores: dos mujeres y tres hombres, de los cuales dos varones eran asesores externos de centros de investigación distintos a la institución de origen, uno de ellos especialista en RSU). Tras el pilotaje se hicieron las adecuaciones sugeridas, a fin de detallar el instrumento para, durante la segunda fase aplicar las entrevistas a los informantes y a los sujetos clave. En la tercera etapa se llevó a cabo la observación y la conversación casual en ambas ciudades, en San Carlos aplicando entrevistas a los informantes de la tercera colonia de estudio.

El rigor metodológico para verificar la calidad fue la transferibilidad o aplicabilidad, pues en un contexto distinto, pero en circunstancias semejantes es posible replicar este estudio; también, se consideró la credibilidad, que implica que la información recolectada es cierta para los informantes, y para los investigadores es un acercamiento de lo que se piensa del fenómeno (Castillo y Vázquez, 2003, p. 165, 166). Se llevó un diario durante el trabajo de campo anotando lo observado en todo el contexto durante las tres fases y se registraron notas metodológicas, descriptivas y analíticas. Las entrevistas, conversación casual y observación fueron grabadas y transcritas de manera textual minuciosamente conservando el sentido de lo dicho y lo observado. La sistematización de los datos se hizo en Excel, sólo contabilizando en el software Atlas Ti los conceptos más repetidos; se realizó análisis sociológico de manera tradicional. Después de la codificación, bajo una perspectiva EMIC/ETIC, se descompusieron primero los conceptos de primer orden identificando las unidades de significado y reconstruyendo enseguida los datos bajo la interpretación del investigador. Así se logra una doble hermenéutica, que por medio de la circularidad acorta la distancia entre "dos sistemas conceptuales" (Medina, 2006, pp. 2-3).

El deslinde epistemológico fue efectuado a partir del paradigma de Berger y Luckman, que analiza objetivamente cómo es la realidad, del enfoque constructivista de Pierre Bourdieu, que considera que los constructos sociales con los que se convive son los que entretejen las prácticas y los significados de las personas. Igualmente, el planteamiento se realizó desde la semiótica cultural de Gilberto Giménez, que facilita ahondar en el entendimiento del mundo conceptual de los sujetos de estudio.

3. Resultados y discusión

Durante el trabajo de campo, se advirtió que en ambas ciudades existía exceso de acumulación de desperdicios y desechos tirados fuera de las casas, ya diseminados por los animales callejeros y por

los indigentes, como resultado de la frecuente falta de recolección de la empresa concesionada, pero además se hallaban tirados en las calles, en lotes baldíos y en viviendas desvalijadas. Esto daba una sensación de abandono, en especial en el primer cuadro de la ciudad en Guaymas, donde sólo hubo un depósito de basura disponible durante el trabajo de campo. En las diez colonias de clase baja visitadas aquí, se acentuaba más la dispersión de restos domésticos; en las de clase media y alta existía aglomeración de bolsas con residuos domiciliarios. Como consecuencia del ineficiente servicio de recolección y traslado de RSU de la concesionaria PASA, los usuarios desarrollaron 18 distintas estrategias de descarte, la más recurrente de ellas era llevar sus bolsas DLB a contenedores y botes privados (en San Carlos a los botes públicos) o a algún punto convenido de recolección. Esto, aún sin la certeza de si sería recogida; prácticas cotidianas que implicaban amontonar la basura encima y alrededor de los depósitos, a falta de espacio suficiente para ponerla.

En otros casos, en el centro de Guaymas o en las colonias de la periferia, como Fátima, Las Golondrinas, Gil Samaniego, Guaymas Norte, entre otras, una opción era quemarla afuera de las casas, llevársela a los vecinos o llanamente arrojarla en el monte, las cañadas o las playas. Nadie quería conservarla debido a los malos olores y a las plagas de animales que generaba su acumulación; la otra iniciativa para quien pudiera hacerlo era pagarles a terceras personas para que se llevaran sus bolsas repletas de desechos o darles propina a los empleados recolectores, para tener prioridad en el servicio. En SC, aun cuando se veía una abundante cantidad de depósitos (toneles) donados sobre el boulevard principal (más de 100), todos ellos se encontraban sobrepasados en su capacidad más del 30%, por el exceso de bolsas depositadas ahí por habitantes de todas las colonias, basura que se quedaba ahí sin recolectar por mucho tiempo. Las colonias ahí se notaban más ordenadas y limpias afuera de las propiedades y en las calles, pero donde los desechos se acumulaban excesivamente era en las zonas de playa y alrededor de las tiendas de conveniencia y tiendas de bebidas alcohólicas.

3.1. La basura y sus significados

En el espacio privado, coloquialmente, el término basura se refiere a los residuos domiciliarios, es la manera como los informantes, hombres y mujeres del contexto de estudio designan todos aquellos restos de la preparación de alimentos: “Es basura, por ejemplo, así las latas, los desperdicios de la verdura, lo orgánico, la cola de la zanahoria, por ejemplo. Los rabitos, todo eso, todo lo orgánico de la fruta” (Entrevistada_2_CM). Además, lo relacionado con los productos de consumo diario en casa para la alimentación, limpieza o uso personal: “los envases de cristal, los envases de plástico, envoltorios de lo que uno come, las bolsas” (Entrevistada_9_CA). De la misma forma, otros artículos del hogar, cosas viejas, dañadas, que no interesan: “Cuando ya tiene mucho tiempo y ya no le damos uso. Por ejemplo, puede ser también muebles, por ejemplo, ¿no? Muebles, que se le quebró alguna cosa, una pata, un mueble, un ropero, y así. Ya no sirve, que se le despegó un triplay, o algo” (Entrevistado/5CB). La basura ha sido vinculada con la idea de inutilidad, de algo

que ya no sirve, por lo que si se pierde la funcionalidad hay que hacerlo desaparecer, desecharlo donde no se vea. (Bernache et al, 1998, p. 33).

Cuando se habla del espacio público, la basura tiene connotación de suciedad, de desorden, de "cochinero", como lo mencionaron informantes y personas con quienes se conversó: "Pues había basura por todas partes, todo cochino. Todo sucio, en el mercado, para el lado del centro, del mercado en el primer cuadro de la ciudad, el Guaymas viejo ese. Un "cochinero" (Entrevistado_02_CM). Los objetos tirados en los espacios públicos, empaques, envoltorios o cualquier cosa arrojada en las calles, plazas o playas tienen etiqueta de basura denotando desatención, y la acumulación de desechos son motivo de desagrado provocando una percepción peyorativa DLB: "Que se ve feo, que es un asco, que se ve feo eso tirado" (Entrevistada_1_CM). Un comerciante de SC expresó molestia por la basura diseminada en la costa: Cuando recién llegamos había muchas botellas de vidrio tiradas entre las arenas, muy feo estaba". Asimismo, son rechazados los malos olores despedidos por los residuos orgánicos en descomposición que yacen en el suelo o en la arena. El asunto es, que los enunciados en general muestran desinformación, no existe una cultura de aprovechamiento, de reciclaje o de reducción en el origen, como tampoco, en su gran mayoría se ve intención de las personas para participar en la solución del problema DLB, de tener prácticas más saludables con el medio ambiente. El comportamiento con relación al manejo de la basura es congruente con la información y las creencias que se tienen y responde por tanto a la atribución de responsabilidad que piensan que les corresponde a las personas (Brito y Pasquali, 2006 pp. 340-343).

3.2. ¿De quién es responsabilidad la basura?

Los hallazgos arrojaron cuatro entidades a quienes se les atribuye la responsabilidad hacia el buen manejo DLB: al sujeto de manera individual, como miembro de una colectividad, a la concesionaria PASA y al ayuntamiento de Guaymas. La categoría mas repetida fue la responsabilidad comunitaria, que implica, de manera conjunta mantener limpio su entorno, evitar tirar la basura en lugares inadecuados, así como participar para sanear los espacios públicos de la comunidad. En la entidad se encontró un débil sentido de responsabilidad colectiva, pues las personas al haber socializado largo tiempo en un entorno de inmundicia se acostumbraron al desorden y a la suciedad, normalizando así ver la basura tirada en todos lados volviéndose inmunes al "cochinero". En Guaymas, la participación comunitaria es más débil, esa conciencia que permite el desarrollo de prácticas favorables DLB no se ha desarrollado del todo, pues predominan la desidia y el desinterés de participar en actividades colectivas para mejorar el medio ambiente, por lo tanto, no existen las condiciones suficientes, que son condicionantes para las buenas prácticas de la basura.

La interiorización de esos esquemas conceptuales propicia que las prácticas DLB inadecuadas se reproduzcan, porque en el contexto social "todos lo hacen", lo cual les justifica indolentemente para seguir haciéndolo, el problema es que "basura llama a basura", dice un comerciante de SC. El habitus, que genera prácticas DLB con tendencia a la reproducción es propiciado por la sociali-

zación primaria, por medio de la familiarización en un contexto determinado siguiendo esquemas generativos, que inscriben cómo se divide el mundo social (Criado, 2009, pp. 1429-1430). Estas disposiciones, que impulsan 'a la gente' (término con que se designa a quienes realizan prácticas DLB incorrectas) están orientadas por tres factores: el cultural, el actitudinal y el público. El más más reiterado fue el factor cultural, es decir, prácticas socialmente aceptadas, que producen patrones, como tirar 'in situ' los embalajes, envases, cáscaras, platos, cucharas, los restos, etc., o sea, en el lugar donde se consume algo, lo que demuestra un pobre sentido de pertenencia al territorio. Se dividen en dos: 1) las prácticas DLB de los fines de semana y 2) las prácticas DLB del consumo en tránsito. En ambas se destaca el consumismo habitual de cerveza y comida chatarra, como frituras, galletas, dulces, etcétera, procedentes de tiendas de conveniencia y comercios con venta de bebidas alcohólicas. Aparte de ser disposiciones de clase, el habitus funciona como una matriz de apreciaciones, percepciones y acciones, que conllevan a un estilo o forma de vida particular (Tan y Liu, 2022).

Respecto al factor actitudinal presente en las prácticas cotidianas DLB existe una conducta apática e irresponsable, de quien no piensa en el beneficio del medio ambiente, ni de la comunidad, sino en el propio. Ésta es la principal causa para tirar los residuos en cualquier lado, mismos que son producto del consumismo habitual; es fácil tirarla, es la ley del menor esfuerzo, pues quienes comen o beben algo se despreocupan de buscar un sitio apropiado para depositar su basura dejándola en el lugar de consumo. Realmente no les importa lo que pase con sus restos. "Es una negativa frente al mantenimiento de los recursos naturales, en donde no se evidencia una consolidación de una conciencia ambiental" (Anaya y Martínez, 2018, p. 2). La segunda razón para tener ese tipo de prácticas es la inconsciencia, por falta de reflexión de hombres y mujeres en las consecuencias de sus acciones, que afectarán no sólo la salubridad y la estética de su espacio de convivencia, sino la tierra, las fuentes de agua y la fauna. Al identificarse como miembro de una comunidad, no sólo se comparten ideales, sino una conciencia individual, solidaridad y una conciencia comunitaria que denota sentido de pertenencia (Miranda, s.f., p. 175). El tercer motivo para tirar sus restos por doquier, es el factor público, por carencia de infraestructura dónde arrojar sus desechos: "El problema de la basura es por falta de contenedores, ¿no? Todo se relaciona con falta de contenedor, porque si tú buscas un bote de basura y te encuentras uno ¿qué haces? Tiras la basura que traigas" (Entrevistada_10_CA).

Debido a la constante exposición de los guaymenses a los residuos diseminados en las colonias, en las vialidades, espacios públicos y naturales, como las playas, este tipo de escenarios favorecieron el desarrollo de un habitus colectivo de suciedad, que terminó normalizando la presencia de la basura. Es decir, que la ciudadanía no muestra indignación ante los efectos negativos que provoca la contaminación ambiental, sino indiferencia aceptando la suciedad como simple consecuencia de vivir en una ciudad (Gran Castro y Bernache, 2016, p. 89). Aun cuando los hombres manifestaban mayor incomodidad ante la basura acumulada que las mujeres, sus prácticas DLB no tenían congruencia con lo dicho, pues se evidenció que contribuyen en gran manera a la contaminación de la región, especialmente por el consumismo habitual de cerveza, cuyas latas suelen dejar tira-

das 'in situ'. En el caso de las mujeres y los niños se encontró que tenían prácticas poco saludables al medio ambiente, porque acostumbran también tirar los restos de embalajes, envases, comida y de golosinas durante el tránsito. El 80 % de contaminación de los mares es causada por todos los empaques de alimentos, cigarros y sus colillas, contenedores de bebidas de productos de consumo rápido que serán desechados irresponsablemente (Roper y Parker, 2013, p. 2264).

"Basura llama a basura" es la suma del consumismo habitual, más un habitus de suciedad, donde predomina la irresponsabilidad nacida de la falta de conciencia ambiental, pues si alguien tira sus desechos inadecuadamente en un sitio, esa es la señal para que los demás sigan aventando ahí sus desperdicios. "Hicimos ese ejercicio y notamos que cuando está limpio la gente no tira basura. Sí, esperan ver basura para tirar, entonces si ya hay basura se nos hace fácil. No les da cargo de conciencia porque no fueron los primeros:" (Comerciante SC). Entre otros factores, la escasa conciencia/falta de educación ambiental, la carencia de infraestructura, el desconocimiento de las consecuencias de tirar la basura y los hábitos de consumo aprehendidos en "una sociedad industrializada" contribuyen a este tipo de problemas (Quijada, 2022, p. 48).

Diferenciadamente, en SC los hallazgos mostraron un alto sentido de responsabilidad comunitaria impulsado por un habitus de limpieza reflejado en prácticas DLB orientadas por un rasgo de conducta pro ambiental en sus residentes extranjeros y nacionales, que impele a solidarizarse colectivamente para llevar a cabo campañas regulares de aseo de playas, montes y calles. La presencia por más de 30 años de una comunidad extranjera con diferentes prácticas culturales permeó en los residentes nacionales nativos provocando la interiorización de estructuras de significados ligados al orden y a la limpieza desarrollando así, disposiciones duraderas afines. Los significados modelan la cultura y determinan por consecuencia las prácticas de los sujetos (Giménez, 2005, p. 64).

Aunque actualmente ambos géneros de las dos nacionalidades participan activamente para recoger basura, el femenino mostró ser más participativo que el masculino, debido a la existencia de un hábito cultural, que relaciona a las mujeres con el cuidado y la limpieza. El género se ha organizado de manera simbólica regida por normas que definen pautas y valores de qué tipo de comportamiento se espera en hombres y mujeres Cedillo (2016). "He visto extranjeros y mexicanos, tanto hombres como mujeres, pero pienso que probablemente son más mujeres" (Residente estadounidense de SC).

Tabla 1: Comparativa falta de participación comunitaria.

Contexto	Hombres	Mujeres	La gente	Total
Guaymas	9	7	18	34
San Carlos	4	3	2	9
Total	13	10	20	43

Asimismo, como puede observarse en la tabla 1., el nivel participativo de los habitantes de Guaymas es bajo, comparado con la participación activa de los residentes de San Carlos, lo que

habla de un débil sentido de pertenencia y por lo tanto refiere irresponsabilidad: “Mmmm, me dan ganas [de recoger basura] y a veces no, a veces sí. Me llevo una bolsa y empiezo a echar. Es que me da cosa” (Entrevistado_07_CA).

La segunda categoría fue la responsabilidad personal, que imputa al individuo la obligación ética de llevar a cabo prácticas DLB favorables en su espacio privado interior, como en el exterior de su propiedad, pero los testimonios destacan la apatía predominante hacia la basura y la necesidad de participación, que apela a los ciudadanos a involucrarse en su buen manejo: “Yo pienso qué debería haber alguien encargado de multar, y del dueño que no lo limpia, pues cobrarle ¿no? Porque eso cría más basura, más animales, más cucarachas” (Entrevistado_4_CB). La ausencia de responsabilidad como individuo para atender un deber que le atañe al espacio privado está ligada al desinterés para buscar un bien colectivo, porque existen disposiciones durables, que responden a esquemas conceptuales largamente asimilados y a una forma de hacer las cosas. En el espacio privado está implícito mantener limpio el frente de la casa y tener los lotes baldíos libres de basura, para evitar que sean usados como basurero clandestino. La falta de rigurosidad por parte de la Dirección de Ecología facilitaba la existencia de este fenómeno en esos sitios: .Aquí está el problema de nosotros, ¿porqué? Por que nosotros no tenemos el sistema de catastro aquí en nuestra dependencia para entrar y buscar el lote, el predio y que aparezca el dueño” (Sujeto_clave_01). En el espacio público, lo correspondiente es llevarse consigo la basura que uno mismo genere por el consumo de productos, con independencia del género al que se pertenezca, con el fin de no contaminar ambientalmente con prácticas DLB irresponsables. Una de las causas del incremento de la producción de residuos es el “consumo de conveniencia”, hábito y moda de comprar y usar materiales llamados desechables (Bernache, 2015, p. 83).

La responsabilidad atribuida a la empresa concesionada es otorgar un servicio eficiente y oportuno de recolección de basura, misma que fue irregular durante los 15 años del contrato. Uno de los regidores opinó durante una junta de cabildo: “Hay muchas quejas del servicio de PASA, el desfasamiento de horarios y rutas en la recolección, el incumplimiento de recolección de basura domiciliaria”. De acuerdo a los testimonios, la deficiente recolección empeoraba con cada cambio de gobierno evidenciando la necesidad de gestión de la empresa: “Toda la responsabilidad es de la compañía y que le pagan, no la recogen” (Entrevistado_5_CM). Asimismo, los usuarios esperaban que hubiera mayor frecuencia y certeza de los horarios establecidos, para organizarse con sus desechos, con la finalidad de sacarlos oportunamente y así impedir su diseminación a causa de animales callejeros y/o indigentes. Creían que PASA debería ofrecer un servicio gratuito, sin privilegios por parte de los recolectores de basura, quienes priorizaban la recolección de aquellos que dieran propina. La corrupción en la provisión de servicios públicos reduce la posibilidad de que toda la población tenga acceso a la misma calidad de servicio favoreciendo a la clase con ingresos mayores a un servicio preferente (Córdova y Ponce, 2017). Las enunciaciones resaltaron la negligencia de la empresa, al no educar ambientalmente a los usuarios del servicio en el adecuado manejo de sus desechos caseros, por medio de campañas.

De igual forma, los entrevistados señalaron que, aunque a la empresa le correspondía dar un buen servicio, la responsabilidad total de la crisis de la basura era del ayuntamiento, por descuidar a la empresa concesionada, para que cumpliera con su compromiso de recoger la basura oportunamente en sus rutas. De igual manera, tampoco el municipio intentó crear programas de educación ambiental para incentivar su involucramiento y que las personas se interesaran en el cuidado del medio ambiente. "Ser más consciente, campañas de concientización. Porque obviamente las personas nos tenemos que concientizar, pero el gobierno tiene que hacer campañas" (Entrevistada_10_CA). Se subrayó, que como entidad responsable debería dotar de servicios públicos de calidad, y mantener limpia la región: "Yo pienso que toda esa basura tirada en las calles, pues yo pienso que parte del municipio" (Entrevistada_10_CA). Hay ingobernabilidad, cuando el ayuntamiento o la empresa concesionaria no tienen la capacidad para responder a las demandas de dar un servicio integral, que genera una alta contaminación ambiental (Bernache, 2015, p. 80). Los testimonios señalan que le corresponde mantener limpios los espacios públicos, que por larga data han sido contaminados con los desechos domiciliarios dispersos por los animales callejeros y los indigentes, por falta de recolección, para evitar que 'la gente' vaya ahí a echar su basura. El ayuntamiento no se ha preocupado por educar a su población en las prácticas DLB adecuadas, no realizó campañas masivas para informar a los ciudadanos de cómo reducir los desechos desde su origen, con la reutilización o reciclaje, además que no proveyó las calles con botes de basura para facilitar que haya dónde tirarla en su lugar. La carencia de campañas de educación y comunicación ambiental, aunada a la falta de botes y contenedores de basura, así como el factor actitudinal están relacionados directamente con la contaminación (Pelayo, García y Pérez, 2011)

4. Conclusiones

La crisis de la basura acontecida en Guaymas y San Carlos no fue fortuita, sino que es inseparable de un contexto socio histórico cultural en el cual las políticas públicas existentes orientan hacia la privatización de los servicios públicos con la intención de mejorarlos por medio de empresas especializadas y de reducir los gastos de administración. Se supone que, al concesionar un servicio público a organismos privados, este debería volverse más eficiente en sus procesos, para atender las necesidades de los usuarios, debido el grado de especialización de los actores, pero en este caso, no se logró ese cometido. La empresa concesionaria, en lugar de ofrecer un servicio de primera calidad llevó a la crisis al municipio a quien se presumía debería ofrecer una gestión integral de los RSU, esto favoreció, que hubiera una familiarización con un entorno sucio, lleno de basura. La clase baja mostró estar más habituada al desorden y suciedad que por tanto tiempo habían visto, que la clase media y la clase alta, que manifestaron reiteradamente descontento ante la abundancia de basura dispersa en la región.

El género, como construcción social determina la asignación que le corresponde a los hombres y a las mujeres culturalmente, es decir que sus prácticas DLB son conformes con las expectativas que se tienen de cada uno de manera tradicional. Debido a los componentes simbólicos que vin-

culan al género femenino con el cuidado del hogar es más natural que sean las mujeres quienes desarrollen un habitus de limpieza más enfático respecto al buen manejo de los RSU. La interacción de hombres y mujeres con la basura es una construcción social fortalecida culturalmente, y tiene congruencia entre sus prácticas de la basura con su manera de relacionarse tradicionalmente en el espacio privado.

Para desestructurar el fenómeno "basura llama a basura", las autoridades deben dejar la negligencia de lado, hacerse responsables para que un nuevo habitus de limpieza pueda interiorizarse en quienes habitan la región y se deshabitúen de los escenarios de suciedad. La prioridad en el proceso de la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos es la disminución de la generación en el origen y eso solo puede lograrse por medio de la concientización de las personas de las consecuencias ambientales, pero no se ha enfatizado esa primera etapa que podría solventarse a través de la educación ambiental y de saber cómo significan la basura los hombres y mujeres. Es imprescindible limpiar todo lo sucio, pues es la única manera de vivir bajo un paradigma diferente para hacer las cosas e instaurar prácticas más saludables con la basura orientadas bajo una actitud pro ambiental. Esto permitirá que se extinga el rasgo de conducta antiecológica actual que ha provocado que se reproduzca el habitus de suciedad, que origina estructuras y esquemas conceptuales dañinos y, por ende, la contaminación del medio ambiente promoviendo así una responsabilidad compartida hacia la basura.

Referencias bibliográficas

[1] Anaya, J., & Martínez, D. (2018). Factores relacionados con los comportamientos proambientales y anti-ecológicos: revisión sistemática de la literatura 2007-2017. Universidad Nacional del Rosario. https://shorturl.at/EYVSH

[2] Bernache, G. (2015). La gestión de los residuos sólidos: un reto para los gobiernos locales. *Sociedad y Ambiente*, 1(7), 72-98. https://www.redalyc.org/pdf/4557/455744912004.pdf

[3] Bernache, G., Bazdresch, M., Cuéllar, J. L., & Moreno, F. (1998). *Basura y Metrópoli: Gestión social y pública de los residuos sólidos municipales en la zona metropolitana de Guadalajara*. Colegio de Jalisco.

[4] Brito, E., & Pasquali, C. (2005). Comportamientos y actitudes asociados a la disposición de la basura. https://shorturl.at/BrHt7

[5] Castillo, J., & Vázquez, M. (2003). El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia Médica*, 34(3), 164-167. https://www.redalyc.org/pdf/283/28334309.pdf

[6] Cedillo, P. (2016). Disonancias y resonancias conceptuales: investigaciones en Teoría Social y su función en la observación empírica. El género como disposición. A propósito de la plura-

lidad interna del habitus sexuado. En Pozas M. y Estrada M. (Eds.), *El Colegio de México A. C.*.

[7] Córdova, J., & Ponce, A. (2017). Los tipos de corrupción y la satisfacción con los servicios públicos. Evidencia del caso mexicano. *Revista Región y Sociedad*, 29(70), 231-257. https://doi.org/10.22198/rys.2017.70.a344

[8] Criado, E. M. (2023). Habitus en Reyes R. *Diccionario Crítico de Ciencias Sociales*. https://entramadossociales.org/produccion-cientifica/concepto-de-habitus/

[9] Cuevas, E. (2021). Propuesta de reforma al reglamento de residuos sólidos del estado de Morelos respecto a la separación en la fuente. Tesina, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. https://shorturl.at/384SV

[10] Giménez, G. (2005). *Teoría y análisis de la cultura*. Volumen I. CONACULTA.

[11] Gran Castro, J. A., & Bernache, G. (2016). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos capacidades del gobierno municipal y derechos ambientales. *Sociedad y Ambiente*, 4(1), 9-73. https://www.researchgate.net/publication/330797769_Gestion_de_residuos_solidos_urbanos_capacidades_del_gobierno_municipal_y_derechos_ambientales_Urban_solid_waste_management_municipal_government_capacities_and_environmental_rights

[12] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Panorama Sociodemográfico de México 2020. Panorama sociodemográfico de Sonora. https://shorturl.at/W9hsp

[13] Medina, J. L. (2006). Análisis de datos cualitativos en el enfoque etnográfico. https://fcsalud.ua.es/documentos/planes-de-estudio/doctorado/actividad-an-cuali-pc/lec-3-previa.pdf

[14] Miner, E., Algar, M., Hamhaber, J., & Márquez, L. E. (2023). Mejorar la gestión de residuos a través de la educación ambiental estratégica. *Jandiekua*. https://shorturl.at/a5kCQ

[15] Miranda, J. (s.f.). La pertenencia regional de Argentina, Brasil y Venezuela. Hacia un concepto de experiencia (pp. 169-200). En Mellado N. B. (Ed.), *Argentina: MERCOSUR y UNASUR ¿Hacia dónde van?* LERNER EDITORA S. R. L.

[16] Pelayo, J., García, S., & Pérez, G. (2021). Educación Ambiental para la Participación en la Gestión de Residuos Sólidos en un Centro Universitario. *Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011)*. https://shorturl.at/vHNIw

[17] Polo, M. A. (2019). La responsabilidad ética. *VERITAS*, 42, 49-72. https://shorturl.at/rC7jV

[18] Quijada, Z. (2022). Construcción social de la basura y separación de residuos sólidos domiciliarios en Hermosillo Sonora (2019-2021). Tesis maestría, El Colegio de Sonora. https://shorturl.at/sDmsM

[19] Rodríguez-Guerra, A., & Baca-Cajas, A. (2021). Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU): análisis de una década de gestión en países de Europa y América. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 42(1). https://shorturl.at/L1kTP

[20] Roper, S., & Parker, C. (2013). Doing well by doing good: A quantitative investigation of the litter effect. *Journal of Business*, 66, 2262-2268. https://shorturl.at/pA3Uy

[21] Safa, P. (2020). El concepto de habitus de Pierre Bourdieu y el estudio de las culturas populares en México. *Revista Universidad de Guadalajara*. https://shorturl.at/wpSwl

[22] Salgado-López, J. (2012). Residuos sólidos: percepción y factores que facilitan su separación en el hogar. El caso de estudio de dos unidades habitacionales de Tlalpan. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 91-112. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67090/05%20Residuos%20s%C3%B3lidos.pdf?sequence=1

[23] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). Informe de la situación del medio ambiente en México. Generación de Residuos Sólidos Urbanos. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf

[24] Tan, C. Y., & Liu, D. (2022). Typology of habitus in education: finding from a review of qualitative studies. *Social Psychology of Education*, 25, 1411-1435. https://shorturl.at/CgvbQ

[25] Terrazas-Chavira, et al. (2024). La dignificación de la pepena: un análisis del reciclaje de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Chihuahua. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 12(1). https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/548/669

Análisis de la sustentabilidad de las rutas óptimas de recolección de residuos electrónicos en el municipio de León

Itztli Mariana Cruces Villanueva[1], Roberto Gutiérrez Guerra[1], Miguel Enrique González Bravo[2], Adolfo Israel Lomelí García[1]

[1]Universidad Tecnológica de León, Boulevard Universidad Tecnológica #225, Col. San Carlos, CP 37670, León, Guanajuato, México.

[2]Dirección General de Medio Ambiente, Boulevard Adolfo López Mateos #3402, Hacienda del Campestre, CP 37170, León, Guanajuato, México.

[*]Correo electrónico: Itztlimariana@gmail.com

Resumen

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES), son aquellos materiales que emplean corriente eléctrica para su uso adecuado, según informes de la Organización para la Naciones Unida en el 2019 se tuvo una generación de 53.6 millones de toneladas a nivel mundial de estos residuos, consideran anualmente un aumento de estos. Teniendo en cuanta estas cifras y su aumento respecto al tiempo, es importante el desarrollo de estrategias encaminadas al manejo y gestión adecuada de los RAEES, por ello, en esta investigación, se presentan avances de la campaña RecicLeón, campaña desarrollada por el municipio de León, Guanajuato con el objetivo de recuperar y disponer adecuadamente los residuos eléctricos y electrónicos de la ciudad, mediante una prueba piloto de recolección a domicilio, dirigida a personas de la tercera edad y que cuentan con alguna discapacidad, con el fin realizar un análisis de sustentabilidad abordando el eje ambiental, social y económico. Los resultados obtenidos de dicho análisis señalan que se recaudaron 220 kilogramos de residuos eléctricos y electrónicos, evitando la emisión de 261.36 kilogramos de dióxido de carbono, esto únicamente de la recolección a domicilio. Sin embargo, en general, la campaña RecicLeón recuperó 33,485 kilogramos de residuos que equivale a 48.21 toneladas de dióxido de carbono que no se emitirá a la atmosfera.

Palabras clave: *Residuos electrónicos*, *RecicLeón*, *recolección*, *sustentabilidad*, *viabilidad*

1. Introducción

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES), son todos aquellos aparatos en desuso que requieren batería o usan la corriente eléctrica para su adecuado funcionamiento. Según el informe del Programa de Naciones Unidad para el Medio Ambiente (PNUMA, 2021) menciona que en el mundo se genera aproximadamente 40 millones de toneladas de residuos eléctricos y electrónicos en el mundo, teniendo un crecimiento entre el 16% y 28% cada cinco años.

De acuerdo con información del inventario nacional de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (2021), México es el segundo país generador de RAEES, con un poco más de 1,103,470 toneladas al año, los cuales solo una pequeña parte de estos residuos tiene un adecuado manejo. El no contar con un adecuado manejo de estos residuos trae consecuencias graves tanto para el medio ambiente como a la salud pública. Teniendo en cuenta las grandes afectaciones que conlleva el no tener una buena gestión de los residuos eléctricos y electrónicos.

La cuantificación de estos flujos de residuos se dificulta, dado que no se cuenta con información acerca de la fabricación, importación o exportación de estos residuos a nivel mundial, mucho menos a nivel estatal o municipal. De acuerdo con información de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial menciona, qué en el estado de Guanajuato, se genera aproximadamente 58, 381.51 toneladas de estos residuos anualmente. Mientras que, para el municipio de León, la generación aproximada es de aproximadamente 16,000 toneladas anuales (SMAOT, 2023).

En este sentido, la Dirección General de Medio Ambiente, del municipio de León, Guanajuato desde el año 2014, ha realizado la campaña denominada "RecicLéon" la cual tiene el objetivo de recuperar residuos de aparatos eléctricos y electrónicos provenientes de todos los sectores del municipio, con el fin de evitar que lleguen al relleno sanitario o tengan alguna mala disposición. Para este año 2024 se llevó a cabo la prueba piloto de la recolección a domicilio de RAEES, sumado a la campaña "RecicLeón" esto enfocado a personas adultas mayores de 60 años y se les dificulte trasportar sus residuos a los puntos de recolección.

2. Metodología

En el presente proyecto se presenta el diagrama metodológico empleado para el cumplimiento de los objetivos planteados.

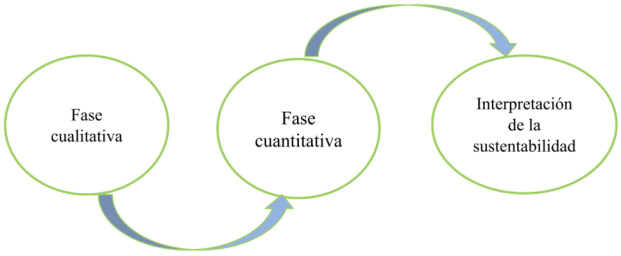


Figura 1

2.1. Fase cualitativa

Para la recopilación de datos se creó una encuesta descriptiva, la cual tiene como objetivo principal recabar información sobre la población de la tercera edad o con alguna discapacidad que habite en León Guanajuato, dicha encuesta contenía la siguiente información:

- Nombre del ciudadano
- Edad de la persona
- Si cuenta alguna discapacidad
- Dirección del participante
- Numero interior o exterior entre otras

La encuesta fue publicada y difundida a través de las redes sociales de La Dirección General de Medio Ambiente, así como a través de la campaña RecicLeón, en su primera edición. Para facilitar su acceso, se creó un código QR el cual, al escanearlo llevaba directamente a la encuesta. La encuesta está en formato Google forms, la cual por su interfaz permite tener una hoja de cálculo con toda la información proporcionada por los participantes. Las personas seleccionadas para la recolección piloto fueron elegidos de acuerdo con los siguientes criterios: ser un adulto mayor o contar alguna discapacidad que residan en León Guanajuato. Además, estas preguntas ayudaron a determinar las rutas de recolección.

Una vez seleccionado a los ciudadanos que participaron en la recolección piloto, se ubicaron sus domicilios en un mapa del municipio de León, con ayuda de la aplicación Google Maps. Con todos los puntos de recolección ya marcados en el mapa, se inició a trazar las rutas más convenientes, tomando en cuenta la zona, la distancia entre los puntos y la accesibilidad de las calles.

Teniendo la cantidad de las personas que fueron seleccionadas para participar en la recolección a domicilio y la zona en donde se encuentran los puntos de recolección, se comenzó a elegir el modelo y la cantidad de unidades móviles, este se seleccionó con base a la capacidad de carga del vehículo, de igual forma a cada unidad un equipo conformado por tres personas, las cuales cumplen con los siguientes roles: el conductor, la persona que se encarga de tomar los residuos y depositarlos en la unidad de recolección y por último la persona que aplica la encuesta de satisfacción

A cada unidad se le entregó un mapa con la ruta y puntos que deberá seguir. Todas las unidades partieron del parque los cárcamos, que es donde los vehículos y personal. Al finalizar el recorrido, la unidad móvil regresó al punto de partida a depositar los residuos recolectados.

2.2. Fase cuantitativa

La fase cuantitativa busca obtener datos y cifras necesarios para analizar e interpretar la viabilidad de la campaña. Para el análisis e interpretación de la viabilidad de la campaña desde un enfoque de sustentabilidad ambiental, económica y social, es fundamental conocer la cantidad de residuos recuperados, el número de vehículos utilizados y la cantidad de combustible necesario para la recolección a domicilio. Estos datos permiten comparar las emisiones de CO_2 generadas por los vehículos con las emisiones evitadas al recolectar los residuos eléctricos. Además, se evaluó la

opinión y el nivel de satisfacción de la ciudadanía con el proyecto, para lo cual se utilizó una encuesta de percepción ciudadana.

2.3. Interpretación de la sustentabilidad.

Se consideran diversos factores para el análisis de sustentabilidad de las rutas de recolección, tales como:

- Tiempo y distancia: Esto ayuda a analizar la cantidad de combustible utilizado en el viaje y las emisiones de gases a la atmósfera que produce.
- Método de carga y descarga: Se consideró el método de carga y descarga de los residuos eléctricos y electrónicos, ya que esto afecta el tiempo que las unidades móviles tardan en la ruta de recolección.
- Tecnologías: Estas fueron utilizadas para mejorar la eficiencia de las rutas.
- Personal: Número de trabajadores necesarios para la realización de la recolección.
- Grado de satisfacción: Nivel de satisfacción de los usuarios participantes en la campaña.
- Residuos: Cantidad de material recuperado durante la campaña de recolección a domicilio, determinando métricas de materiales enviados a valorización.

Esto permitirá realizar un análisis costo-beneficio que compare tanto los costos asociados a las rutas con los beneficios obtenidos de la recolección, tales como la disminución de residuos eléctricos y electrónicos en rellenos sanitarios, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, y la generación de ingresos por venta de materiales reciclables.

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en la fase cualitativa permitieron identificar la participación de la población en este tipo de campañas a favor de la ciudadanía y del medio ambiente, en las siguientes imágenes, se puede observar la difusión de la campaña y el levantamiento de la información.

Con la información obtenida del levantamiento de encuestas se pudo trabajar en la realización del mapa de identificación de las rutas considerando la distancia entre cada casa-habitación participante en el programa. El mapa para la recolección inicialmente contemplaba diecisiete domicilios, obtenidos de la encuesta a la ciudadanía. De estos, solo fueron seleccionados siete, esto debido a que algunos no contaban con los requerimientos solicitados.

Para obtener las cifras necesarias de la parte cuantitativa, se llevó a cabo la recolección piloto de residuos eléctricos, La recolección inició a las nueve de la mañana y finalizó a las doce y media aproximadamente, para abarcar los siete puntos señalados en el mapa. De los siete puntos seleccionados para la recolección, solo se obtuvo respuesta de cinco, ya que al llegar a los domicilios



Figura 2: Difusión y levantamiento de información para la campaña de recolección a domicilio

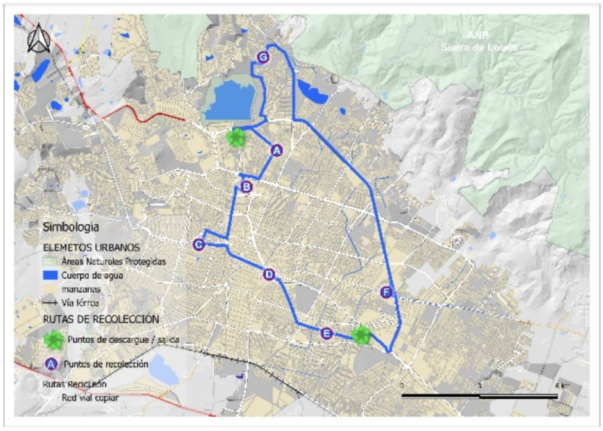


Figura 3: Mapa utilizado para la recolección a domicilio

estos no se encontraban en casa, implicando un gasto de combustible y tiempo. Las cifras y datos obtenidos se encuentran en la tabla 1.

Por último, tenemos el análisis de sustentabilidad, que tomo en cuenta el eje social, ambiental y económico.

3.1. Impacto ambiental

La ruta de recolección tiene un total de siete puntos, (véase en la imagen 2). Cubriendo una distancia total de 32. 33 kilómetros en aproximadamente 3 horas y media, con un gasto total de gasolina de 24 litros, lo que equivale a la emisión de 55. 44 kilogramos de dióxido de carbono (CO_2) a la atmosfera.

Para calcular la equivalencia de gasolina a kilogramos de CO_2 se utilizó la siguiente fórmula:

$$Emisiones\ de\ CO_2\ (kg\ de\ CO_2) = Volumen\ de\ gasolina\,(L)\,x\,2{,}31 kg\ de\ CO_2/L \quad (1)$$

Tabla 1: Datos de la recolección

Datos de la recolección a domicilio	
Criterio	**Cantidad**
Vehículos	1
Personal	3
Combustible utilizado	24 litros
Total, de domicilios	7
Tiempo del recorrido	3 horas y 30 minutos
Residuos recolectados de la recolección	220 kilogramos
Residuos recolectados total de la campaña	33.48 toneladas

Tomando en cuenta que por cada litro de gasolina se produce 2.31 kilogramos de CO_2 aproximadamente. Para calcular la equivalencia de residuos eléctricos y electrónicos a kilogramos de CO_2, se utilizó la siguiente fórmula (Informe Global Ewaste Monitor, 2020):

$$Emisiones\ de\ CO_2\ en\ toneladas = \frac{(1{,}44\ toneladas\ de\ CO_2)(tonelada\ de\ residuos)}{1\ tonelada\ de\ residuos} \tag{2}$$

$$Emisiones\ de\ CO_2\ en\ kilogramos = \frac{(1{,}44\ toneladas\ de\ CO_2)(kg\ de\ residuos\ de\ CO_2)}{1\ tonelada\ de\ residuos} \tag{3}$$

Se recolectó un total de 220 kilogramos de residuos de aparatos eléctricos, lo que equivale a 316.8 kg de CO_2 que no se emitirán a la atmósfera.

Al restar las emisiones del vehículo a la cantidad de CO_2 evitada gracias a la recolección, se tiene como resultado neto 261.36 kilogramos de CO_2, que evitaron emitir a la atmosfera. Esto demuestra que la actividad de recolección de residuos eléctricos y electrónicos contribuye a la disminución de gases de efecto invernadero.

3.2. Viabilidad económica

La campaña RecicLeón en su segunda edición 2024, logró recaudar un total de 33,485 kilogramos de residuos eléctricos y electrónicos, lo cual en dinero se traduce a 50227.5 pesos mexicanos. Esto se debe a que la empresa encargada de gestionar residuos paga 1.50 pesos por cada kilogramo de residuos electrónicos.

La campaña resultó ser económicamente rentable. Sin embargo, si solo se cuenta lo recaudado en la recolección a domicilio, que fue de 220 kilogramos lo cual es equivalente a 330 pesos. Considerando que el precio promedio de la gasolina es de 24.5 pesos por litro, se requiere 588 pesos para pagar únicamente el gasto del combustible. Por lo tanto, es claro que los ingresos generados por la recolección a domicilio no son suficientes para cubrir los costos asociados al proyecto.



Figura 4: Kilogramos de Residuos eléctricos recolectados en la campaña

3.3. Aspecto social

Para evaluar la aceptación del proyecto de recolección a domicilio, se aplicó una encuesta de percepción que permitió evaluar el impacto de esta iniciativa en la población. Los resultados de esta encuesta revelaron que a la ciudadanía les agradó el servicio proporcionado por la Dirección general del medio ambiente. Los encuestados indicaron que este tipo de iniciativas es necesario para incentivar a la gente a disponer de sus residuos adecuadamente y que resulta beneficioso para las personas de la tercera edad que no tiene la posibilidad de llevar sus residuos electrónicos, dada a la lejanía de los centros de acopio. Las gráficas que ayudaron a visualizar los resultados de la encuesta.

3.4. Percepción ciudadanía

1. ¿Cómo clasificaría la recolección que proporcionó la Dirección General de Medio Ambiente por medio de Reicleón?

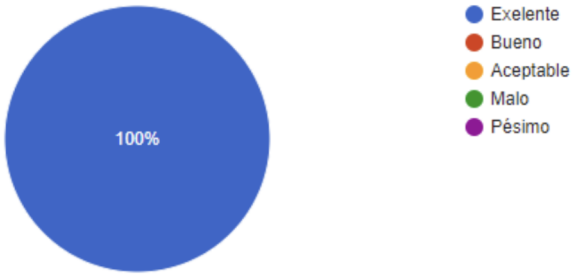


Figura 5: Respuestas pregunta 1

2. ¿Cómo calificaría la profesionalidad de nuestro personal?

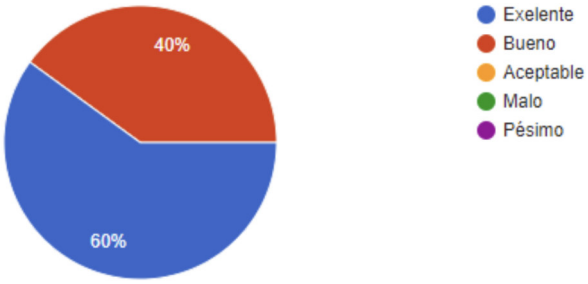


Figura 6: Respuestas pregunta 2

3. ¿La unidad de trasporte se llevó todos sus residuos electrónicos?

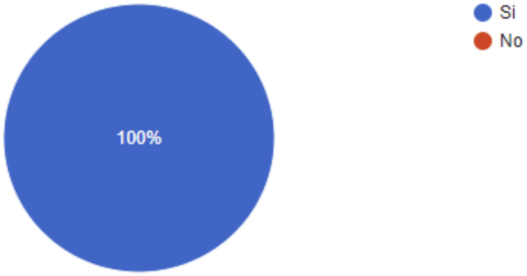


Figura 7: Respuestas pregunta 3

4. Sí la respuesta es no, ¿el personal le explico el motivo?

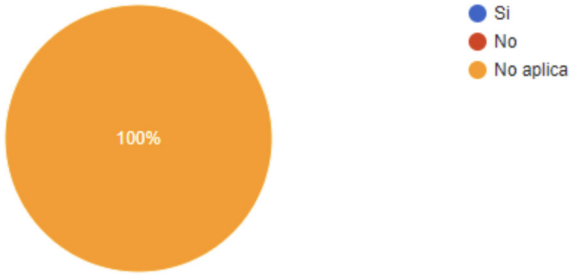


Figura 8: Respuestas pregunta 4

5. ¿Le gustaría que este proyecto se volviera a realizar?

6. ¿Por qué

Es necesario para reciclar y no contaminar, con estos aparatos que ya no usamos. Para evitar la contaminación Para hacer limpieza Ahorra tiempo, ya que el Parque los Cárcamos queda lejos de mi casa

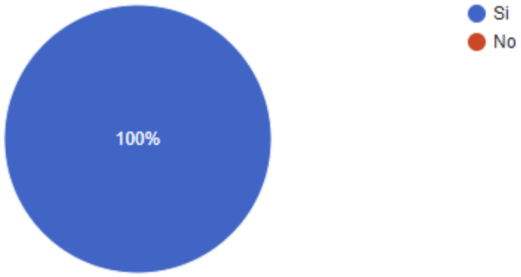


Figura 9: Respuestas pregunta 5

Creo que concientizamos a las familias, porque muchos de estos residuos son de manejo especial y contaminan el medio si no se tiene una buena disposición, este proyecto ayuda que más personas desechen adecuadamente sus residuos eléctricos y no lleguen a rellenos sanitario.

4. Conclusiones

Los registros obtenidos del cuestionario a la ciudadanía para participar en la prueba piloto de recolección no fueron los esperados, pues solo se obtuvieron 17 registros, de los cuales 10 fueron descartados. Dado que el periodo de tiempo para contestar la encuesta fue de aproximadamente dos meses, se esperaba una mayor participación por parte de la ciudadanía. Un factor clave en la baja participación puede ser que las personas de la tercera edad no cuentan con acceso a internet o teléfonos inteligentes, los cuales son necesarios para acceder al cuestionario e inclusive para informarse de la campaña RecicLeón.

Las encuestas de percepción reflejan que la ciudadanía considera necesario la implementación de este proyecto, especialmente para las personas de la tercera edad y aquellas que cuentan con alguna discapacidad. También se destaca que la ubicación de los centros de acopio es de difícil acceso para estos grupos, ya sea por la lejanía de estos o por la falta de recursos para trasladar los residuos.

Este proyecto tiene un impacto ambiental positivo, ya que en el análisis de sustentabilidad muestra que la recolección a domicilio, evito que 261.36 kilogramos de CO_2 se emitieran a la atmosfera. Esto contribuye a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono al ambiente y se evita que todos estos residuos no lleguen a rellenos sanitarios, contaminen cuerpos de agua o alcancen a comunidades rurales, donde podrían causar daños a la salud. Sin embargo, desde una perspectiva económica, el proyecto no genera el suficiente ingreso para cubrir los costos de operación, pues solo se recaudó un total de 330 pesos mexicanos, los cuales no alcanzan ni para cubrir el gasto total de gasolina utilizada en la recolección.

Referencias bibliográficas

[1] Dirección General de Medio Ambiente (DGMA). (2020). Programa para la Prevención y Gestión Integral de los residuos sólidos en el municipio de León. Recuperado de https://www.leon.gob.mx/medioambiente/micrositio.php?m=14. (Acceso 28/12/2022)

[2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Marco Geoestadístico. Recuperado de https://inegi.org.mx/temas/mg/#Descargas. (Acceso 17/06/2024)

[3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf. (Acceso 12/06/2024)

[4] Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT). (2023). Inventario de residuos de manejo especial en el estado de Guanajuato.

[5] Organización de las Naciones Unidas (ONU). Generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

[6] Fundación Aquae. (2021). Residuos electrónicos: Qué son y qué hacer con ellos. Recuperado de https://www.fundacionaquae.org/wiki/residuos-electronicos-que-son-y-que-hacer-con-ellos/

Participación ciudadana en el Reciclatrón de la Ciudad de México

Mariel Esther Wall Guzmán[1], María de la Luz Valderrábano Almegua[1*], Paola Téllez Cervantes[2], Abigail Arias Garay[2], Anette Michel Martínez Ríos[3], Brenda Aracely Feliciano Morales[2], Blanca Estela Gutiérrez Barba[1], Adolfo Mejía Ponce de León[1]

[1]Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Calle 30 de junio de 1520, Col. La Laguna Ticomán, Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P.07340, Ciudad de México, México.
[2]Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Unidad Profesional Adolfo López Mateos Zacatenco, Av. Wilfrido Massieu 399, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México.
[3]Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Av. Acueducto s/n, Col. La Laguna Ticomán, Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P.07340, Ciudad de México, México.

[*]Correo electrónico: mvalderrabano@ipn.mx

Resumen

México ocupa el tercer lugar de generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en América. Conforme a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), los RAEE son de competencia estatal. La Ciudad de México desde 2013 implementó el programa de acopio "Reciclatrón" para el desecho formal de los RAEE por parte de la ciudadanía de quienes se recuperaron sus comentarios. El objetivo del presente estudio es sugerir propuestas para fortalecer su funcionamiento. Para lograr este objetivo, se empleó el método de análisis de contenido utilizando el software Atlas.ti para procesar los comentarios de 123 personas recolectados entre noviembre de 2023 y abril de 2024 en cinco sedes diferentes del Reciclatrón. Se generaron 21 códigos, los más frecuentes fueron: "falta de difusión" (35), "mayor frecuencia" (33), "beneficios del Reciclatrón" (25), "lejanía de las sedes" (24) y "mejorar la información" (20). En el análisis de conceptos resaltaron: gente, sedes, información, difusión y lugar. Respecto al análisis de coocurrencia se obtuvo que los códigos "falta de difusión" y "mayor frecuencia" tuvieron más relaciones con el resto de los códigos, entre los que resaltan: "nuevas sedes", "mejorar la información" y "lejanía de las sedes". Estos resultados sugieren la necesidad de implementar una estrategia de comunicación que involucre a los representantes de las sedes y la diversificación de los medios de

difusión. Además, es fundamental replantear la organización y logística del Reciclatrón priorizando la apertura de nuevas sedes en ubicaciones estratégicas cercanas a zonas residenciales.

Palabras clave: *Acopio*, *Ciudad de México*, *participación ciudadana*, *Reciclatrón*, *residuos electrónicos*

1. Introducción

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) son una de las corrientes de residuos con más crecimiento en los últimos años. La gran generación de este tipo de residuos se encuentra asociada al crecimiento económico, la creciente demanda de los consumidores, los acelerados procesos de innovación tecnológica, pocas opciones de reparación y los ciclos de vida cortos de los aparatos (Forti et al., 2020). La generación global de los RAEE durante 2022 fue de 62 millones de toneladas (t), con un promedio global de 7.8 kg/persona/año y un reciclaje formal de 22.3% del total generado. Se espera que la generación mundial aumente hasta 82 millones de t para el año 2030 (Baldé et al., 2024).

La falta de un manejo adecuado en el reciclaje y disposición final de los RAEE puede tener graves consecuencias en la salud humana, el medio ambiente e incluso impactos económicos (Omondi et al., 2022; Rajesh et al., 2022). Desde 2010, la cantidad de RAEE ha crecido cinco veces más rápido que la recolección y reciclaje de estos, por lo que su gestión requiere acciones inmediatas encaminadas a la creación de infraestructura y regulación para su reciclaje (Baldé et al., 2024). Durante 2022, México se ubicó en el tercer lugar en el continente americano como generador de RAEE con 1,499,000 toneladas (t), por debajo de Brasil con 2, 443, 000 t y Estados Unidos de América (EUA) con 7,188,000 t (Baldé et al., 2024). En nuestro país conforme a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), este tipo de residuo se encuentran clasificados como Residuos de Manejo Especial (RME) y son de competencia estatal (LGPGIR, 2003). Desde 2013, la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) ha implementado el programa de acopio de RAEE "Reciclatrón" que tiene por objetivo "promover entre la ciudadanía el correcto manejo, separación y reciclaje de residuos electrónicos y eléctricos" (SEDEMA, 2022a). El Reciclatrón se lleva a cabo una vez al mes durante uno o dos días seguidos en una sede diferente, pudiendo ser entre semana o fin de semana, durante un horario de 09:00 a 16:00 horas. Las sedes del evento varían todos los meses, las cuales son centros educativos, parques y plazas públicas (SEDEMA, 2022a). Durante sus años de operación hasta el 2019, se han acopiado 1,712 t de RAEE (SEDEMA, 2022b), lo que representa aproximadamente un 10% de la generación de la Ciudad de México (SEMARNAT, 2017). Asimismo, se han atendido a 66,177 personas (SEDEMA, 2022b) que, en comparación con la cantidad de habitantes de la Ciudad de México de 9,209,944 (SEDECO, 2022), se evidencia una baja participación de los ciudadanos.

La participación y voluntad de los ciudadanos son clave para el acopio y reciclaje de los RAEE, sin su colaboración, no es posible garantizar una gestión eficaz (Kumar, 2019; Thukral et al., 2022). La participación ciudadana es un componente fundamental de la gobernanza, entendida como un

proceso en el que interactúan empresas privadas, gobierno, organizaciones de la sociedad civil y ciudadanos en la toma de decisiones (Aguilar, 2006).

Como se puede observar en la figura 1, existen diferentes niveles de participación ciudadana de acuerdo con el espectro propuesto por la Asociación Internacional para la Participación Pública (IAPP, por sus siglas en inglés) (IAPP, 2018). El presente trabajo se sitúa en el segundo nivel "Consultar", se contemplan los comentarios públicos como un instrumento para obtener retroalimentación por parte de la ciudadanía. El objetivo de este estudio es generar propuestas que fortalezcan el funcionamiento del Reciclatrón de la Ciudad de México a partir del análisis de los comentarios aportados por los participantes entre noviembre de 2023 y abril de 2024.

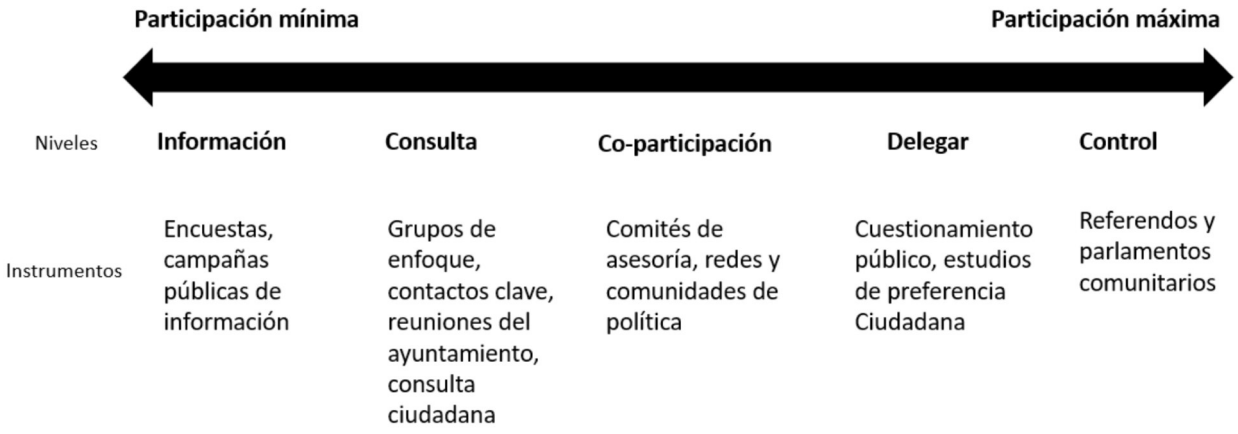


Figura 1: Espectro de participación pública. Fuente IAPP (2018)

2. Metodología

La presente investigación es de carácter exploratorio abordada desde la investigación cualitativa, la metodología se divide en dos etapas: la primera consta de la recolección de datos en campo y la segunda del procesamiento de la información (ver Figura 2).

2.1. Recolección y captura de datos

A través de un muestreo no probabilístico por conveniencia se llevó a cabo la recolección de los datos entre el 16 de noviembre de 2023 y el 30 de abril de 2024, durante los eventos del Reciclatrón en la Universidad Iberoamericana Campus Santa Fe, Parque del Mestizaje de la Alcaldía Gustavo A. Madero, Museo Universum de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Zoológico Los Coyotes e Instituto Politécnico Nacional (IPN) campus Casco de Santo Tomás. Participaron 123 personas, a las cuales se les preguntó sobre su opinión de esta jornada de acopio. Los comentarios fueron recopilados en formato audio, se transcribieron para facilitar su procesamiento y posterior análisis.

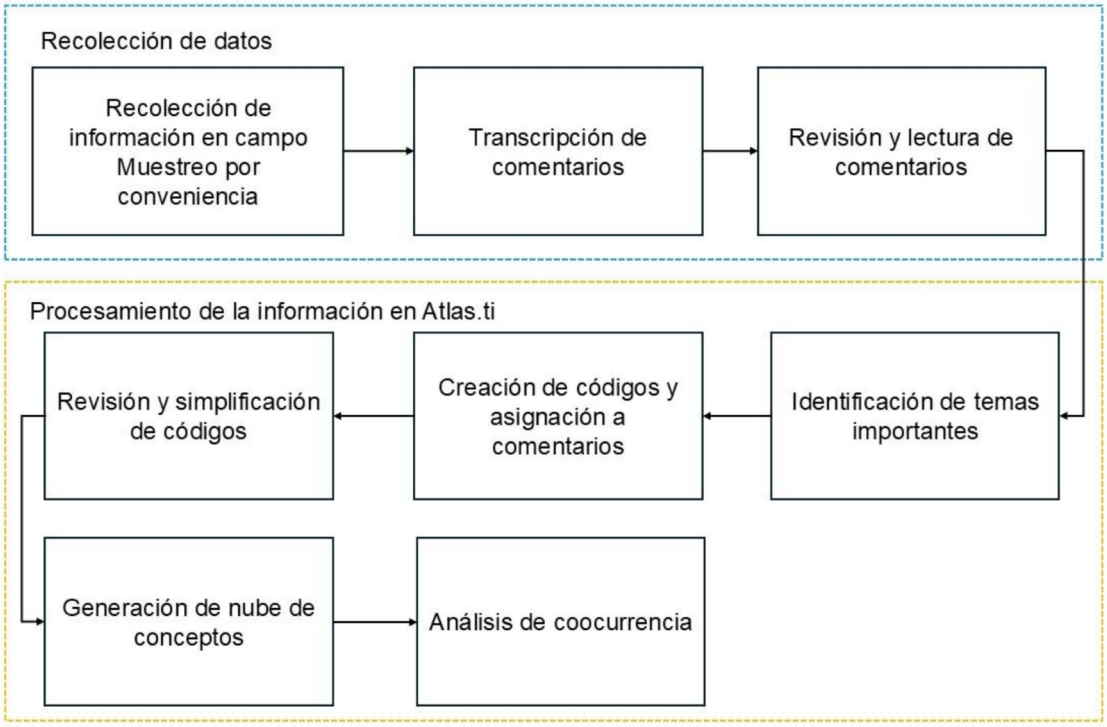


Figura 2: Metodología utilizada para la investigación. Elaboración propia

2.2. Análisis de contenido

El análisis de contenido es una técnica de recolección de datos cuantitativa que permite estudiar los procesos de comunicación de una manera objetiva y sistemática en diversos contextos (Hernández et al., 2014). Desde un proceso de inducción (Salinas, 2009) se realiza la codificación en la que se cuantifican los mensajes o contenido en categorías y subcategorías a partir de sus características relevantes (Hernández et al., 2014), de esta manera se identifica la frecuencia con la que los códigos se repiten y su asociación (Salinas, 2009). Se aplicó la codificación abierta, en la que las categorías no están predefinidas, se crean a medida del progreso del análisis del texto conforme al contexto y condiciones del fenómeno a estudiar (Cohen y Seid, 2019). El análisis de contenido se llevó a cabo mediante el software Atlas.ti ® versión 23.

Como primer paso se realizó una lectura general de todos los comentarios, posteriormente se identificaron los temas más relevantes, se crearon los códigos (categorías) y fueron asignados a cada uno de los comentarios. Por último, los códigos fueron revisados y simplificados. El análisis de contenido aplicado a la investigación de gestión de residuos ha sido utilizado para identificar a partir de artículos científicos orientaciones teóricas de la gestión de residuos hacia la economía circular (Ranjbari et al., 2021); evaluar políticas públicas tanto a nivel nacional como internacional (He et al., 2017; Khosravani et al., 2023; Olatayo et al., 2022) y examinar los mensajes de los medios de comunicación ante proyectos de procesamiento de residuos (Chen y Valdmanis, 2019).

Un ejemplo a nivel local de su aplicación es el estudio realizado por Galván y Rosas (2022), quienes analizaron entrevistas de actores clave de una alcaldía de la Ciudad de México para documentar las etapas de la gestión integral de residuos sólidos.

3. Resultados y discusión

Se realizaron 227 citas y se crearon 21 códigos, los cuales se enlistan a continuación: accesibilidad, agradecimiento, alternativas al Reciclatrón, aprovechamiento de espacio, beneficios del Reciclatrón, buena difusión, destino final, días del evento, educación, falta de difusión, horario, incentivos, AEE que reciben, lejanía de las sedes, mayor frecuencia de las jornadas de acopio, mejorar la información, nuevas sedes, otros residuos, propuestas de comunicación, protección de datos personales, puntos fijos de acopio y recolección.

En la figura 3, se muestra la frecuencia de códigos establecidos en los comentarios de las personas, los cinco códigos que más se repitieron fueron: falta de difusión (35), mayor frecuencia de las jornadas de acopio (33), beneficios del Reciclatrón (25), lejanía de las sedes (24) y mejorar la información (20).

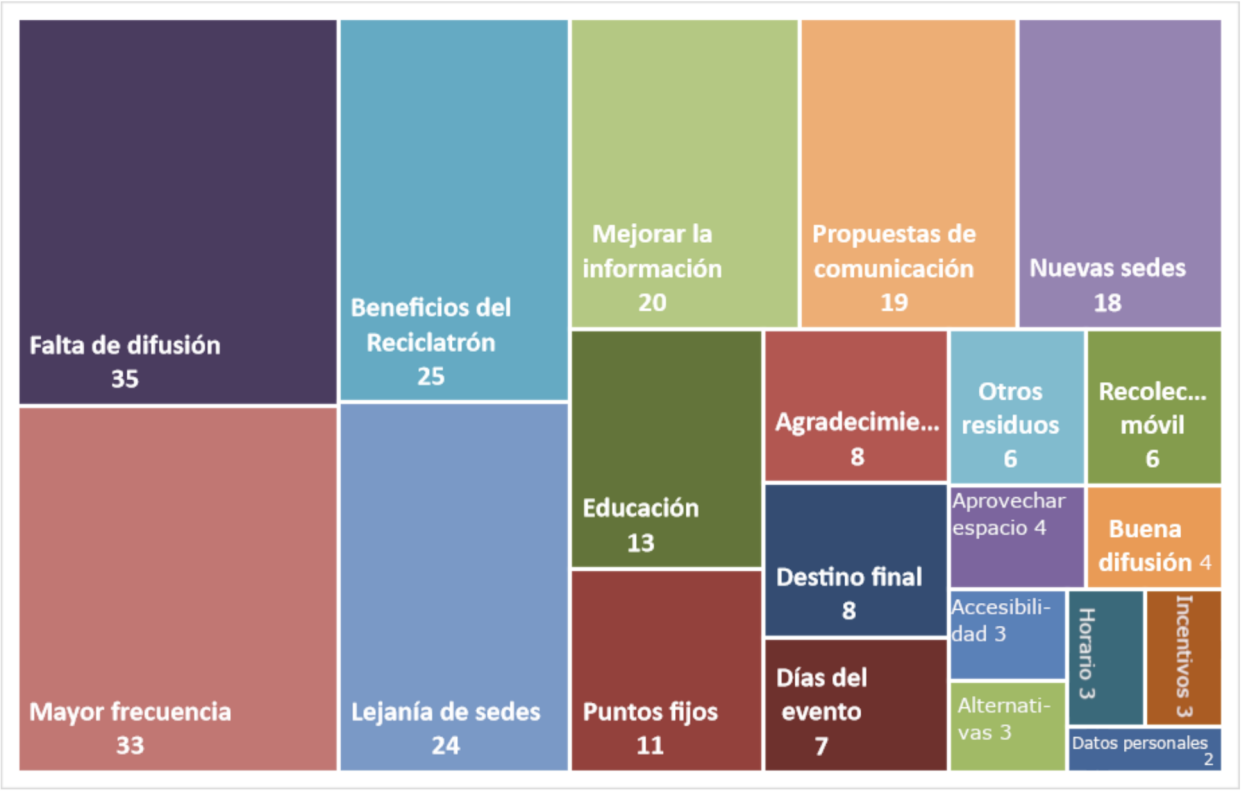


Figura 3: Frecuencia de códigos. Fuente: elaboración propia a partir de los comentarios realizados por los participantes del Reciclatrón mediante el software Atlas.Ti versión 23.

El código "falta de difusión" se refiere a la ausencia o poca información existente respecto a las fechas, horarios y sedes que se puede encontrar en redes sociales, radio, internet y medios físicos como lonas y anuncios. El código "mayor frecuencia de las jornadas de acopio" señala que los eventos del Reciclatrón deberían de organizarse más veces durante todo el mes en diferentes lugares; "lejanía de las sedes" indica que los sitios donde se lleva a cabo el Reciclatrón se encuentran distantes de las casas de las personas o centros de trabajo, el código "propuestas de comunicación" engloba las sugerencias sobre los diferentes canales de difusión que pudiera usar el Reciclatrón para dar a conocer la información, tales como televisión, radio, redes sociales, gacetas, correos electrónicos, entre otros.

Estos resultados muestran una necesidad de abrir más canales para informar a las personas respecto a la organización del evento. Se sugiere que las propias instituciones educativas, según sea el caso, utilicen los medios electrónicos y físicos disponibles. Hasta el momento, la red social más usada por parte de la SEDEMA es Facebook y es por este medio se realiza la convocatoria de los eventos planeados, esta información también se encuentra presente en la página web oficial de dicha institución. Cabe mencionar que la publicidad que la coordinación del Reciclatrón realiza a través de Facebook es orgánica, es decir, que no existe un pago de publicidad para anunciarse, las personas que ven las publicaciones son las mismas que siguen la página con anterioridad. Este hecho limita a que nuevas personas puedan enterarse de los eventos organizados a lo largo del año.

Por su parte, debido a que el Reciclatrón se realiza entre uno y dos días al mes en una sede diferente, no se encuentra disponible para las personas que desean entregar los residuos en días diferentes marcados por el calendario, pues no hay puntos permanentes de acopio. Esto se ve reflejado en el código "mayor frecuencia".

Por otro lado, pese a que las personas mencionan puntos de mejora en el programa, también existen comentarios positivos al mismo, que se ven reflejados en el código "beneficios del Reciclatrón". Estos comentarios engloban emociones positivas, satisfacción personal, un sentido de contribución personal para el cuidado del medio ambiente por parte de los participantes y valoran que el programa disminuye el impacto ambiental.

Con relación con el código "lejanía de las sedes", en la figura 4 se muestra la ubicación de las sedes del Reciclatrón durante el año 2023. Se observa que las sedes se encuentran situadas en algunas alcaldías de la Ciudad de México, además de estar mayormente concentradas en la zona centro y norte. Las alcaldías en donde no se tuvo la presencia del programa durante el 2023 fueron: Tlalpan, Milpa Alta, Tláhuac, Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Benito Juárez, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza. Debido a la extensión territorial de la Ciudad de México, resulta de suma importancia que las sedes puedan estar distribuidas al menos en las Alcaldías que no cuentan con una. En cuanto al código "mejorar la información" agrupa los comentarios referentes a complementar el contenido compartido por el Reciclatrón en redes sociales respecto al cambio de sedes de manera inesperada, los RAEE que son recibidos y el tiempo de respuesta para preguntas y dudas en la página de Facebook.

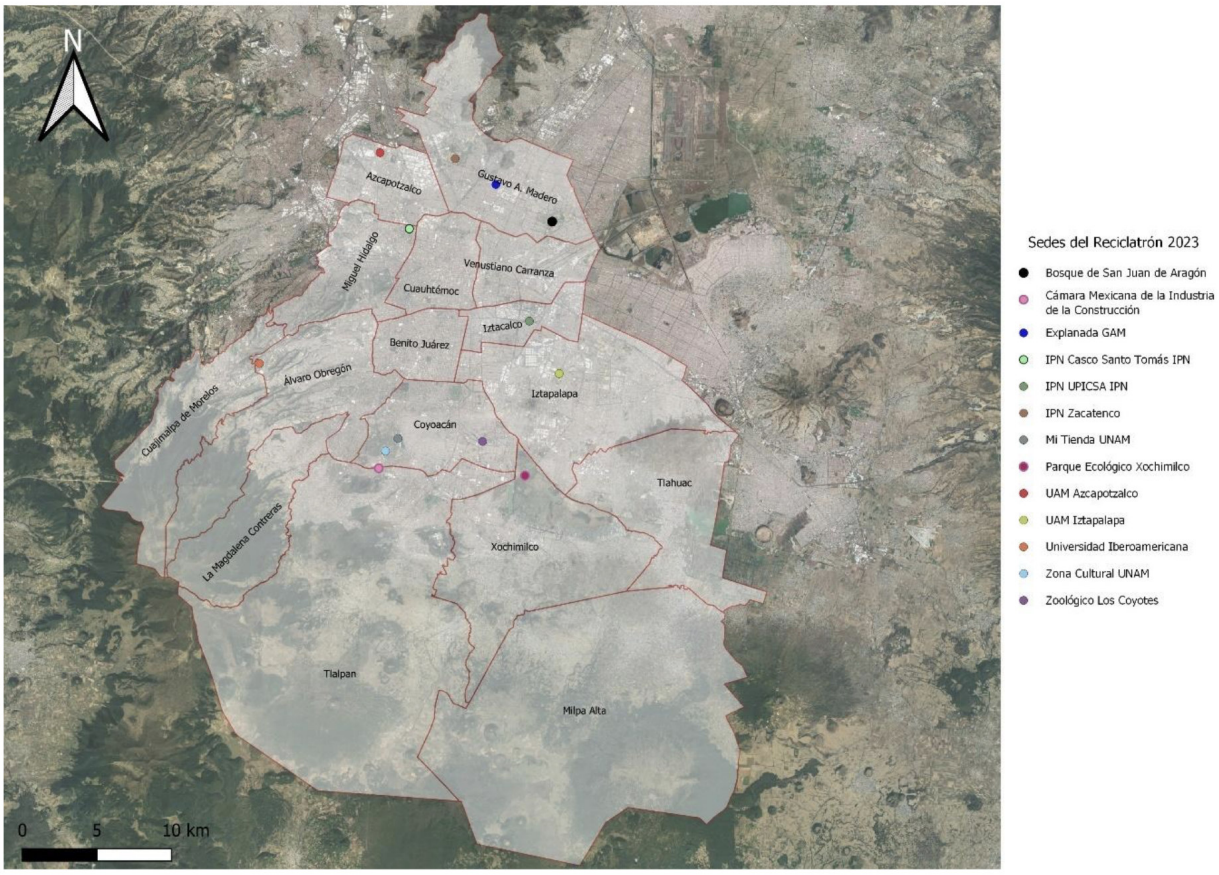


Figura 4: Localización de las sedes del Reciclatrón en la Ciudad de México. Elaboración propia a partir de la programación publicada en la página web de SEDEMA (2022a).

Se realizó una nube de conceptos basada en las citas creadas en los documentos analizados. En la Figura 5, se aprecian los conceptos que más se repitieron, entre ellos se encuentran “gente”, “información”, “sedes”, “difusión”, “residuos” y “lugar”. La frecuencia de conceptos concuerda con la categorización realizada.

Posteriormente, se realizó un análisis de coocurrencia, definido como el número de veces en la que los códigos aparecen simultáneamente. Se representó a través de un diagrama de Sankey para medir la fuerza de relación entre códigos. Los dos códigos que tuvieron un mayor número de coocurrencias fueron “falta de difusión” y “mayor frecuencia”. En la figura 6a se muestran las relaciones existentes entre el código “falta de difusión” y el resto de los códigos. Los códigos con los que se encuentra más relacionado son “mayor frecuencia” (8), “mejorar información” (5) y “propuestas de comunicación” (5). En la figura 6b se muestra la coocurrencia del código “mayor frecuencia”, los códigos con mayor relación son: “falta de difusión” (8), “nuevas sedes” (7), “lejanía sedes” (6) y “beneficios del Reciclatrón” (5).



Figura 5: Nube de conceptos creada a partir de las citas creadas. Fuente: elaboración propia a partir de los comentarios realizados por los participantes del Reciclatrón mediante el software Atlas.Ti versión 23

Después del análisis de coocurrencia, el cálculo de frecuencias y la nube de conceptos se evidencia que los temas más importantes que fueron mencionados por las personas se centran en la comunicación y la logística del Reciclatrón. En este sentido, se sugiere que a la coordinación del Reciclatrón junto con los representantes de las sedes elaboren en conjunto una estrategia de comunicación que pueda dar respuesta a las inquietudes de los ciudadanos. Dentro de las propuestas de comunicación mencionadas por los participantes se incluyen los canales de televisión tanto de la UNAM como del IPN y el uso de redes sociales diferentes a Facebook, tales como Instagram y Tik Tok.

En lo que respecta a la logística del evento como organizar durante más veces al año las jornadas de acopio, apertura de nuevas sedes y la lejanía de las existente, diversos autores concuerdan que existe una relación positiva entre la accesibilidad y disponibilidad a la infraestructura para el acopio de residuos y la participación de las personas (Khan et al., 2019; Laeequddin et al., 2022; Mohamad et al., 2022; Tonglet et al., 2004).

La lejanía de las sedes influye en la disposición de las personas de acudir al evento, ya que se tiene identificado que la proximidad y la existencia de programas de recolección residencial aumentan la tasa de reciclaje de los RAEE (Saphores et al., 2006). Es decir, que entre más cercano se encuentre un punto de acopio se favorecerá la asistencia de las personas (Sidique et al., 2010; Zhang et al., 2019). Por lo tanto, para la apertura de nuevas sedes deberían considerarse áreas con alta densidad poblacional para garantizar su accesibilidad a las personas. Asimismo, la campaña de comunicación debe estar dirigida alrededor de las sedes.

Además de la estrategia de comunicación conjunta con los representantes de las sedes, con el fin de hacer accesible la información a las personas, sería importante pagar por la publicidad

en redes sociales enfocada en un radio cercano a la sede del evento. Por otro lado, la valoración y opinión positiva del programa por parte de los ciudadanos podría aprovecharse para invitar a otras personas a participar.

Otros temas que fueron mencionados y que pudieran estar contemplados en la organización y logística del Reciclatrón se relacionan con la implementación de jornadas de reciclaje en fines de semana y ampliación del horario de operación, hacer un mayor énfasis en el manejo que se le da a los residuos después del acopio, instalar puntos fijos de recolección de RAEE, explorar la posibilidad de recolección móvil para aparatos de gran volumen y dar a conocer opciones en dónde desechar lámparas y focos ahorradores.

4. Conclusiones

Las estrategias desarrolladas pueden fortalecer el funcionamiento del Reciclatrón al incorporar la opinión de los usuarios finales del programa. Según conocimiento de los autores, este trabajo es el primero que involucra la opinión de los participantes en el Reciclatrón por lo que constituye una aportación valiosa para el desarrollo de la investigación sobre los RAEE. Con la aplicación de las estrategias planteadas se podría contribuir al aumento en la cantidad de personas involucradas y RAEE recolectados en las campañas de acopio mensuales. En este sentido, estas estrategias podrían ser acompañadas por un acercamiento con los actores clave involucrados en el Reciclatrón como la coordinación del programa por parte de la SEDEMA, representantes de las sedes donde se realiza el evento y gestores de RAEE.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) mediante la beca de posgrado otorgada a la primera autora, vinculada a la tesis de maestría “Análisis del comportamiento de los generadores de RAEE en el Reciclatrón”. El presente trabajo se desarrolló en el marco del proyecto SIP 20141419 "Las cuestiones de género en las organizaciones”.

Referencias bibliográficas

[1] Aguilar, L. F. (2006). *Gobernanza y gestión pública*. Fondo de Cultura Económica.

[2] Baldé, C., Kuehr, R., Yamamoto, T., McDonald, R., D’Angelo, E., Althaf, S., Bel, G., Deubzer, O., Fernandez-Cubillo, E., Forti, V., Herat, S., Honda, S., Iattoni, G., Khetriwal, D., Luda di Cortemiglia, V., Lobuntsova, Y., Nnorom, I., Pralat, N., & Wagner, M. (2024). *Global E-waste Monitor 2024*. International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).

[3] Chen, X., & Valdmanis, V. (2019). The content analysis of Chinese media report on the issue of waste incineration power plants. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 30(2), 456-466.

[4] Cohen, N., & Seid, G. (2019). Producción y análisis de datos cualitativos. En Cohen, N., & Gómez (Eds.), *Metodología de la investigación ¿para qué?: La producción de los datos y los diseños* (pp. 203-237). Teseo.

[5] Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. United Nations University (UNU), United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), International Telecommunication Union (ITU), International Solid Waste Association (ISWA).

[6] Galván, Y., & Baños, M. R. (2022). Prevención de residuos y gestión integral de residuos sólidos: Análisis en una alcaldía de la Ciudad de México. *Observatorio Medioambiental*, 25, 153-178.

[7] He, Z., Chu, Z., Zhao, M., Zhuang, J., & Liu, F. (2018). Policy-making coordination of municipal solid waste policies in China: a content analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20, 1073-1084.

[8] Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V.

[9] International Association for Public Participation (IAPP). (2018). *Core Values Ethics Spectrum – The 3 Pillars of Public Participation*. https://www.iap2.org/page/pillars

[10] Khan, F., Ahmed, W., & Najmi, A. (2019). Understanding consumers' behavior intentions towards dealing with plastic waste: Perspective of a developing country. *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 49–58. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.020

[11] Khosravani, F., Abbasi, E., Choobchian, S., & Jalili Ghazizade, M. (2023). A comprehensive study on criteria of sustainable urban waste management system: using content analysis. *Scientific Reports*, 13(1), 22526.

[12] Kumar, A. (2019). Exploring young adults' e-waste recycling behaviour using an extended theory of planned behaviour model: A cross-cultural study. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 378–389. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.013

[13] Laeequddin, M., Abdul, W. K., Sahay, V., & Tiwari, A. K. (2022). Factors that influence the safe disposal behavior of e-waste by electronics consumers. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). https://doi.org/10.3390/su14094981

[14] Ley General Para La Prevención y Gestión Integral de Los Residuos (LGPGIR). (2003). Diario Oficial de la Federación. Última reforma 08/05/2023.

[15] Mohamad, N. S., Thoo, A. C., & Huam, H. T. (2022). The determinants of consumers' e-waste recycling behavior through the lens of extended theory of planned behavior. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). https://doi.org/10.3390/su14159031

[16] Olatayo, K. I., Mativenga, P. T., & Marnewick, A. L. (2022). Does policy on plastic waste support higher waste management hierarchy options?. *Recycling*, 7(3), 36.

[17] Omondi, E. A., Ndiba, P., & Koech, G. (2022). Complexity of e-waste and its management challenges in developing countries – A review. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 31(2). https://doi.org/10.19080/ijesnr.2022.31.556309

[18] Rajesh, R., Kanakadhurga, D., & Prabaharan, N. (2022). Electronic waste: A critical assessment on the unimaginable growing pollutant, legislations, and environmental impacts. *Environmental Challenges*, 7. https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100507

[19] Ranjbari, M., Saidani, M., Esfandabadi, Z. S., Peng, W., Lam, S. S., Aghbashlo, M., ... & Tabatabaei, M. (2021). Two decades of research on waste management in the circular economy: Insights from bibliometric text mining and content analyses. *Journal of Cleaner Production*, 314, 128009.

[20] Salinas, P. (2009). Procedimientos de recolección y producción de información en la investigación social. En P. Salinas & M. Cárdenas (Eds.), *Métodos de investigación social* (2da ed., pp. 365–446). Intiyan.

[21] Saphores, J. D. M., Nixon, H., Ogunseitan, O. A., & Shapiro, A. A. (2006). Household willingness to recycle electronic waste: An application to California. *Environment and Behavior*, 38(2), 183–208. https://doi.org/10.1177/0013916505279045

[22] Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO). (2022). Principales Resultados del Censo Población y Vivienda 2020. https://www.sedeco.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/resultados-del-censo-pob-y-viv-2020-1.pdf

[23] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2022a). *Reciclatrón*. https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/reciclatron

[24] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2022b). *Reciclatrón. Tabla de resultados*. http://data.sedema.cdmx.gob.mx/reciclatron/resultados.html#.ZAFUR_MK3B

[25] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017). *Inventario de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en México*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México.

[26] Sidique, S. F., Lupi, F., & Joshi, S. V. (2010). The effects of behavior and attitudes on drop-off recycling activities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(3), 163–170. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.07.012

[27] Thukral, S., Shree, D., & Singhal, S. (2022). Consumer behaviour towards storage, disposal and recycling of e-waste: systematic review and future research prospects. *Benchmarking: An International Journal*, ahead-of-print(ahead-of-print). https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2021-0774

[28] Tonglet, M., Phillips, P. S., & Read, A. D. (2004). Using the theory of planned behaviour to investigate the determinants of recycling behaviour: A case study from Brixworth, UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(3), 191–214. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2003.11.001

[29] Zhang, B., Du, Z., Wang, B., & Wang, Z. (2019). Motivation and challenges for e-commerce in e-waste recycling under "Big data" context: A perspective from household willingness in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 436–444. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.001

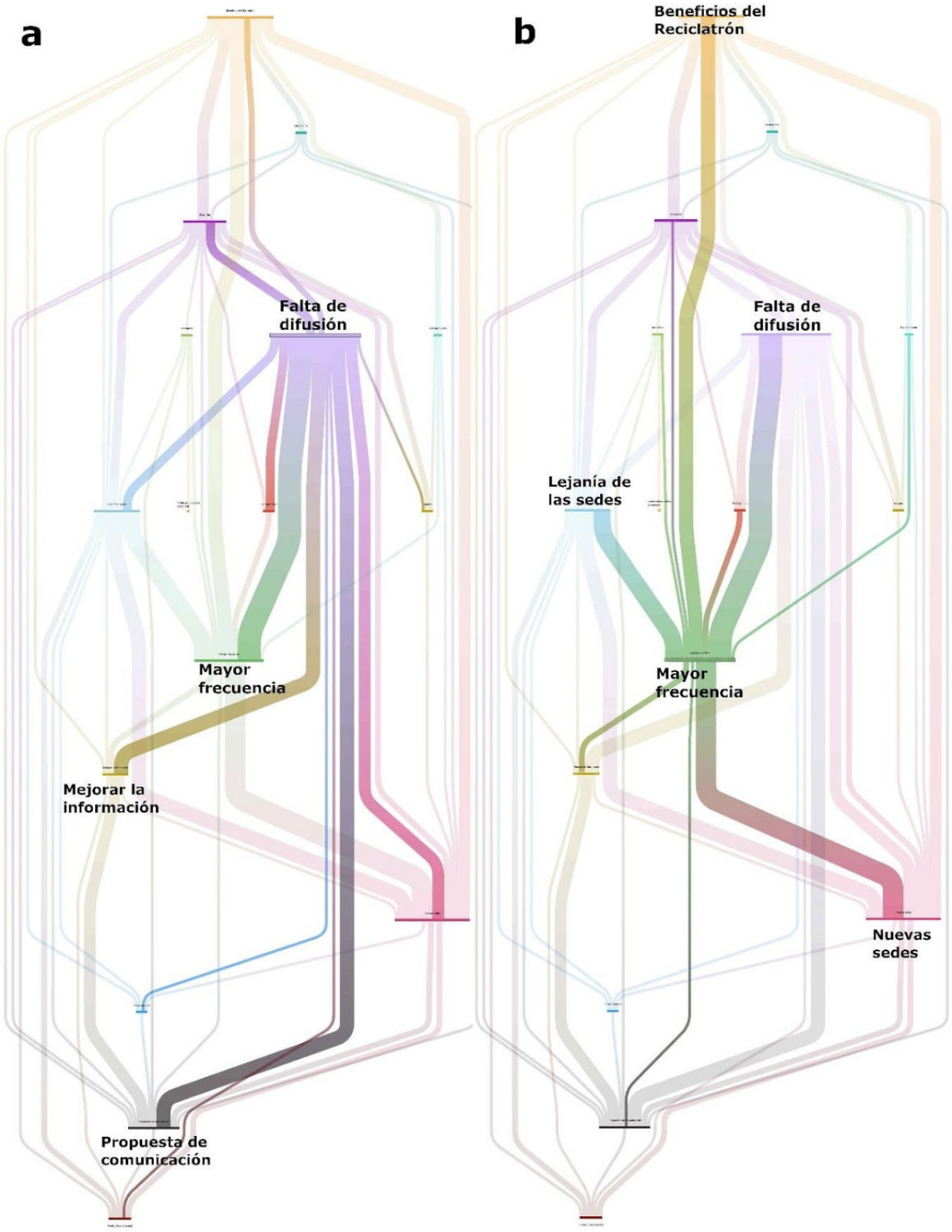


Figura 6: Representación gráfica del análisis de coocurrencia a través de un diagrama de Sankey, a) se muestra el código "Falta de difusión" y en b) se muestra el código "Mayor frecuencia". Fuente: elaboración propia a partir de los comentarios realizados por los participantes del Reciclatrón mediante el software Atlas.Ti versión 23.

Parte VII

Tecnologías para el manejo de residuos sólidos

Análisis de ciclo de vida del tratamiento y disposición de los residuos sólidos urbanos en Valle de Bravo México

Eloy Mondragón-Zarza[1], María del Consuelo Hernández-Berriel[1*], Sylvie Turpin-Marion[2], Elena Regla Rosa-Domínguez[3], María del Carmen Carreño-de-León[1]

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México, México, C.P. 52149. Tel. (52) 722 087 00 ext. 3630.

[2]Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, 02200, Ciudad de México, México.

[3]Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Carretera a Camajuaní Km. 5 y 1/2, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

[*]Correo electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

Resumen

La disposición directa de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México, ha contribuido con emisiones al aire, agua y suelo, desconociendo que al emplear otras opciones de tratamiento de residuos estas se podrían mitigar. El objetivo de este trabajo fue determinar mediante el análisis de ciclo de vida, en cuál de los dos escenarios se producen los menores impactos: (E0) el 100% de los residuos son enviados al relleno sanitario y, (E1) el 45.5% de los residuos orgánicos se compostan y el resto se dispone en el relleno sanitario con una eficiencia de captura y quemado de biogás del 55%. Se tomó como caso de estudio el municipio de Valle de Bravo, Estado de México, estableciendo 1.0 t de residuos como unidad funcional, se utilizó el software SimaPro con la metodología ReCiPe, considerando cuatro categorías de punto medio. Los resultados mostraron que el E1 condujo a la reducción de los impactos respecto al E0 para el calentamiento global (118.85 kg CO_2eq/tRSU), eutrofización (1.15 kg P eq/tRSU), y toxicidad humana cancerígena (6.92 kg 1,4 Diclorobenceno/ tRSU), debido a la utilización de la composta como sustituto de fertilizantes sintéticos, mientras que la acidificación incrementó (0.32 kg SO_2eq tRSU). El análisis de ciclo de vida permitió tener una visión holística de los impactos al ambiente y a la salud. Con la implementación de la separación de los residuos orgánicos en la fuente, se mitigaron los impactos, además de transitar de un modelo de producción-consumo lineal hacia uno circular.

Palabras clave: *análisis del ciclo de vida*, *composta*, *impactos*, *fracción orgánica*, *relleno sanitario*

1. Introducción

A nivel mundial, la inadecuada gestión de los residuos, así como su limitada separación y aprovechamiento, ha provocado impactos negativos al medio ambiente. La Comisión para la Cooperación Ambiental publicó que de 265 millones de toneladas de residuos orgánicos que se generaron en Estados Unidos, Canadá y México, solo el 28 % se aprovechó para compostaje y digestión anaerobia, mientras que el 72 % se envió a disposición final (Correal y Rihm, 2022). Según algunas estimaciones, el sector residuos representa el 11 % de las emisiones globales de metano antropogénico y el 5 % de las emisiones globales de carbono negro. En términos de su incidencia en el cambio climático, estas emisiones equivalen a aproximadamente el 2 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial (Kaza et al., 2018).

En México, en 2019 la SEMARNAT informó que se generaron más de 44 millones de toneladas de residuos, donde las emisiones de residuos (residuos sólidos urbanos (RSU) y aguas residuales) crecieron a más de 54 mil GgCO2eq, representando casi el 7.4 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero del país. A nivel nacional, se está transitando de sitios controlados y no controlados hacia rellenos sanitarios (RESA), sin embargo, esta tecnología continúa siendo una fuente antropogénica importante en la generación GEI, así como también de emisiones al agua y suelo cuando no se opera correctamente (SEMARNAT, 2019).

En los últimos años, se ha prestado especial atención a la herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV), que evalúa los impactos ambientes de productos o servicios a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final. En México son escasos los estudios de ACV que evalúan el manejo y disposición de los residuos, tal es el caso de Aldana-Espitia et al. (2017), que evaluaron los impactos generados en un relleno sanitario con recuperación de energía. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar mediante el ACV, el escenario que genera los menores impactos al ambiente y la salud en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México.

2. Metodología

2.1. Caso de estudio

Actualmente en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México, se recolectan 257.66 t/día de RSU mezclados, cuya composición de orgánicos e inorgánicos es del 55 % y 45 %, respectivamente. Estos son dispuestos en el RESA municipal, que inició su apertura en 2017. El sitio cumple con los requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003, donde se lleva a cabo el quemado del biogás, así como la captación de lixiviado en una laguna impermeabilizada (SEMARNAT, 2020). En la se muestra la composición de los RSU en este municipio (SEMARNAT, 2020).

Tabla 1: Composición de los RSU en Valle de Bravo.

Tipo de residuo	Composición (%)
Comida	28.0
Poda (jardines)	17.0
Madera	0.5
Papel y Cartón	6.5
Caucho, Piel, Huesos y Paja	3.0
Textiles	3.0
Pañales (orgánico/inorgánico)	5.0
Metales	4.0
Construcción y Demolición	0.5
Vidrio y Cerámica	2.5
Plásticos	4.0
Otros Inorgánicos	26.0

Fuente: SEMARNAT, 2020

2.2. Metodología del análisis de ciclo de vida

De acuerdo con la norma ISO 14040, la metodología del ACV puede describirse mediante cuatro fases interrelacionadas: la definición del objetivo y el alcance, el inventario, la evaluación del impacto y la interpretación (ISO, 2006).

Definición del objetivo y alcance

El objetivo fue evaluar mediante el ACV en cuál de los dos escenarios de RSU, en cuál se producen los menores impactos al ambiente y a la salud en el municipio de Valle de Bravo, con el fin de proponer la mejor estrategia a las autoridades municipales.

Se estableció como unidad funcional el manejo de 1.0 t de RSU en Valle de Bravo. No se incluye la recolección y transporte de los RSU, así como también la infraestructura y las emisiones generadas por ésta. En la Figura 1, se presentan los límites del sistema para los dos escenarios evaluados, donde se incluyó el tratamiento de residuos orgánicos (compostaje) y la disposición en el RESA. Dado que se obtuvo composta como subproducto en el escenario 1, se consideró ampliar los límites del sistema, aplicando un enfoque de sustitución para las cargas ambientales evitadas por el uso de la composta como sustituto de fertilizante inorgánico (NPK, 15-15-15). A continuación se describen los escenarios evaluados:

Escenario 0 (E0): en la situación actual, el 100% de los RSU mezclados son dispuestos en el RESA, donde el biogás es quemado, y los lixiviados son captados en una laguna impermeabilizada (Figura 1a).

Escenario 1 (E1): se propone la separación en la fuente de los residuos de alimentos, jardinería y madera para su compostaje. El resto de los RSU son dispuestos en el RESA, con las mismas características de operación del E0 (Figura 1b).

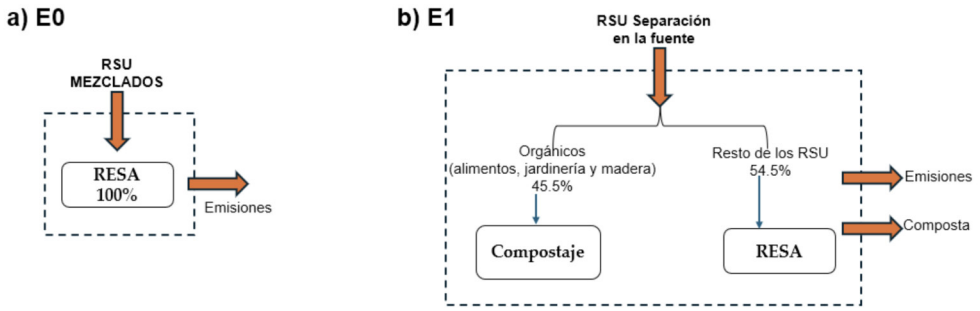


Figura 1: Límites del sistema del (a) escenario 0 (RESA) y (b) escenario 1 (compostaje y RESA)

Inventario de ciclo de vida

Los datos para el inventario del ciclo de vida se obtuvieron de informes y de la base de datos de Ecoinvent en el software SimaPro 9.3. Para el inventario del RESA, se estimó la generación de biogás mediante el Modelo Mexicano de Biogás 2.0 (Ludwig et al., 2009), considerando un tiempo horizonte de 100 años. El tiempo de operación del sitio fue de 30 años, se supuso una eficiencia de captura y quemado de biogás del 45 % y un 55 % de emisiones fugitivas a la atmósfera. Los compuestos presentes en el biogás y en los lixiviados, fueron tomados de la base de datos de Ecoinvent (Tabla 2). En el caso del inventario del compostaje, éste se tomó de la base datos de Ecoinvent (Tabla 3) y de la FAO, con el contenido de N: 15g/kg de composta, P: 10g/kg de composta y K: 10g/kg de composta (Román et al., 2013).

Tabla 2: Ejemplo del inventario de emisiones del RESA obtenido de Ecoinvent

Emisiones al aire		**Emisiones al agua**	
Compuesto	**kg/t RSU**	**Compuesto**	**kg/t RSU**
Arsénico	4.21E-07	Aluminio	1.24E+01
Bario	2.74E-06	Amonio	6.31E-01
Cadmio	9.30E-07	Arsénico	5.98E-04
Dióxido de carbono, biogénico	1.35E+02	Boro	2.34E-03
Monóxido de carbono, biogénico	7.63E-03	Bromo	1.18E-02
Cloruro de hidrógeno	1.79E-02	Cadmio	1.16E-02
Fluoruro de hidrógeno	5.82E-03	Cloruro	5.61E+00
Yodo	1.15E-07	Cromo VI	1.44E-03
Hierro	7.77E-06	Cobalto	1.28E-03
Plomo	5.62E-08	Cobre	1.21E+00

Continúa en la siguiente página

Tabla 2: Ejemplo del inventario de emisiones del RESA obtenido de Ecoinvent (*continuación*)

Emisiones al aire		**Emisiones al agua**	
Compuesto	**kg/t RSU**	**Compuesto**	**kg/t RSU**
Magnesio	1.02E-04	Hierro	2.13E+00
Sulfuro de hidrógeno	7.48E-02	Plomo	5.02E-01
Metano, biogénico	25.62(E0) / 9.6(E1)	Magnesio	3.01E+00
Molibdeno	1.41E-08	Manganeso	2.50E-01
Níquel	9.60E-08	Mercurio	1.44E-03
Óxido de nitrógeno	4.07E-04	Molibdeno	7.73E-04
NMVOC (compuestos orgánicos volátiles distintos del metano)	1.51E-04	Fosfato	1.93E-02
Partículas, <2.5 µm	2.68E-03	Estaño	7.34E-02
Dióxido de azufre	2.74E-02	Vanadio	2.65E-03

Fuente: Ecoinvent, 2022

Tabla 3: . Ejemplo del inventario de emisiones del compostaje obtenido de Ecoinvent

Emisiones al aire	
Compuesto	**kg/t RSU**
Amoníaco	0.7
Dióxido de carbono, biogénico	220
Monóxido de dinitrógeno	0.025
Sulfuro de hidrógeno	0.526
Metano, biogénico	1

Fuente: Ecoinvent, 2022

Evaluación del impacto de ciclo de vida

A través del método ReCiPe en SimaPro 9.3 (PRé, 2020), se evaluaron cuatro categorías de impacto en el punto medio: calentamiento global, acidificación, eutrofización y toxicidad humana cancerígena, que son los de mayor interés para las autoridades municipales.

3. Resultados y discusión

Con base en los resultados obtenidos en la Figura 2, se encontró que el E1 tuvo los menores impactos, además de emisiones evitadas, mientras que el E0 mostró mayores afectaciones en las categorías evaluadas, para las que a continuación se presenta un análisis de las cuatro categorías consideradas.

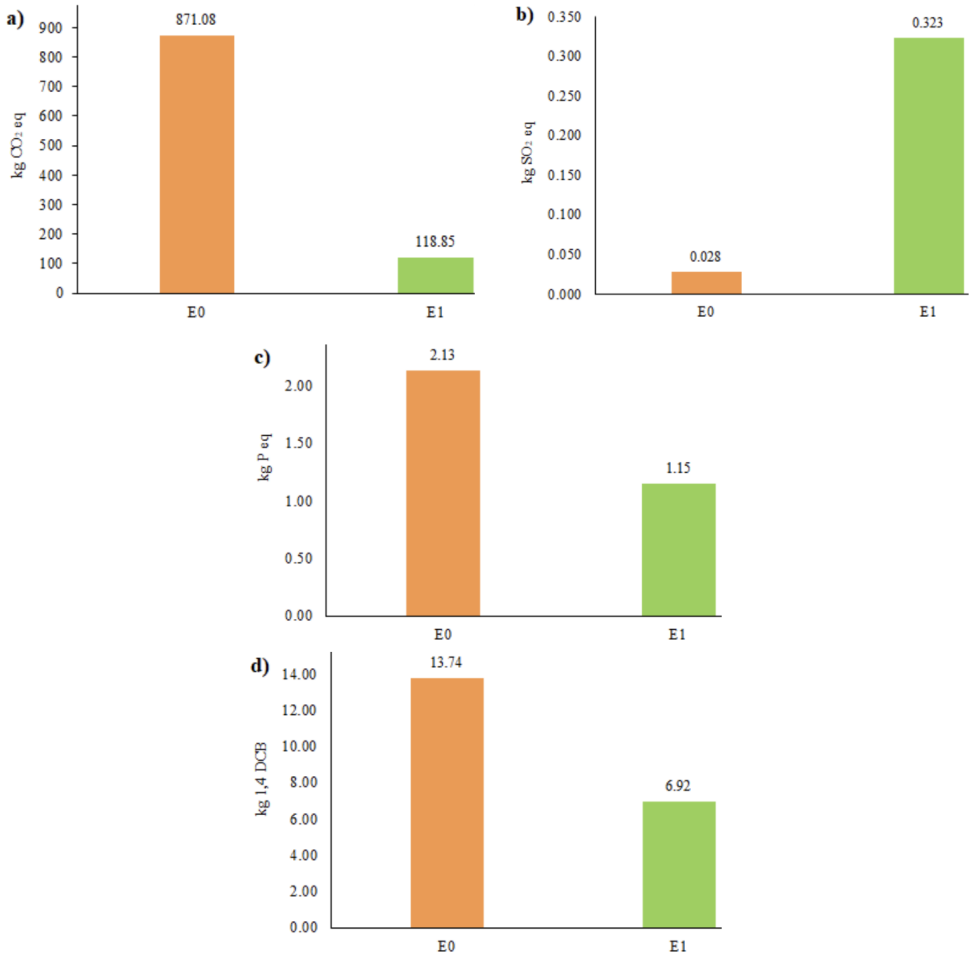


Figura 2: Categorías de impacto evaluadas: a) Calentamiento global, b) Acidificación, c) Eutrofización y d) Toxicidad cancerígena humana.

3.1. Calentamiento global

En el calentamiento global evaluado en kg de CO2 eq (Figura. 2a), el E0 tuvo el mayor impacto, debido a las emisiones fugitivas de CH4 (25.62 kg CH4/t RSU) a la atmósfera, las cuales fueron el principal contribuyente del calentamiento global (Ziegler-Rodríguez et al., 2019; Caicedo-Concha et al., 2021).

En el caso del E1, el aprovechamiento de los residuos orgánicos mediante el compostaje generó un beneficio ambiental, ya que con la utilización de la composta como sustituto de fertilizantes sintéticos, se evitó la producción de estos disminuyendo la generación de GEI. Asimismo, en el RESA se dispuso una baja cantidad de residuos orgánicos, el cual tuvo una menor aportación de emisiones de CH4 (9.6 kg CH4/t RSU).

3.2. Acidificación

En la acidificación medida en términos de *kg de* SO_2 *eq* (Figura. 2b), el E_0 generó el menor impacto en esta categoría, con emisiones de SO_2, NO_x, HCl, H_2S y NH_3 en el biogás, así como también de H_2S en los lixiviados (Rajcoomar y Ramjeawon, 2017).. Por otra parte, el E_1 tuvo una mayor contribución negativa, debido a que el compostaje emitió una mayor cantidad de N_2O, NH_3 y H_2S, en comparación del *RESA* (Zarea et al., 2019)..

3.3. Eutrofización

La eutrofización evaluada en *kg de P eq* (Figura. 2c), ocurrió en ambos escenarios por la infiltración de los lixiviados, principalmente por PO_4^{3-}, NH_3 y una alta carga de materia orgánica, debido a la ruptura de la geomembrana en el *RESA* después de un periodo de 100 años (Siddiqua et al., 2022; Maalouf y El-Fadel, 2019). Asimismo, el compostaje en el E_1 tuvo la aportación de emisiones de NH_3; no obstante, el impacto en este escenario se ve reducido, por el beneficio de utilizar composta como sustituto de fertilizante sintético, lo que evita en gran medida el vertido de aguas residuales que contienen PO_4^{3-} durante la producción de los fertilizantes sintéticos (Zarea et al., 2019; Yadav y Samadder, 2018).

3.4. Toxicidad humana cancerígena

La Toxicidad humana cancerígena medida en kg de 1,4-diclorobenceno (Figura. 2d), tuvo un mayor impacto en el E0, lo cual puede atribuirse a las emisiones difusas de biogás y compuestos traza del RESA, así como también a la presencia de metales pesados como: As, Cd, Cr VI, Ni y V en los lixiviados (Siddiqua et al., 2022; Rana et al., 2019). En el caso del E1, este impacto se redujo debido a una menor cantidad de biogás generado en el RESA y al uso de la composta, lo cual evita las emisiones de Cr VI, As, Ni y formaldehido generadas por la producción de fertilizantes sintéticos.

4. Conclusiones

Los mayores impactos ambientales se obtuvieron de la disposición del 100% los RSU mezclados en el E0, corroborando que esta opción es la menos adecuada en el municipio de Valle de Bravo.

El E1 fue la opción más benéfica, ya que con la separación de los RSU en la fuente y el aprovechamiento de la fracción orgánica para producir composta, se reducen los impactos ambientales y

se sustituye el uso de fertilizantes inorgánicos. Asimismo, solo se dispone el 54.5 % de RSU en el RESA.

El ACV permitió tener una visión holística de los impactos al ambiente y a la salud por el tratamiento y disposición de los residuos. Con la implementación de la separación de los residuos orgánicos en la fuente, se mitigan los impactos ambientales, además de transitar de un modelo de producción-consumo lineal hacia uno circular.

Referencias bibliográficas

[1] Caicedo-Concha, D. M., Sandoval-Cobo, J., Stringfellow, A., & Colmenares-Quintero, R. (2021). An evaluation of final disposal alternatives for municipal solid waste through life cycle assessment: A case of study in Colombia. *Cogent Engineering*, 8(1), 1-17. https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1956860

[2] Correal, M., & Rihm, A. (2022). Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Conceptos básicos, análisis de viabilidad y recomendaciones de políticas públicas (1ra ed.). Banco Interamericano de Desarrollo. http://dx.doi.org/10.18235/0003971

[3] Ecoinvent. (2022). Treatment of municipal solid waste sanitary landfill. Montreal, Canadá.

[4] ISO. (2006). *ISO 14040:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment–Principles and Framework*. Obtenido de International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es

[5] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Woerden, F. W. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 (1ra ed.). Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0

[6] Maalouf, A., & El-Fadel, M. (2019). Life cycle assessment for solid waste management in Lebanon: Economic implications of carbon credit. *Waste Management & Research*, 37, 14-26. https://doi.org/10.1177/0734242X18815951

[7] Ludwig, V., Stege, G. A., & Davila, J. L. (2009). Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0. Obtenido de SCS Engineers: https://www.globalmethane.org/documents/models/pdfs/manual_del_usuario_modelo_mexicano_de_biogas_v2_2009.pdf

[8] PRé. (2020). SimaPro database manual: Methods library. Obtenido de PRé Sustainability: https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/10/DatabaseManualMethods.pdf

[9] Rana, R., Ganguly, R., & Gupta, A. K. (2019). Life-cycle assessment of municipal solid-waste management strategies in Tricity region of India. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 606-623. https://doi.org/10.1007/s10163-018-00822-0

[10] Román, R., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor: Experiencias en América Latina* (1ra ed.). Santiago de Chile: FAO. ISBN: 978-92-5-307845-5

[11] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Recuperado el 25 de junio de 2024, de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html

[12] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. Recuperado el 20 de junio de 2024, de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf

[13] Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attiya, W. A. K. A. (2022). An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 58514–58536. https://doi.org/10.1007/s11356-022-21578-z

[14] Yadav, P., & Samadder, S. R. (2018). Environmental impact assessment of municipal solid waste management options using life cycle assessment: A case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 838-854. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0439-7

[15] Zarea, M. A., Moazed, H., Ahmadmoazzam, M., Malekghasemi, S., & Jaafarzadeh, N. (2019). Life cycle assessment for municipal solid waste management: a case study from Ahvaz, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(131), 1-13. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7273-y

Parte VIII

Educación medioambiental

Percepción de residuos sólidos en un centro educativo superior en periodo de pandemia

Allison Castro Flores[1], Rocío Vaca Paulin[1], Nadia de la Portilla López[1], Sara Ojeda Benítez[2], Jorge Lugo de la Fuente[1], Gustavo Yáñez Ocampo[1], Pedro del Águila Juárez[1*]

[1]Universidad Autónoma del Estado de México,
[2]Universidad Autónoma de Baja California.

[*]Correo electrónico: daguila@uaemex.mx

Resumen
La gestión inadecuada de los residuos sólidos conlleva a una producción descontrolada de bienes de consumo y a la sobreexplotación de los recursos naturales, situación exacerbada por el crecimiento poblacional. En un estudio llevado a cabo en una comunidad universitaria, en periodo de pandemia COVID-19 se propuso un programa integral para el manejo de los residuos sólidos. Para este propósito, se emplearon tanto un cuestionario como un taller. El cuestionario en línea fue administrado a 392 individuos, revelando un conocimiento limitado entre el personal administrativo de intendencia, en contraste con un mayor nivel de entendimiento entre los profesores y los estudiantes, con un 18.9% y un 62.5%, respectivamente. Además, se observó que los estudiantes demostraron una mejor capacidad para clasificar los residuos sólidos. Con el fin de abordar esta disparidad, se llevaron a cabo charlas y talleres destinados a promover la importancia de la Basura Cero y a enseñar métodos adecuados de separación de residuos. De esta manera, el estudio se enfocó en explorar métodos de recuperación de residuos alineados con el programa de Basura Cero, generando beneficios tanto ambientales como educativos en el campus universitario.

Palabras clave: *basura cero*, *reciclar*, *reducir*, *residuo descartable*, *reutilización.*

1. Introducción

La crisis ambiental generada por el manejo inapropiado de los residuos sólidos (RS) resulta en la producción desmedida de bienes de consumo a escala masiva, desbordando los límites de una lógica consumista y conduciendo a una sobreexplotación de los recursos naturales. Este fenómeno va de la mano con un crecimiento exponencial de la población a nivel global (Acuña, 2020; Ghaedrahmati et al., 2023). En consecuencia, la economía actual se sustenta en el uso indiscriminado de estos recursos, lo que se traduce en un manejo deficiente de los RS. Estos, a su vez, han ocasionado un deterioro significativo en los ecosistemas al contaminar el suelo, el agua y el aire, con consecuencias adversas para la salud humana (Sharma et al., 2021; Amoah et al., 2023; Ayerelu et al., 2023). En América Latina, la generación diaria de RS por habitante alcanza aproximadamente un kilogramo. Este volumen abarca diversos materiales como plástico, vidrio, papel, cartón,

aluminio y residuos orgánicos, los cuales son recolectados y preparados para su almacenamiento y posterior envío a instalaciones de disposición final adecuadas, donde pueden ser tratados y potencialmente reciclados (Hannan et al., 2020). En los espacios educativos, se observa la proliferación de productos obtenidos mediante la reutilización de RS que han sido descartados. Incluso, algunos obtienen beneficios económicos al vender estos productos, a pesar de que no presentan características aprovechables (García, 2017). El campus universitario se considera una ciudad en sí mismo, ya que cuenta con amplias áreas, una alta densidad poblacional y una gran diversidad de actividades administrativas, académicas, domésticas y científicas. Por esta razón, es necesario implementar políticas de sustentabilidad que incluyan programas de gestión de RS, en los cuales los estudiantes y la comunidad participen activamente. Un ejemplo de esto se encuentra en instituciones de Norteamérica, como Harvard, Kansas, Cornell, Alberta y Chicago, donde los estudiantes denominan a sus espacios como çampus verdes"debido a las acciones que se llevan a cabo en ellos (Bahcelioglu et al., 2020). En México, específicamente en la Universidad Autónoma Metropolitana de Azcapotzalco, se llevan a cabo actividades de reducción de RS mediante la clasificación de residuos de comercio y servicio, como vidrio, botellas de plástico, Tetrapak y latas de aluminio. Esto se realiza con el objetivo de disminuir los costos de transporte hacia los sitios de confinamiento (Espinosa et al., 2007). Se reportan casos similares en espacios universitarios de Sudamérica, como en Brasil y Bolivia, donde los estudiantes participan en actividades de reducción y reciclaje de RS como parte de un programa de gestión de residuos (Ferronato et al., 2020). En el centro educativo objeto de estudio, las actividades se vieron interrumpidas debido a la pandemia de COVID-19 que comenzó en 2020. Ante el cierre total o parcial de las escuelas, fue necesario recurrir al apoyo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) para poder continuar con el diagnóstico, esto se menciona en los trabajos de Flores y López (2022). El concepto de Basura Cero (BC) se basa en los principios de rechazar y reducir, al tiempo que promueve la concienciación sobre el consumismo y la incorrecta disposición de los residuos. Esto implica cambiar los enfoques tradicionales por otros más amigables con el ambiente (Prieto-Sandoval et al., 2022). La BC representa una forma de pensar acerca del medio ambiente, por lo tanto, es necesario que todos los actores sociales, incluyendo instituciones educativas, gobierno, sociedad y sector productivo, se involucren en este enfoque (He et al., 2022; Safu y Owusu , 2023). Las propuestas de los Programas de Manejo Integral de Residuos Sólidos surgen como respuesta a la crisis ambiental causada por la acumulación de RS en las grandes urbes. Estos programas se diseñan con el objetivo de reducir los impactos negativos en el medio ambiente, abordando todas las etapas del manejo de los residuos. La primera etapa se centra en el manejo directo de los RS e incluye la generación, el tratamiento en su lugar de origen, el barrido, la recolección, la transferencia, el transporte, el tratamiento y la disposición final (Rodríguez y López, 2020; Ghaedrahmati et al., 2023). Los programas de gestión integral de RS también incluyen la realización de talleres de educación ambiental, los cuales promueven el pensamiento solidario y reflexivo sobre las acciones diarias que afectan el medio ambiente, con el objetivo de minimizar el deterioro ambiental (Solís y Valderrama, 2015), por lo que el objetivo de

este trabajo consistió en conocer acerca de la comprensión adecuada de los conceptos de RS y BC, para desarrollar una propuesta de programa de manejo de RS.

2. Material y Métodos

2.1. Sitio de Estudio

El estudio se llevó a cabo de manera virtual con la participación de estudiantes, profesores, personal administrativo y personal de intendencia. Además, la plática-taller se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ciencias del municipio de Toluca, Estado de México, en el campus universitario El Cerrillo Piedras Blancas. La ubicación geográfica del campus es en latitud 19° 24' 36"N y longitud 99° 41' 21"W, y tiene una superficie de 30.868 hectáreas.

2.2. Determinación del tamaño de muestra para cada sector educativo

Con base en las Ecuaciones 1 y 2, se determinó el tamaño de muestra para cada sector: estudiantil, académico, administrativo y de intendencia (Tabla 1).

$$N_0 = Z^2 \frac{(p)(q)}{e^2} \tag{1}$$

donde Z^2 factor probabilístico = 1.96; p y q: la probabilidad de un éxito y un fracaso = 0.5; e^2 error máximo tolerable = 0.05. Posteriormente, se aplica la segunda fórmula Ecuación 2:

$$N' = \frac{N_0}{1 + \frac{N_0 - 1}{N}} \tag{2}$$

donde N' es la ajustada para determinar el número de cuestionarios a aplicar; N_0 es el número total para cada grupo; y N representa al número total de la población. En la Tabla 1 se muestra el tamaño de muestra de los participantes en el estudio.

Tabla 1: Tamaños de muestra de cada sector para la aplicación del cuestionario

Sector	N total	Tamaño de muestra
Estudiantes	1314	297*
Académicos	77	64*
Administrativos	30	27*
Intendencia	5	4*
Total	1420	392

* nivel de significancia del 95%.

En la Tabla 2 se muestran los Ítems que respondieron a las preguntas del cuestionario.

Tabla 2: Ítems utilizados en el cuestionario

Ítem	Categoría del personal
1. Evaluar el nivel de conocimiento sobre BC y RS en los cuatro sectores participantes del espacio universitario.	Estudiante Académico Administrativo Intendencia
2. Determinar los tipos de RS generados en el campus universitario	Estudiante Académico Administrativo Intendencia
3. Determinar los tipos de clasificación de RS que predominan en los cuatro sectores participantes	Estudiante Académico Administrativo Intendencia

Fuente: Elaboración propia

2.3. Características del cuestionario

La recopilación de datos se realizó utilizando las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), debido a la pandemia de COVID-19. El método de investigación utilizado fue descriptivo, y se aplicaron cuestionarios a través de la plataforma Google Forms.

Se validaron los ítems del cuestionario tipo Likert y se obtuvo un valor de alfa de Cronbach de 0.7532, lo cual indica una fiabilidad muy buena según lo reportado por Alcaraz y colaboradores (2006).

2.4. Taller-plática denominada “Desarrollo Sustentable para el sector estudiantil

Se diseñó una plática-taller con el objetivo de concientizar a los alumnos de todos los niveles sobre las problemáticas ambientales asociadas al consumo irresponsable y la falta de programas de manejo integral de residuos en el espacio educativo. Durante la plática-taller, se llevó a cabo una serie de actividades dirigidas a fomentar la participación de los estudiantes en acciones de sensibilización y educación ambiental.

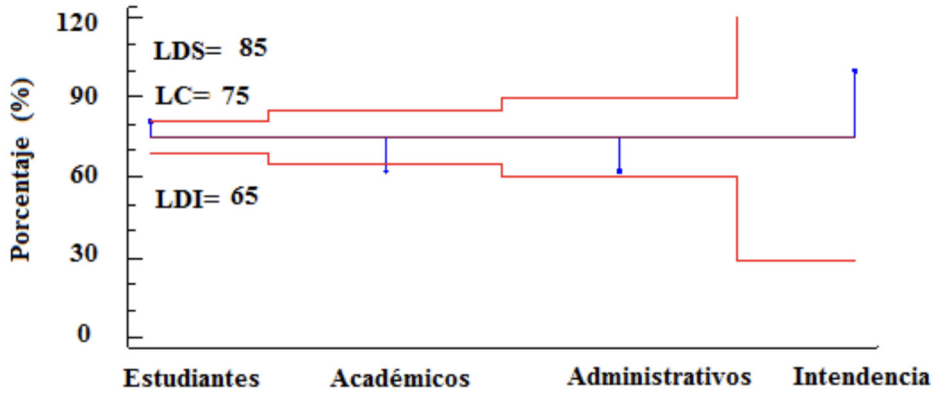


Figura 1: Respuesta afirmativa (Sí) relacionada con el conocimiento sobre el término "Basura Cero". LDS=Límite de decisión superior, LC= Límite central, LDI= Límite de decisión inferior.

2.5. Análisis de los datos

Para analizar el cuestionario tipo Likert, se procedió a recopilar y organizar los datos mediante estadística descriptiva, utilizando distribuciones de frecuencias y representándolos en gráficos de barras. Además, se aplicó la prueba de Chi-cuadrado para comparar las respuestas de cada sector: académico, estudiantil, administrativo y de intendencia, con un nivel de significancia del 95%.

3. Resultados y discusión

Los resultados de los cuestionarios se obtuvieron de 4 grupos de participantes, que incluyeron: 1) estudiantes de las cuatro licenciaturas, 2) personal docente, 3) personal administrativo y 4) personal de intendencia. En total, se aplicaron 392 cuestionarios para los 4 sectores participantes.

En primer lugar, se les preguntó a los participantes si estaban familiarizados con el término *"Basura Cero"* con el fin de identificar qué sectores tenían menos conocimiento al respecto y nivelar el conocimiento durante las pláticas del taller impartido (ver Figura 1). Los resultados de esta pregunta mostraron diferencias significativas ($\chi^2(2, N = 361) = 11{,}7, p \leq 0{,}0028$) entre los estudiantes y los académicos en términos de conocimiento del concepto de *BC*, siendo los académicos los que respondieron afirmativamente en mayor proporción (62.5%) en comparación con los estudiantes (18.9%). Algunos administrativos también respondieron afirmativamente, mientras que el personal de intendencia desconocía el concepto. Estos participantes pueden actuar como portavoces en cada una de las aulas del espacio educativo para promover constantemente un cambio en la actitud y conciencia de los jóvenes, con el objetivo de lograr un espacio más limpio y ordenado. Aunque en algunos casos existe una noción de la separación y aprovechamiento de los residuos sólidos, hasta ahora su implementación ha sido ineficiente. Esto se refleja en las respuestas obtenidas en los cuestionarios, que muestran una mayor desinformación sobre las prácticas, incluyendo el significado de *Basura Cero (BC)*, lo cual concuerda con un estudio en su similitud de Miranda

(2019), quien también encontró que un gran número de alumnos no tiene claridad sobre el objetivo de *BC* y muestra poco o ningún interés en conocerlo. La aplicación de un programa orientado hacia *Basura Cero* puede contribuir a este objetivo. Estos hallazgos están respaldados por estudios como el de Dong y colaboradores (2022), que mencionan que un programa de *BC* puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al promover la reutilización y el reciclaje de residuos sólidos en centros educativos. En estudios sobre percepción, Zhang y colaboradores (2017) mencionan que los estudiantes participan en programas de manejo de residuos cuando hay una autoridad responsable del programa. Por otro lado, Awashi y colaboradores (2021) comentan que el concepto de *BC* es una forma efectiva de abordar los problemas relacionados con los residuos sólidos. Para lograr esto, es necesario que los estudiantes aprendan a reconocer la cadena de suministro de un producto y los pasos de entrada y salida que se dan cuando es consumido dentro del espacio académico.

El conocimiento sobre el concepto de residuo sólido fue similar entre estudiantes, académicos, administrativos y personal de intendencia, y no se encontraron diferencias significativas (ver Figura 2). En cuanto al conocimiento sobre el concepto de residuo", un 79.5% de los encuestados están familiarizados con el término y comprenden su correcto manejo. Este porcentaje de participantes reconocen que los residuos pueden ser reintegrados al ciclo, conservando su valor y siendo aprovechados por el mismo consumidor u otros. Autores como Ugwu y colaboradores (2020) y Ayerelu y colaboradores (2023) mencionan que los residuos son objetos, materiales o sustancias que han sido descartados, pero que tienen el potencial de ser transformados o revalorizados para su aprovechamiento. También se observa que el 8.2% de los participantes no considera que un residuo pueda ser revalorado, lo que indica la necesidad de modificar su visión para promover una mayor conciencia ambiental sobre el tema. En este sentido, Desa y colaboradores (2012) mencionan que la actitud ambiental y el comportamiento de las personas se ven influenciados por su conocimiento, conciencia, las influencias externas y su sentido de responsabilidad. Por lo tanto, es importante abordar los residuos sólidos en el aula, ya que son indicadores del impacto ambiental, siguiendo la Agenda 2030 adoptada por la ONU para promover un desarrollo sostenible del planeta, como señalan los estudios de Ma y colaboradores (2023).

En cuanto a la forma de clasificar los residuos, se les preguntó a los estudiantes (ver Figura 3), y se encontraron diferencias significativas ($\chi^2_{(2,N=361)} = 17{,}9$, $\rho \leq 0{,}0001$) en comparación con los otros sectores participantes. La mayoría de los estudiantes optaron por clasificar los residuos de acuerdo a su origen, representando un 49% de las respuestas, seguido por la clasificación por origen orgánico e inorgánico con un 28.9%, y la clasificación por aprovechamiento con un 21.8%. En el caso de los académicos, respondieron de manera similar para las tres opciones de clasificación. En cuanto a los administrativos, se observó una tendencia hacia la clasificación por origen, al igual que en el caso del personal de intendencia.

Estudios, como el de Zand y colaboradores (2022) y Amoah y colaboradores (2023), indican que el 60% de los residentes desconocen la diferencia entre residuos biodegradables y no biodegradables, y solo el 2% separa los residuos sólidos de acuerdo con su origen. Por lo tanto, la

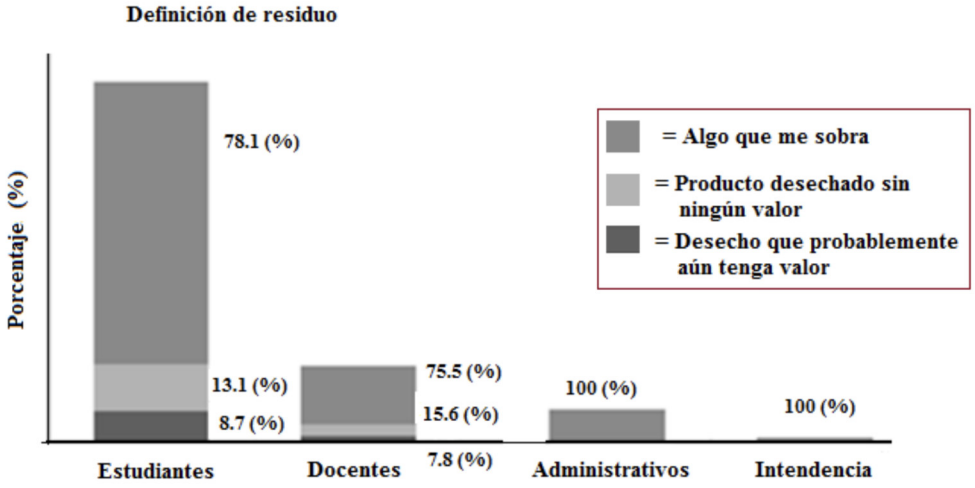


Figura 2: Porcentaje de la respuesta de la definición de residuo y su percepción por cada sector participante.

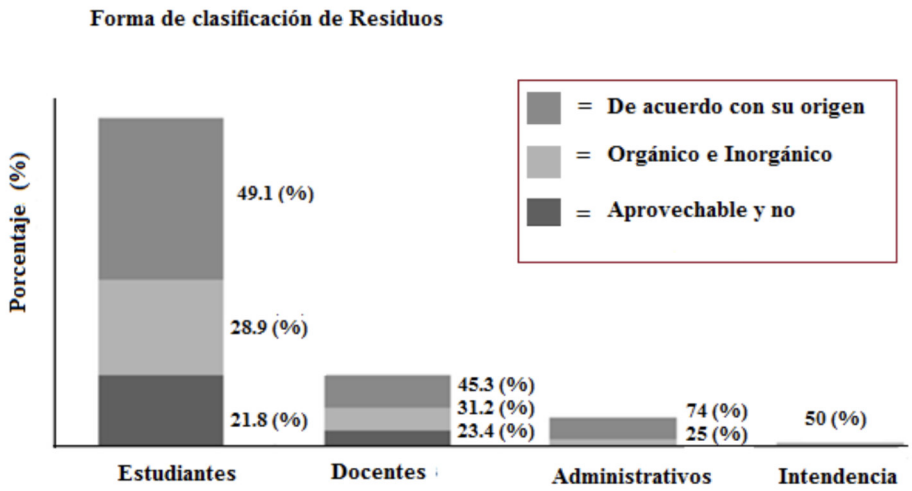


Figura 3: Porcentaje en la clasificación de residuos para cada sector en el espacio universitario.

clasificación, generación y gestión de los residuos sólidos deben ser consideradas y abordadas de manera seria desde múltiples perspectivas interrelacionadas, incluyendo aspectos regulatorios, ambientales, económicos, técnicos y sociales.

En el contexto de los espacios universitarios, es importante fomentar la práctica de la clasificación y el reciclaje de materiales recuperables para aprovechar recursos valiosos en los ciclos de producción y reducir la demanda y el consumo de materias primas en futuras fabricaciones, tal como señala Diggle et al. (2023). Un ejemplo de esto es el proyecto desarrollado por De la Rosa et al. (2015), el cual incluía jornadas de educación ambiental para informar adecuadamente a alumnos y otros miembros del espacio educativo sobre la separación y aprovechamiento de residuos sólidos. Este enfoque garantiza que todos los sectores tengan el mismo nivel de conocimiento para su implementación, evitando que alguien se sienta perdido. Además, se enfatiza la importancia de capacitaciones y adquisición continua de nuevos conocimientos para promover un cambio positivo en la gestión de residuos.

Se les preguntó a los participantes sobre los residuos más frecuentes en el espacio educativo (ver Figura 4). Entre los estudiantes, se encontraron diferencias significativas ($\chi^2_{(2,N=297)} = 119$, $\rho \leq 0{,}001$), y la mayoría de los residuos generados en el centro educativo fueron de tipo inorgánico, representando un 88.8 % de las respuestas. Los residuos orgánicos representaron un 9.2 %, y los residuos de tipo infeccioso un 2 %. Por otro lado, tanto el personal docente como el administrativo consideraron que se generan en igual proporción los tres tipos de residuos (orgánicos, e inorgánicos). En contraste, el personal de intendencia mencionó que solo se generan residuos orgánicos. La falta de conocimiento sobre la existencia de contenedores para el acopio de residuos sólidos por parte de la comunidad universitaria puede deberse a una falta de información o a la ausencia de dichos contenedores en el centro educativo. Estudios realizados por Zahng y colaboradores (2017) en universidades de Beijing, China, muestran que el 47 % de los estudiantes tiene un completo desconocimiento sobre el manejo de residuos sólidos en su centro educativo, lo que indica que esta problemática no es exclusiva de nuestra institución.

Autores como Zhang y colaboradores (2017) y Miranda (2019) indican que lo estudiantes donde se les aplico una encuesta sobre su generación y separación de residuos mostraron una respuesta de disposición en emprender programas de manejo de residuos, así también se debe de reforzar mediante campañas publicitarias en el interior del campus. Se requiere de una educación destinada a dotar a los estudiantes universitarios de conocimientos ambientales a equipar con conocimientos ambientales, evaluaciones de los componentes de sostenibilidad del campus, la integración de la sostenibilidad en el plan de estudios y la investigación, operaciones eficientes del campus, así como relaciones comunitarias y de divulgación que involucran la participación activa de todos los interesados en el programa de residuos sólidos (Shboul et al., 2023).

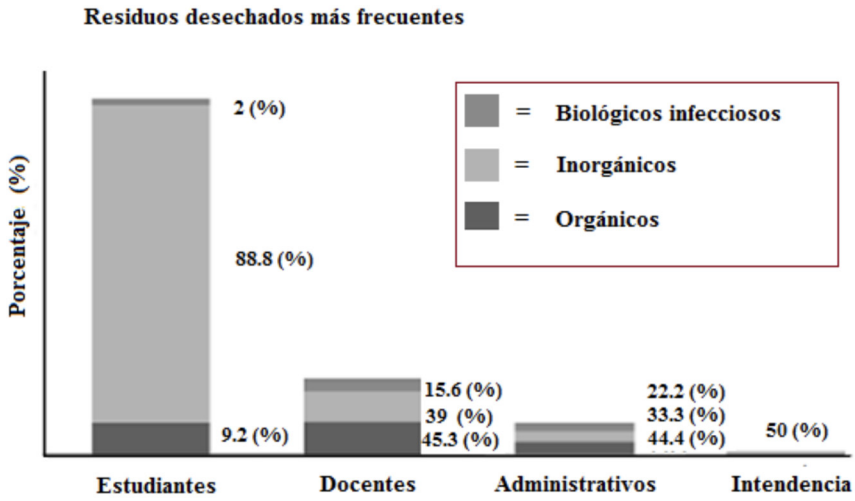


Figura 4: Percepción de los residuos desechados más frecuentes dentro del espacio educativo

3.1. Acotaciones de la actividad platica-taller para estudiantes

Se llevaron a cabo dos pláticas taller tituladas "Desarrollo Sustentable: Clasifica los Residuos Sólidos hacia una Basura Cero", una en marzo y otra en octubre de 2020, tanto de manera presencial como a distancia respectivamente (ver Figura 5). Los alumnos participaron activamente en la identificación y clasificación de los productos a su alcance, detallando el tipo de empaque, incluyendo el tipo de plástico cuando correspondía. Clasificaron los residuos en categorías como orgánico, plástico, aluminio, vidrio, papel y cartón, y propusieron estrategias para reducir los desechos en el entorno universitario.

Durante el taller, se abordaron diversos temas, incluyendo la línea histórica sobre la sustentabilidad a nivel mundial, la problemática de los plásticos y estrategias para eliminarlos lo cual concuerda con experiencias similares realizadas por Amoah y colaboradores (2023). Específicamente, esta plática tuvo como objetivo concientizar a los alumnos sobre la importancia de dejar de consumir cosas innecesarias una vez que se retomen las actividades normales dentro de las aulas. Se buscó crear una conciencia sobre el consumo responsable y promover la reducción de residuos en el entorno educativo. Estas actividades incluyeron el acopio de PET, la separación y venta por tipo de residuo, campañas de limpieza, el préstamo de vasos y platos para evitar artículos desechables, y pláticas de conciencia ambiental, entre otras. El 70.81 % de los mencionaron que también realizan actividades hacia el objetivo de “Basura Cero” en su vida diaria. Al sector estudiantil se les preguntó si estarían dispuestos a colaborar de forma conjunta en un Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos para la Facultad de Ciencias de la UAEMéx, y se obtuvieron 645 respuestas positivas



Figura 5: Taller de Desarrollo sustentable: Clasifica los residuos sólidos hacia una Basura Cero.

3.2. Propuesta de Programa de gestión de Residuos Sólidos para el espacio educativo

Esta pospuesta brinda la oportunidad de participación y capacitación a través de talleres y actividades para alumnos, académicos, personal administrativo y personal de intendencia, con el objetivo de involucrarlos en un programa de gestión de RS con enfoque en BC en el centro educativo. Es importante destacar que este tipo de actividades actualmente se llevan a cabo principalmente en áreas urbanas y a nivel municipal, como mencionan Amoah y colaboradores (2023). Este estudio concluye con una propuesta para el Programa de Gestión de Residuos Sólidos con un enfoque sustentable, cuyo éxito depende de la participación activa de la dirección, la administración y una colaboración interdisciplinaria entre los sectores estudiantiles y académicos involucrados (ver Figura 6).

4. Conclusiones

La gestión de residuos sólidos es deficiente en la institución académica, confirmando la falta de conocimiento sobre un programa adecuado. Aunque los estudiantes de nuevo ingreso muestran mayor conciencia, es crucial implementar nuevas estrategias ambientales en el entorno académico. Las sesiones de plática-taller generaron colaboración e interés entre los alumnos, evidenciando su disposición para participar en mejoras. Surgieron propuestas para reducir el uso de produc-



Figura 6: Etapas del programa de Gestión de Residuos Sólidos: E= etapa del programa.

tos de corta vida útil y reemplazar los de plástico con alternativas reutilizables. Esta conciencia y participación activa son esenciales para mejorar la gestión de residuos sólidos. Es importante fomentar de manera adecuada un programa de manejo de residuos en la Facultad de Ciencias

Referencias bibliográficas

[1] Acuña, M. K. J. (2020). *Manejo de residuos sólidos en contextos educativos: Una perspectiva desde la Investigación Acción Participativa-IAP* [Tesis doctoral, Corporación Universidad de la Costa].

[2] Amoah, J. O., Britwum, A. O., Essaw, D. W., & Mensah, J. (2023). Solid waste management and gender dynamics: Evidence from rural Ghana. *Research in Globalization*, 6, 100111. https://doi.org/10.1016/j.resglo.2023.100111

[3] Alcaraz, F. G., Espín, A. A., Martínez, A. H., & Alarcón, M. M. (2006). Diseño de Cuestionarios para la recogida de información: metodología y limitaciones. *Revista clínica de medicina de familia*, 1(5), 232-236. ISSN: 1699-695X.

[4] Ayerelu, O. O., Fewster-Young, N., Gbashi, S., Akintola, A. T., Ramatsa, M. I., & Olubambi, P. A. (2023). A statistical analysis of recycling attitudes and behaviours towards municipal solid

waste management: A case study of the University of Johannesburg South Africa. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100077. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100077

[5] Awasthi, A. K., Cheela, S. V. R., D'Adamo, I., Iacovidou, E., Islam, R. M., Jhonsom, M., Miller, R. T., Parajuly, K., Parchomenko, A., Radhakmishan, L., Zhao, M., Zhang, C., Li, J. (2021). Zero waste approach towards a sustainable waste management. *Resources, Environment and Sustainability*, 3, 100014. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100014

[6] Bahcelioglu, E., Selin, E., Dogan, N., Simsek, N., Kaya, S., & Alp, E. (2020). Integrated solid waste management strategy of a large campus: A comprehensive study on METU campus. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121715. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121715

[7] De la Rosa, G. I., Hernández, B. C., Carreño, L. M., & Colón, I. L. (2015). Aprovechamiento Integral de Residuos Sólidos en el Instituto Tecnológico de Toluca. 1, 7-13.

[8] Desa, A., Ba'yah, N., Kadir, A., & Yusooff, F. (2012). Waste education and awareness strategy: towards solid waste management (SWM) program at UKM. *Social and Behavioral Sciences*, 59, 47–50. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.244

[9] Diggle, A., Walker, T. R., & Adams, M. (2023). Examining potential business impacts from the implementation of an extended producer responsibility program for printed paper and packaging waste in Nova Scotia, Canada. *Circular Economy*, 2, 100039. https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100039

[10] Dong, D., Tukker, A., Steubing, B., Van Oers, L., Rechberger, H., Aguilar-Hernandez, G. A., Li, H., & Van der Voet, E. (2022). Assessing China's potential for reducing primary copper demand and associated environmental impacts in the context of energy transition and "Zero waste" policies. *Waste Management*, 144, 454-467. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.006

[11] Espinosa, V. R. M., Turpin, M. S., Polanco, S. G., De la Torre, V. A., Delfín, A. I., & Raygoza, M. M. I. (2007). Programa de gestión integral de residuos sólidos en la UAM Azcapotzalco. *Memorias del 1er Encuentro de residuos sólidos Universidad de Baja California*, 353-364. ISSN: 2395-817.

[12] Ferronato, N., Guisbert, E. L., Velasco, J. T., Blanco, J. C., Preziosi, G., & Torretta, V. (2020). Selective collection of recyclable waste in low-middle income countries: Lessons learned in Bolivia. *Waste Management*, 105, 198-210. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.014

[13] Flores, G. K., & López de la M. M. C. (2022). Evaluación de aprendizajes autorregulados en estudiantes universitarios. *Apertura*, 14(2), 110-125. https://doi.org/10.32870/Ap.v14n2.2224

[14] García, F. (2017). *Manejo de Residuos Sólidos dentro de las Instituciones de Educación Superior: Estudio de caso en la Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México.

[15] Ghaedrahmati, Z., Ghaffari, M., Mehrabi, Y., Alavi, N., Mamereh, F., Roostaei, K., & Rafiee, M. (2023). Urban informal waste recycling in Tehran: Knowledge, attitudes, and practices towards health risks during the recycling process. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100064. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100064

[16] Hannan, M. A., Lipu, M. H., Akhtar, M., Begum, R. A., Al Mamun, M. A., Hussain, A., Mia, M. S., & Basri, H. (2020). Solid waste collection optimization objectives, constraints, modeling approaches and their challenges toward achieving sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123557. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123557

[17] He, R., Sandoval-Reyes, M., Scott, I., Semeano, R., Ferrao, P., & Matthews, S. (2022). Global knowledge base for municipal solid waste management: Framework development and application in waste generation. *Journal of Cleaner Production*, 377, 134501. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134501

[18] Ma, W., de Jong, M., Zisopoulos, F., & Hoppe, T. (2023). Introducing a classification framework to urban waste policy: Analysis of sixteen zero-waste cities in China. *Waste Management*, 165, 94-107. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.04.012

[19] Miranda, F. J. (2019). *Diagnóstico del Programa Basura Cero desde el enfoque de la competencia "Compromiso Integral Humanista"* (Tesis de maestría). Universidad Iberoamericana de Puebla.

[20] Prieto-Sandoval, V., Torres-Guevara, L. A., & García-Díaz, C. (2022). Green marketing innovation: Opportunities from an environmental education analysis in young consumers. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132509. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132509

[21] Rodríguez, A. V., & López, M. G. C. (2020). Basura Cero: Gestión de residuos sólidos urbanos en México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, 9(18), 130-150.

[22] Safo-Adu, G., & Owuzu-Adzorah, N. (2023). Solid waste characterization and recycling potential: A study in secondary schools in Kumasi Metropolis, Ghana. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100065. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100065

[23] Sharma, B. H., Vanapalli, R. K., Samal, B., Cheela, S. V. R., Dubey, K. B., & Bhattacharya, J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. *Science of the Total Environment*, 800, 149605. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605

[24] Solís-Espallargas, C., & Valderrama-Hernández, R. (2015). La educación para la sostenibilidad en la formación de profesorado. ¿Qué estamos haciendo?. *Foro de Educación*, 13(19), 165-192. https://doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.008

[25] Ugwu, C. O., Ozoegwu, C. G., & Ozor, P. A. (2020). Solid waste quantification and characterization in University of Nigeria Nsukka campus and recommendations for sustainable management. *Heliyon*, 6(6), e04255. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04255

[26] Zand, D. A., Heir, V. A., & Khodaei, H. (2022). A survey of knowledge, attitudes, and practices of Tehran residents regarding solid waste management in the COVID-19 era. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 8, 100203. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100203

[27] Zhang, H., Liu, J., Wen, Z., & Chen, Y. X. (2017). College students' municipal solid waste source separation behavior and its influential factors: A case study in Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, 164(15), 444-454. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.224

Colores de Responsabilidad: intervención en Educación Ambiental no formal para el manejo de residuos sólidos urbanos

Diana Yukari Rivera Hernández[1], Rubén Humberto Herrera Yáñez[1], Brandon Axel Tenorio Rodríguez[1], Frida Lizzette Crisosto Vargas[1], Eréndira Canales-Gómez[2]

[1]Licenciatura en Biología, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, México.
[2]Laboratorio de Ecología, Paisaje y Sociedad, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad #203, delegación Ixtapa, CP. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México. Tel. 322 22 6 22 00 (ext. 66438), erendira.canales5397@academicos.udg.mx

*Correo electrónico: erendira.canales5397@academicos.udg.mx

Resumen
en la mitigación de la problemática de los residuos sólidos urbanos. En este trabajo se presentan las experiencias de un proyecto de intervención implementado con estudiantes de segundo grado de primaria de la localidad de Ixtapa, municipio de Puerto Vallarta, Jalisco, México. El objetivo fue informar y sensibilizar sobre los residuos sólidos y su problemática asociada, así como dotar de capacidades para una adecuada separación de estos. Se desarrollaron ocho actividades que comprendieron contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales, entre los que se abordaron temas como diferencia entre residuo y basura, tipos de contaminación asociada a los residuos y sus efectos en el medio ambiente y la salud humana, así como acciones de manejo. Previo a la ejecución del proyecto, se identificó en los participantes un déficit de conocimientos sobre la problemática, así como pocas capacidades de separación primaria de residuos sólidos, los cuales mejoraron al finalizar la intervención. El grupo fue colaborativo y participativo; se mostró receptivo y sensible hacia la problemática causada por los residuos que no son desechados correctamente. La evaluación global del proyecto indica que se alcanzaron los objetivos planteados, observando algunas áreas de oportunidad que pueden mejorarse en futuras implementaciones.

Palabras clave: *conciencia ambiental*, *residuos sólidos*, *separación*, *educación ambiental no formal*

1. Introducción

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en México ascendió a 44.6 millones de toneladas en 2017, lo que representa un incremento del 35.6% desde el año 2003 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016). Este aumento evidencia una creciente problemática mundial, en la que se estima que la generación global de RSU podría alcanzar volúmenes de hasta 3,400 millones de toneladas para el año 2050 (Kaza et al., 2018). La ciudad turística de Puerto Vallarta

no es ajena a ese fenómeno; se calcula que diariamente se producen de 485 a 510 toneladas de RSU, cifra que incrementa un 30% durante los periodos vacacionales (Anónimo, 2022). El municipio cuenta con un reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (Gobierno de Puerto Vallarta, 2015) sin embargo, estos residuos no son almacenados y recolectados adecuadamente (Álvarez Gutiérrez, 2024), lo que dificulta una adecuada disposición final, generando contaminación, malas prácticas como la quema de residuos en zonas urbanas y posibles riesgos sanitarios. Es por esto, que la Educación Ambiental (EA) emerge como un agente coadyuvante para el adecuado manejo de los RSU y el alcance de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 Producción y consumo responsables (Naciones Unidas, 2018); ya que es una herramienta elemental para informar y generar conciencia en las personas sobre la importancia de cuidar el medio ambiente, capacitándoles con herramientas y estrategias que generen cambios en sus valores ambientales y estilos de vida, para actuar en la prevención y mitigación de los problemas actuales y futuros (Gomera Martínez et al., 2012; Hungerford & Volk, 1990; Sornoza Gutiérrez & García Rodríguez 2023).

La práctica de la EA tanto formal como no formal ha resultado exitosa en la formación de ciudadanos ambientalmente responsables (Ardoin et al., 2020; Ardoin et al., 2018; Espejel Rodríguez & Flores Hernández, 2017; White et al., 2024). No obstante, se ha reconocido que en la EA formal se deben incrementar los esfuerzos para que más escolares participen en programas lógicamente diseñados y bien articulados en los que se aborde la complejidad de la problemática socioambiental actual, promoviendo la generación de valores ambientales y dotando de capacidades para que los participantes puedan incidir en ella (Hungerford & Volk, 1990). En otras palabras, se busca la construcción de la conciencia ambiental, en la cual cada individuo se reconoce "como parte y como responsable del ambiente, así como garante y monitor de la política ambiental de su propia realidad" (Morachimo & Piscoya, 2023, p. 43). En este sentido, los proyectos de EA no formal actúan como un complemento de la EA formal (Novo, 2010) y, particularmente en México, han resultado fundamentales para la promoción del empoderamiento social y la ciudadanía global, así como en la búsqueda del alcance de las metas de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (Thomas Muñoz, 2022). Actualmente en México, los modelos educativos se han reformado para transitar a la Nueva Escuela Mexicana (NEM) (Secretaría de Educación Pública, 2019), en la cual se incluye entre uno de sus ocho pilares el Respeto por la naturaleza y cuidado del medio ambiente. Esta reforma educativa que entró en vigor en el ciclo escolar 2022-2023, busca promover una sólida conciencia ambiental que favorece la protección y conservación del entorno, la prevención del cambio climático y desarrollo sostenible. Sin embargo, de acuerdo con Estrada García (2023, p. 12121) en la NEM "no existe una mediación pedagógica orientada al desarrollo del aprendizaje activo en el contexto interactivo-participativo centrado en el estudiante, no promueve la indagación, exploración, experimentación para poder alcanzar la acción transformadora en los alumnos". Por lo tanto, es crítico continuar apoyándose en la EA no formal para el alcance de los objetivos de la NEM, ya que los proyectos de EA no formal surgen a partir de la identificación de necesidades específicas (ambientales, educativas y comunitarias) de los contextos en los que se pretende incidir, buscan-

do a partir del diseño y aplicación de currículos flexibles, la puesta en práctica de lo aprendido en situaciones reales de manera directa (Herrera M. & Didriksson, 1999; López-Gómez & Bastida Izaguirre, 2018; North American Association for Environmental Education, 2004).

Con base en lo anterior, en este trabajo se presenta una experiencia exitosa de intervención en EA no formal cuyo objetivo fue favorecer la toma de conciencia ambiental a través de informar y sensibilizar a los participantes sobre la problemática de los RSU. Esta intervención, titulada "Colores de Responsabilidad", se planteó con la finalidad de que los participantes sean capaces de identificar, diferenciar y aplicar conceptos básicos sobre su manejo mediante actividades lúdicas educativas y el método del código de separación de colores con base en los lineamientos oficiales para el estado de Jalisco. El nombre "Colores de Responsabilidad" fue elegido porque refleja la idea de que la responsabilidad hacia el medio ambiente se puede visualizar y categorizar a través de los colores de separación de RSU y destaca la idea de que cada individuo puede contribuir a la protección del medio ambiente a través de acciones simples, como la separación adecuada de éstos. Al utilizar los colores de manera efectiva, buscamos inspirar a los participantes a adoptar prácticas responsables y sostenibles en su vida diaria.

2. Metodología

Este proyecto consiste en una intervención en EA no formal, con modalidad presencial. Fue implementado en la Escuela Primaria Francisco Medina Ascencio en la Delegación Ixtapa, Puerto Vallarta, Jalisco. Esta primaria fue seleccionada debido a que se encuentra en una de las zonas del municipio que presenta una seria problemática de acumulación de basura en las calles y quema urbana de basura (Lira Camacho, 2021). La escuela no cuenta con un programa de manejo de residuos sólidos. Los destinatarios fueron 17 estudiantes de primaria baja del segundo grado, de aproximadamente 7 y 8 años.

La intervención se realizó mediante ocho actividades que comprendieron contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales, además de evaluación diagnóstica y final (Tabla 1). Se emplearon diversas estrategias didácticas (Gamboa Mora et al., 2013) y se abordaron cinco de los seis objetivos de la EA de acuerdo con la Carta de Belgrado (UNESCO, 1975). La evaluación del aprendizaje esperado del proyecto (correcta separación de residuos sólidos) se determinó calculando el porcentaje de residuos correcta e incorrectamente clasificados (los cuales, por precisión metodológica, se presentan agrupados por separación primaria) en las actividades de evaluación diagnóstica y final. La significancia fue determinada mediante una tabla de contingencia chi cuadrada ($\alpha = 0{,}05$).

Tabla 1: Actividades realizadas en el proyecto y su vinculación con los objetivos de la EA

Actividad(es)	Objetivo	Tipo de contanido	Estrategia didáctica	Objetivo de la EA
Clasifica y gana Papa caliente	Evaluación diagnóstica	Conceptual	Dibujo Juego	Conocimientos
Carteles de conocimiento	El alumnado aprenderá sobre los RSU y el código de colores para su separación	Conceptual Procedimental	Exposición	Conocimientos Aptitudes
La batalla de los residuos	El alumnado será capaz de comprender las consecuencias de la contaminación por RSU, identificando impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana	Actitudinal	Cuento dramatizado	Conciencia
Emociones del aprendizaje verde	El alumnado reflexionará sobre las repercusiones de un inadecuado manejo de RSU y las consecuencias expresadas durante "La batalla de los residuos"	Actitudinal	Mural	Actitudes Participación
Decisiones responsables	El alumnado tomará conciencia sobre cómo una decisión responsable con relación al manejo de RSU puede determinar situaciones de la vida cotidiana	Procedimental	Juego	Aptitudes
Eco-Quiz Atrapados: carrera por la clasificación correcta	Evaluación final	Conceptual Procedimental	Juego	Conocimientos Aptitudes

Fuente: Elaboración propia basada en la Carta de Belgrado (UNESCO, 1975)

Todas las actividades realizadas recibieron retroalimentación por parte de los educadores ambientales. Al finalizar la intervención, los participantes fueron encuestados para conocer sus impresiones y obtener retroalimentación. Los resultados de esta intervención se comunicaron de ma-

nera escrita en el *Blog de Divulgación Científica Sonorus Scientia* (Crisosto Vargas et al., 2024) y se presentaron a la comunidad del Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara durante las actividades del "5to. Coloquio Estudiantil de Ciencias Biológicas". En las siguientes secciones se presenta una descripción detallada de las actividades y evaluaciones realizadas.

2.1. Evaluación diagnóstica

La evaluación diagnóstica constó de dos actividades: "Clasifica y gana" y "Papa caliente". En la primera actividad los participantes colorearon ilustraciones que representaban diversos tipos de residuos orgánicos, que posteriormente fueron colocados en una bolsa llena de residuos sólidos (latas, botellas de plástico, restos de cartón y papel) que fueron traídos de casa por los mismos. El grupo se dividió equitativamente en dos equipos a los que se les indicó tomar de la bolsa de residuos uno o dos objetos y/o ilustraciones, para después depositarlos en los contenedores de clasificación siguiendo un criterio propio (Figura 1a). Los residuos correcta e incorrectamente clasificados fueron contabilizados por tipo de separación primaria.

En la segunda actividad, los participantes formaron un círculo para jugar al juego "Papa caliente". Fueron pasando una pelota a sus compañeros al ritmo de una melodía. Al terminar esta, el o la participante con la pelota debía tomar una tarjeta con una pregunta de una caja y responderla (Figura 1b). Las preguntas abordaron los siguientes temas: diferencia entre residuo y basura, tipos de contaminación y consecuencias de la contaminación por residuos sólidos. Se realizaron 51 rondas para dar oportunidad de extraer una tarjeta a todos los participantes. La actividad fue evaluada con una rúbrica en la que las respuestas fueron clasificadas como de "poco conocimiento", "conocimiento básico" y "conocimiento avanzado" de acuerdo con la capacidad de definir o describir el concepto, brindar ejemplos generales o concretos y explicar con claridad o a detalle el concepto y su interrelación con otros aspectos de la problemática. Se calculó el porcentaje de participantes por cada categoría de conocimiento.

2.2. Carteles de conocimiento

Se realizó una exposición por parte de los educadores ambientales para abordar los contenidos evaluados en la actividad diagnóstica y para capacitar a los participantes sobre el código de separación utilizado en el estado de Jalisco (Norma Ambiental Estatal NAE-SEMADES-007/2008, 2008). Se inició la actividad con una explicación sencilla pero completa sobre la definición de residuo y su diferenciación con respecto a la basura. Posteriormente, se abordaron los distintos tipos de residuos, ilustrándolos con ejemplos físicos concretos y asociándolos con los colores correspondientes establecidos por la norma de separación. Para facilitar la comprensión y retención de la información, se utilizaron carteles educativos y cestos de clasificación de residuos sólidos correspondientes a cada color permitiendo a los participantes establecer una conexión visual y memorable entre cada tipo de residuo y su color representativo (Figura 1c).

2.3. La batalla de los residuos

Con el uso de un teatrino se presentó una obra de autoría de los educadores ambientales, en la que los títeres representaron a los diferentes tipos de residuos sólidos. En ella se abordaron los siguientes temas: 1) Separación de residuos. A través de los personajes se enfatizó la importancia de separar correctamente los diferentes tipos de residuos (plástico, cartón, metal y orgánicos) para evitar la contaminación. 2) Impacto ambiental. Se explicó cómo la inadecuada o nula separación de residuos provoca contaminación en ríos, océanos, afecta a la fauna marina, provoca la tala de árboles y contribuye al calentamiento global. 3) Reciclaje. La obra resaltó la necesidad de reciclar materiales como el papel y el cartón para evitar la tala excesiva de árboles. 4) Producción y Consumo de Energía. Se mencionó la gran cantidad de energía y agua que se necesita para la producción de metales. 5) Educación Ambiental. Los personajes al concluir hicieron hincapié en la importancia de la participación y educación de las futuras generaciones para resolver esta problemática (Figura 1d).



Figura 1: Evidencias del desarrollo de las actividades durante la intervención: a) evaluación diagnóstica “Clasifica y gana”; b) evaluación diagnóstica “Papa caliente”; c) exposición “Carteles del conocimiento”; d) función de títeres “La batalla de los residuos”; e) mural “Emociones del aprendizaje verde”; f) juego de elección “Decisiones responsables”; g) evaluación final “Eco-Quiz” y, h) dinámica de evaluación final “Atrapados: Carrera por la clasificación correcta”

2.4. Emociones del aprendizaje verde

En esta actividad se les proporcionó a los participantes plumones, imágenes de los personajes de la obra y figuras alusivas a las siguientes emociones: alegría, tristeza, sorpresa, enojo y preocupación para que plasmaran en un mural las emociones y otros pensamientos que surgieron en ellos a partir de la obra de teatro (Figura 1e). Se calculó el porcentaje de cada emoción referida por los participantes.

2.5. Decisiones responsables

En esta actividad el grupo se formó sobre una línea marcada en el piso. Los educadores ambientales les presentó ocho situaciones cotidianas que involucran diferentes etapas del Manejo Integral de RSU de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003): reducir (1. Te ofrecen bolsa en la tienda, 2. Te ofrecen un popote para tu bebida), reutilizar (3. Se llenó la hoja de papel por un lado, 4. Cómo deshacerse de juguetes viejos), reciclar (5. Tus padres tiran una lata en un contenedor de basura) y separar (6. Hay una botella de plástico en la playa, 7. Lugar para desechar tus residuos, 8. Hay residuos en la orilla del río). Cada situación tenía dos alternativas de toma de decisión: correcta e incorrecta y los participantes daban un salto hacia la izquierda o derecha según la decisión elegida (Figura 1f). Para la evaluación, se obtuvo el porcentaje de decisiones correctas e incorrectas por cada situación referida.

2.6. Evaluación final

La evaluación final constó de dos actividades: “Eco-Quiz” y “Atrapados: carrera por la clasificación correcta". En la primera actividad, los participantes demostraron el aprendizaje de los conceptos abordados a través de afirmaciones verdaderas o falsas. Para responder, se realizó una dinámica similar a la de la actividad anterior (Figura 1g). Se determinó el porcentaje de respuestas correctas e incorrectas correspondientes a las siguientes categorías: residuos, manejo de RSU y contaminación.

La actividad final se realizó en el patio de la escuela. Se implementó un juego de carreras en el que los organizadores tomaron los cuatro contenedores de residuos con la finalidad de que los participantes depositaran correctamente los residuos e ilustraciones utilizados en la evaluación diagnóstica (Figura 1h). Se determinó el porcentaje de residuos correctamente clasificados, los resultados se presentan agrupados por clasificación primaria.

3. Resultados y discusión

De manera general, la intervención se consideró exitosa ya que se logró el alcance de los objetivos planteados. Al inicio de esta, los participantes tenían conocimientos básicos (49.02 %) y poco conocimiento (33.33 %) sobre los contenidos conceptuales, además de dificultades para clasificar los residuos inorgánicos, siendo clasificados correctamente solo el 14.33 % de éstos (Figura 2a).

Posterior al desarrollo de las actividades conceptuales y actitudinales ("Carteles de conocimiento" y "La Batalla de Los Residuos") los participantes expresaron emociones como alegría (40%) hacia las soluciones propuestas por los personajes, así como sorpresa (28%) y preocupación (16%) ante la problemática de los RSU (Figura 2b). Esta última actividad fue fundamental para el alcance de los objetivos de la intervención, ya que la implementación de actividades de sensibilización es una estrategia importante para favorecer el desarrollo de la conciencia ambiental y la responsabilidad social (Avendaño Castro, 2012; Gomera Martínez et al., 2012; Morachimo & Piscoya, 2004). Con respecto a la actividad "Decisiones responsables", el alumnado decidió correctamente ante las distintas situaciones planteadas en el 75.35% de las ocasiones (valor promedio) (Figura 3a). Para reforzar la permanencia de la buena toma de decisiones, es fundamental involucrar a las familias para que las buenas prácticas de manejo de RSU se trabajen en sinergia tanto en los hogares como en los ambientes escolares (Rico Torregrosa & Jiménez Caicedo, 2018).

Los resultados muestran que la intervención fue exitosa, con un aumento significativo en la capacidad de los participantes para clasificar correctamente los RSU. En la evaluación diagnóstica, solo el 14.33% de los residuos inorgánicos fueron clasificados correctamente, mientras que en la evaluación final este porcentaje aumentó al 90.5% (ver Figura 2).

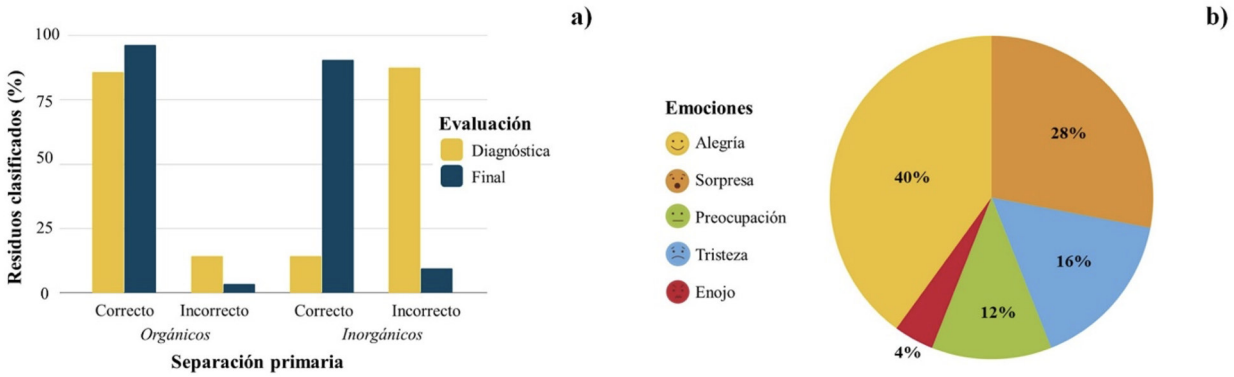


Figura 2: a) Porcentaje de residuos correcta e incorrectamente clasificados (agrupados por separación primaria) en la evaluación diagnóstica y final. b) Emociones expresadas por los niños después de la obra de teatro "La batalla de los residuos"

La evaluación final de los contenidos conceptuales no resultó conforme lo esperado. Si bien se registró un promedio de 65.9% de respuestas correctas, los conceptos relacionados con el manejo de los RSU tuvieron un 51.5% de aciertos (Figura 3b), mientras que las preguntas relacionadas con los tipos de residuos y su clasificación secundaria alcanzaron un 63% de aciertos. Esto puede estar relacionado con el tipo de estrategias utilizadas para su abordaje, en las cuales los conceptos y procedimientos referentes a la problemática de los RSU se plantearon principalmente desde una perspectiva ambientalista y con técnicas expositivas. Sin embargo, estos resultados coinciden con los reportados por Glažar et al. (1998), quienes describen que estudiantes de primaria baja (8 y 9

años) tienen la capacidad de definir los residuos a nivel concreto mientras que estudiantes de primaria alta ya son capaces de hacer generalizaciones. Una oportunidad de mejora para siguientes intervenciones es encuestar al alumnado días antes de la intervención y con ello realizar un diagnóstico de sus conocimientos; esto permitirá seleccionar el tipo de información y terminología más adecuadas para emplearse en las actividades relacionadas con los contenidos conceptuales (Cortés et al., 2017; Phan Hoang & Kato, 2016).

Asimismo, se sugiere iniciar la intervención con una actividad que permita contextualizar con el grupo la problemática local relacionada con los RSU, incorporando sus saberes y vivencias, así como promover la reflexión sobre el rol que desempeña el alumnado dentro de la misma y como agentes de cambio (Dieleman & Juárez-Nájera, 2008). Los contenidos conceptuales sobre el tipo de residuos pueden reforzarse mediante la adaptación de juegos como memoramas y adivina quién soy como los diseñados por de Seixas y Maccari (2019). También se recomienda implementar actividades orientadas a la reflexión sobre el consumismo y la importancia de reducir la generación de RSU, los cuales fueron temas tangencialmente abordados aquí. Bartl (2014) ha señalado que, en la jerarquía de los residuos, las acciones de prevención y reúso son las que deben promoverse como objetivos primordiales para abordar la problemática de los RSU. Esto debido a que la presión sobre los recursos naturales decrecerá si se produce y generan menores cantidades de residuos.

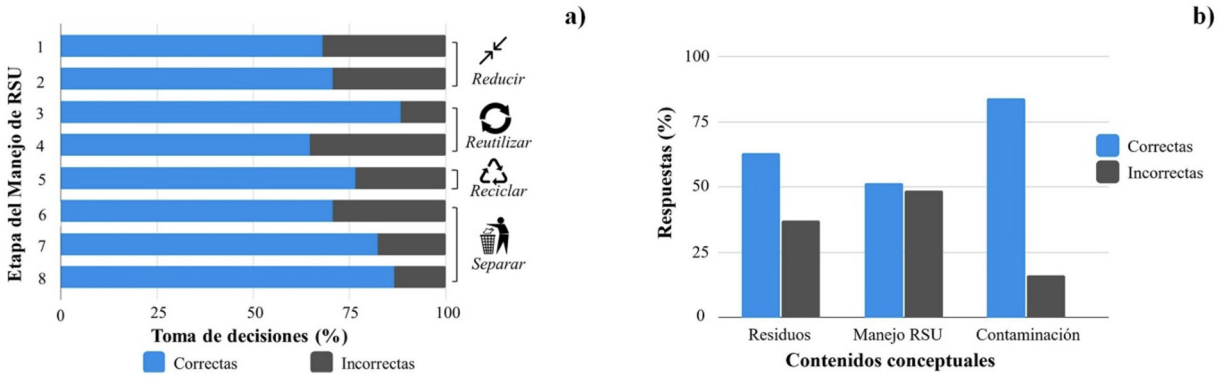


Figura 3: a) Porcentaje de toma de decisiones correctas e incorrectas en situaciones cotidianas clasificados por etapa del manejo de RSU: reducir (1 y 2), reutilizar (3 y 4), reciclar (5) y separar (6-8) (ver apartado 2.5 para códigos de las situaciones) y, b) Porcentaje de respuestas correctas e incorrectas de los contenidos conceptuales abordados en la actividad "Eco-Quiz"

Al finalizar la presente intervención, el grupo demostró mejora en su capacidad de realizar la clasificación primaria de RSU ($\chi^2_{1,N=140} = 40{,}117$, $\rho = 2{,}392e^{-10}$), aumentando la cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos correctamente clasificados de 87.7% y 14.3% a 96.4% y 90.5% entre la evaluación diagnóstica y final respectivamente (Figura 2a). Asimismo, los participantes expresaron a los educadores ambientales sentirse felices y emocionados por haber participado en la actividad; algunos manifestaron el compromiso de tener más cuidado en donde tiran los resi-

duos y realizar la correcta separación de estos, evitar tirarlos en lugares incorrectos e implementar medidas como guardar sus residuos en el caso de no encontrar contenedores cerca para posteriormente desecharlos en casa. Estos resultados confirman la efectividad que tiene el empleo de diferentes estrategias didácticas orientadas a la promoción de la conciencia ambiental y responsabilidad social (Díaz Ponce et al., 2022). Es importante destacar el rol prioritario del profesorado para el seguimiento de este tipo de intervenciones de EA no formal, a través del reforzamiento continuo de los aprendizajes y las buenas prácticas de manejo de RSU adquiridas por los participantes (Rodrigues & Kindel, 2019). Posterior a la intervención se platicó con la docente para obtener retroalimentación. Ella comentó que el alumnado de manera frecuente hace el ejercicio de preguntarse sobre la clasificación de los residuos que están por desechar en los contenedores; refirió además notar la familiarización que tienen con los términos aprendidos y el reconocimiento de la importancia de la separación de residuos.

Esta intervención tiene el potencial de adaptarse como actividad extracurricular para complementar programas de EA formal a mediano y largo plazo que estén orientados a la implementación de sistemas de gestión ambiental de residuos sólidos en planteles educativos de educación primaria (de Morais & de Sousa, 2022). Kanyimba et al. (2014) han demostrado que las actividades extracurriculares son herramientas útiles y promotoras de cambios en los valores ambientales de los participantes cuando hacen sinergia con sistemas escolares de gestión ambiental. Es recomendable que la primaria Francisco Medina Ascencio implemente un sistema escolar de gestión ambiental de residuos sólidos. Finalmente, es necesario resaltar que para promover la prevalencia de los valores ambientales relacionados con la problemática de RSU que son adquiridos mediante intervenciones de EA, es necesario que se mejoren los sistemas municipales de almacenamiento y recolección de RSU. La ineficiencia de estos servicios estimula en la población actitudes desvinculadas con el medio ambiente y deriva en acciones de inadecuada disposición de RSU, contaminando calles, lotes baldíos y márgenes de cuerpos de agua, entre otros espacios (Mucelin & Bellini, 2008).

4. Conclusiones

Se concluye que la intervención de Educación Ambiental no formal “Colores de Responsabilidad” fue una experiencia exitosa debido a que los participantes adquirieron aprendizajes sobre la separación de residuos sólidos aplicando los lineamentos del código de separación utilizado en el estado de Jalisco. Además de sensibilizarse ante la problemática de los RSU, los participantes aprendieron sobre la importancia de su participación en la mitigación de esta a través de la toma de decisiones responsables durante las distintas etapas del manejo de RSU aplicadas en su vida cotidiana. Considerando las adecuaciones de mejora señaladas en los párrafos precedentes, esta propuesta de intervención puede adaptarse para ser implementada en contextos similares y como estrategia para reforzar programas de Educación Ambiental formales concernientes a la temática.

Agradecimientos

Agradecemos a la Escuela Primaria "Francisco Medina Ascencio" (14EPR0917Q), al director Prof. Adrián Arreola Montiel y a la Prof. Ma. Enriqueta Yáñez Hernández por brindar las facilidades para el desarrollo de esta intervención. Este trabajo se deriva del producto integrador de la Unidad de Aprendizaje Educación Ambiental de la Licenciatura en Biología, CUCOSTA-UDG, calendario 2024-A, docente ECG. Este proyecto recibió financiamiento por parte del proyecto No. 276673 del Programa de Apoyo a la Mejora en las Condiciones de Producción de los Miembros del SNII y SNCA (PROSNII).

Referencias bibliográficas

[1] Álvarez Gutiérrez, Ó. E. (2024). La curiosa forma de deshacerse de la basura en Vallarta (FOTOS). El Informador. Recuperado el 12 de junio de 2024 de https://www.informador.mx/jalisco/Puerto-Vallarta-2024-La-curiosa-forma-de-deshacerse-de-la-basura-en-la-ciudad-FOTOS-20240304-0055.html

[2] Anónimo. (2022). La basura se incrementa en un 30% en fechas decembrinas. Reporte Diario. Recuperado el 12 de junio de 2024 de https://www.reportediario.com.mx/noticias/puerto-vallarta/la-basura-se-incrementa-en-un-30-en-fechas-decembrinas

[3] Ardoin, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108224

[4] Ardoin, N. M., Bowers, A. W., Roth, N. W., & Holthuis, N. (2018). Environmental education and K-12 student outcomes: A review and analysis of research. *The Journal of Environmental Education*, 49(1), 1-17. https://doi.org/10.1080/00958964.2017.1366155

[5] Avendaño Castro, W. R. (2012). La educación ambiental (EA) como herramienta de la responsabilidad social (RS). *Revista Luna Azul*, 35, 94-115.

[6] Bartl, A. (2014). Moving from recycling to waste prevention: A review of barriers and enables. *Waste Management & Research*, 32(9_suppl), 3-18. https://doi.org/10.1177/0734242x14541986

[7] Cortés, S. E., García, S., & Pérez, C. E. (2017). Estrategia pedagógica para favorecer la educación ambiental en primera infancia: manejo de residuos y recuperación de zonas verdes. Fundación Universitaria Los Libertadores. http://hdl.handle.net/11371/1224

[8] Crisosto Vargas, F. L., Rivera Hernández, D. Y., Herrera Yáñez, R. H., & Tenorio Rodríguez, B. A. (2024). Colores de responsabilidad: Proyecto de Educación Ambien-

tal. Sonorus Scientia. https://sonorusscientiacuc.blogspot.com/2024/06/colores-de-responsabilidad-proyecto-de.html

[9] De Morais, J. F. L., & De Sousa, F. S. (2022). ESCOLA CLEAN: Aplicativo para gestión de residuos sólidos producidos en escuelas de Mossoró - RN. *Humanidades & Inovacao*, 9(20), 287-298.

[10] De Seixas, A. C. M., & Maccari, G. R. (2019). Environmental education and its influence on childhood learning for the formation an aware citizen. *Smart Innovation Systems and Technologies*.

[11] Díaz Ponce, M., González Osorio, B., Oviedo Bayas, B., & Muñoz Casanova, R. (2022). Educación ambiental para el adecuado manejo de los residuos sólidos: Estudio de caso. *Revista Acta Oceanográfica del Pacífico*, 4(1), 33-45. https://doi.org/10.54140/raop.v4i1.50

[12] Dieleman, H., & Juárez-Nájera, M. (2008). ¿Cómo se puede diseñar educación para la sustentabilidad? *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(131-147). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992008000300004

[13] Espejel Rodríguez, A., & Flores Hernández, A. (2017). Experiencias exitosas de educación ambiental en los jóvenes del bachillerato de Tlaxcala, México. *Luna Azul*, 294-315. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742017000100018&nrm=iso

[14] Estrada García, E. D. (2023). Educación ambiente y desarrollo en la nueva escuela mexicana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 12109-12125. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4244

[15] Gamboa Mora, M. C., García Sandoval, Y., & Beltrán Acosta, M. (2013). Estrategias pedagógicas y didácticas para el desarrollo de las inteligencias múltiples y el aprendizaje autónomo. *Revista de Investigaciones UNAD*, 12(1), 101-128. https://doi.org/10.22490/25391887.1162

[16] Glažar, S. A., Vrtačnik, M., & Bačnik, A. (1998). Primary school children's understanding of municipal waste processing. *Environmental Education Research*, 4(3), 299-308. https://doi.org/10.1080/1350462980040305

[17] Gomera Martínez, A., Villalmandos de la Torre, F., & Vaquero Abellán, M. (2012). Medición y categorización de la conciencia ambiental del alumnado universitario: Contribución de la universidad a su fortalecimiento. *Profesorado Revista de currículum y formación del profesorado*, 16(2), 213-218.

[18] Herrera M., A., & Didriksson, A. (1999). La construcción curricular: Innovación, flexibilidad y competencias. *Revista Educación Superior Y Sociedad (ESS)*, 10(2), 29-52. https://www.iesalc.unesco.org/ess/index.php/ess3/article/view/146

[19] Hungerford, H. R., & Volk, T. L. (1990). Changing learner behavior through environmental education. *The Journal of Environmental Education*, 21(3), 8-21. https://doi.org/10.1080/00958964.1990.10753743

[20] Kanyimba, A. T., Richter, B. W., & Raath, S. P. (2014). The effectiveness of an environmental management system in selected South African primary schools. *Journal of Cleaner Production*, 66, 479-488. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.052

[21] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Publications.

[22] Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [LGPGIR] (2003). Reformada. Diario Oficial de la Federación [DOF], México.

[23] Lira Camacho, M. (2021). Ixtapa corredor de basura. Noticias PV. Recuperado el 15 de junio de 2024 de https://www.noticiaspv.com.mx/ixtapa-corredor-de-basura/

[24] López-Gómez, R. R., & Bastida Izaguirre, D. (2018). La importancia de la educación ambiental no formal en el medio rural: El caso de Palo Alto, Jalisco. *Diálogos sobre educación. Temas actuales en investigación educativa*, 9(16), 00004.

[25] Morachimo, L., & Piscoya, L. (2004). Temas transversales y desarrollo sostenible. Claves para su inserción en la institución educativa. Colegio Isabel Flores de Oliva Departamento de Investigación y Extensión Educativa Pedro Poveda.

[26] Morachimo, L., & Piscoya, L. (2023). "Yo les hablo pero no cambian". Una ruta para construir conciencia ambiental. *Tarea. Revista de Educación y Cultura*, (104), 38-45. https://tarea.org.pe/wp-content/uploads/2024/02/Tarea_104.pdf

[27] Mucelin, C. A., & Bellini, M. (2008). Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. *Sociedade & Natureza*, 20(1), 111-124.

[28] Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (Vol. LC/G.2681-P/Rev.3). Naciones Unidas.

[29] North American Association for Environmental Education. (2004). Programas de educación ambiental no formal pautas para la excelencia. North American Association for Environmental Education.

[30] Novo, M. (2010). La educación ambiental formal y no formal: dos sistemas complementarios. *Revista Iberoamericana de Educación*, 11.

[31] Norma Ambiental Estatal NAE-SEMADES-007/2008. Que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo las cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y valorización de los residuos en el Estado de Jalisco (2008). 16 de octubre de 2008. Periódico Oficial .El Estado de Jalisco".

[32] Phan Hoang, T. T., & Kato, T. (2016). Measuring the effect of environmental education for sustainable development at elementary schools: A case study in Da Nang city, Vietnam. *Sustainable Environment Research*, 26(6), 274-286. https://doi.org/10.1016/j.serj.2016.08.005

[33] Reglamento para la prestación del servicio de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos, así como el manejo de residuos urbanos en el municipio de Puerto Vallarta, Jalisco (2015). Puerto Vallarta, México. Recuperado de https://transparencia.puertovallarta.gob.mx/Gobierno/Normatividad.php

[34] Rico Torregrosa, A., & Jiménez Caicedo, J. (2018). Educación ambiental para el adecuado manejo de los residuos sólidos. *Cultura Educación Sociedad*, 9(3), 281-290. https://doi.org/10.17981/culteduSoc.9.3.2018.32

[35] Rodrigues, A. P. S., & Kindel, E. A. I. (2019). Separação de resíduos e horta como ferramentas de transformação do espaço escolar. *Remea-Revista Eletronica Do Mestrado Em Educacao Ambiental*, 36(1), 221-241. https://doi.org/10.14295/remea.v36i1.8733

[36] Secretaría de Educación Pública (SEP). (2019). La Nueva Escuela Mexicana: Principios y orientaciones pedagógicas. Recuperado de https://dfa.edomex.gob.mx/sites/dfa.edomex.gob.mx/files/files/NEM%20principios%20y%20orientacio%C3%ADn%20pedago%C3%ADgica.pdf

[37] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Residuos. En *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde* (pp. 431-470). SEMARNAT. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf

[38] Sornoza Gutiérrez, C. A., & García Rodríguez, R. (2023). Educación ambiental para el manejo de residuos sólidos en el mercado central del cantón Jipijapa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7942-7953. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5022

[39] Thomas Muñoz, R. (2022). Environmental education networks for social empowerment and global citizenship: A case of non-formal education from Mexico. En M. Öztürk (Ed.), *Educational Response Inclusion and Empowerment for SDGs in Emerging Economies: How do education systems contribute to raising global citizens?* (pp. 191-203). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98962-0_12

[40] UNESCO. (1975). La carta de Belgrado: Un marco general para la educación ambiental. Seminario Internacional de Educación Ambiental.

[41] White, P. J., Ardoin, N. M., Eames, C., & Monroe, M. C. (2024). Agency in the Anthropocene: Education for planetary health. *The Lancet Planetary Health*, 8(2), e117-e123. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00271-1

Análisis de la generación, composición y separación de residuos sólidos urbanos en una institución de educación superior

Jocelyn Navarrete Contreras[1], Verónica Jimena Morales Meza[1], Arely Areanely Cruz Salas[1], Rosa María Espinosa Valdemar[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[2], Itzel Rubi Jiménez Escamilla[1]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Avenida San Pablo Xalpa No. 420, Col. Nueva el Rosario, C.P. 02200, Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, México. Tel: 55 37825443.

[2]Secretaría de la Defensa Nacional, Universidad del Ejército y Fuerza Aérea, Escuela Militar de Ingenieros, Av. Industria Militar No. 261, Col. Lomas de San Isidro, Naucalpan de Juárez, Edo. Méx., C.P. 53960.

[*]Correo electrónico: a12183038675@azc.uam.mx

Resumen

Como institución superior la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A) tiene entre sus responsabilidades y compromisos la gestión sustentable de los residuos sólidos que genera, es por ello que desde 2003 implementó un programa de gestión integral de residuos sólidos denominado Separacción por un mejor UAMbiente. En el presente estudio se analizó la variación en la generación y composición de residuos en la UAM-A entre 2004 y 2022. Se evaluó la eficiencia de la separación en el trimestre 23-O (13 de noviembre de 2023 al 16 de febrero de 2024) de los residuos sólidos urbanos (RSU) tanto en bolsas con residuos de la limpieza de diferentes áreas que llegan al centro de acopio, como en los botes instalados en la universidad. Se encontró una notable reducción en la generación de residuos (64.82 %) en el período 2004 a 2022. La eficiencia de separación es variable, con mejores resultados en botes rojos (89.89 %) y bolsas negras (72.43 %) en comparación con botes blancos (29.48 %) y bolsas blancas (32.21 %). Se recomienda implementar un programa de educación ambiental continua para mejorar la separación de residuos y la conciencia ambiental en toda la comunidad universitaria, ya que han mejorado la reducción de residuos que generan, pero no los separan adecuadamente.

Palabras clave: *Eficiencia*, *generación*, *manejo de residuos*, *residuos*, *universidad*

1. Introducción

En 1999 se propuso la Estrategia de Educación Ambiental para la Sustentabilidad en Instituciones de Educación Superior (IES) de México, con el objetivo de impulsar el desarrollo sostenible en las universidades del país, culminando en el 2000, con la publicación del "Plan de Acción para

el Desarrollo Sustentable de las IES"(ANUIES, 2006). Como resultado, diversas universidades han implementado planes para una gestión más responsable de sus RSU, entre ellas la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A).

La UAM-A se ubica en la zona industrial de la alcaldía Azcapotzalco, al norte de la Ciudad de México, delimitando con el municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México. De acuerdo con el anuario estadístico publicado en 2022 por la UAM-A, el plantel cuenta con una comunidad universitaria total de 20,926 personas, de las cuales 19,980 son alumnos de diferentes grados (licenciatura, especialidad, maestría y doctorado), profesores de tiempo completo, medio tiempo y tiempo parcial. Es importante aclarar que el anuario no proporciona información en cuanto al número de personal administrativo y trabajadores eventuales (UAM, 2022).

El incremento de la población trae consigo un aumento de la generación de residuos sólidos urbanos (RSU), por ello, la UAM-A cuenta con un programa titulado "Separacción por un mejor UAMbiente" el cual fue fundado a principios de 2003 y tiene como uno de sus principales objetivos la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. El programa lo gestiona la Oficina de Gestión Ambiental (OGA) mediante el centro de acopio de la unidad, que tiene una coordinación académica que permite un vínculo entre docencia, investigación, operación y servicio social (Guzmán, 2015). El programa se elaboró para ser implementado en tres etapas. La primera etapa fue la separación de los residuos en "recuperables" y "todo lo demás" generados en áreas abiertas y pasillos de planta baja de la universidad, después, la segunda etapa consistió en separar los residuos generados en áreas académicas y administrativas, además de los pasillos de tres pisos de la UAM-A y por último, la tercera etapa implica incluir al programa residuos de manejo especial; recolección, acopio y almacenamiento de residuos peligrosos y tratamiento a los residuos orgánicos (Espinosa et al., 2013).

Existen diferentes tipos de botes, los botes metálicos para áreas administrativas y académicas, que poseen tres divisiones para la recepción de residuos, las cuales son: papel y cartón, recuperables y todo lo demás. Por otro lado, hay botes de color amarillo colocados en los sanitarios de la universidad, con una bolsa de color amarillo, exclusivo para el depósito de residuos sanitarios (Espinosa et al., 2013). También, la UAM-A cuenta con 213 pares de botes para recepción de residuos, uno de color blanco para la recolección de residuos recuperables (polietileno de alta densidad-PEAD, aluminio, Tetra Pak®, vaso de cartón, vidrio y polietileno tereftalato-PET) y otro color rojo para los residuos catalogados como "todo lo demás", en el cual su etiquetado incluye a servilletas y papel sucio, chicles, colillas, unicel, bolígrafos, lápices, vasos, cubiertos y platos de plástico. Además, estos pares de botes tienen designado un color de bolsa diferente, para el bote blanco corresponde una bolsa color blanca mientras que para el bote rojo es una bolsa de color negro.

Los diferentes colores de bolsa son llevadas al centro de acopio de la unidad por personal de intendencia y en el cual el personal operativo se encarga de una inspección superficial a la bolsas blancas y negras para separar los residuos recuperables, donde se almacenan estos residuos para su posterior destino.

El objetivo de este trabajo fue analizar cómo se ha modificado la generación y composición de residuos generados en la UAM-A desde 2004 hasta 2022. Además de evaluar la eficiencia de separación de RSU durante el trimestre del 13 noviembre al 16 febrero de 2023 (23-O), en botes ubicados en la unidad y bolsas que llegan al centro de acopio.

2. Metodología

El estudio se desarrolló en las tres etapas descritas en la Figura 1.

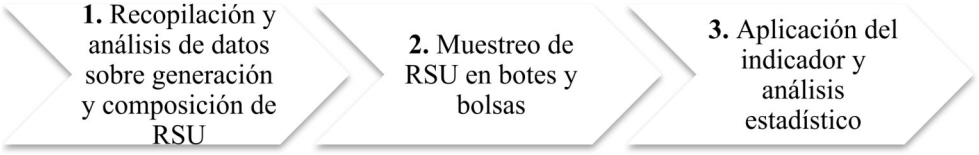


Figura 1: Diagrama de flujo de las etapas de la metodología

En la etapa uno se recopiló información sobre la generación y composición de los residuos en la UAM-A en el período 2004 a 2022, después los datos fueron organizados en una hoja de cálculo para ser analizados. En la segunda etapa se hicieron tres muestreos en los botes ubicados en distintas áreas del plantel para el depósito de RSU generados por la comunidad universitaria, simultáneamente se muestrearon las bolsas que el personal de limpieza recolectó y trasladó al centro de acopio. Por último, en la etapa tres, con toda la información recabada de los muestreos se aplicó el indicador estadístico de separación de residuos, propuesto por (Elizagaray, 2017) para evaluar la eficiencia de separación.

2.1. Recopilación de información

Se recabaron datos de estudios de generación y composición de residuos a través del Programa de Separacción y de la Unidad de Enseñanza de Aprendizaje (UEA) “Taller de Residuos Sólidos Urbanos y Suelos” impartida en la licenciatura de ingeniería ambiental de la UAM-A, que abarcaron de 2004 a 2022, para observar el comportamiento y variación de los residuos generados a lo largo de 18 años.

2.2. Muestreo en botes y bolsas

Durante el trimestre 23-O (13 de noviembre de 2023 al 16 de febrero de 2024) se realizaron tres muestreos al inicio, a la mitad y al final del trimestre, abarcando de lunes a viernes, para observar el comportamiento de la separación de residuos tanto en los botes instalados en la unidad (ver Figura 2) como en las bolsas que llegan al centro de acopio, como resultado de la limpieza de oficinas, cubículos, salas y sanitarios. Los muestreos se realizaron en la semana 2, del 20 a 24



Figura 2: Par de botes rojo y blanco

de noviembre y se incluyó el lunes 27 de noviembre para compensar un día feriado El segundo muestreo abarcó las semanas 5 y 6, por lo que las fechas de fueron 15, 18, 19, 20 y 21 de diciembre de 2023 y, por último, el tercer muestreo se realizó en las semanas 9 y 10, abarcando los días 25, 26, 29, 30 y 31 de enero de 2024. La elección del número de días fue debido a que la universidad opera cinco días hábiles a la semana.

La elección y ubicación de los botes a muestrear se basó en un estudio de 2017 (Elizagaray, 2017), por lo que se eligieron 22 pares por día, es decir, 11 pares para el turno matutino y 11 pares para el vespertino. Por otro lado, en el muestreo de bolsas se eligieron 28 al azar por día, 14 por la mañana y la misma cantidad por la tarde, de las cuales 7 eran negras y 7 eran blancas, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Muestreo: (a) muestreo de botes y (b) muestreo de bolsas

Para el muestreo en botes, primero se retiró la bolsa con RSU de cada bote para ser pesada y registrar su masa total (incluyendo la masa de la bolsa), después se pesó la bolsa vacía y poste-

riormente se taró un bote de plástico liviano para el pesaje de los líquidos totales contenidos en los envases (si fuese el caso), finalmente se pesaron por separado los residuos recuperables y los denominados como "todo lo demás". En el muestreo de las bolsas se aplicó la misma metodología, a diferencia de que los residuos de las bolsas eran vaciados en una mesa de trabajo para una mejor manipulación, dado a que es común que en el centro de acopio reciban bolsas que sobrepasen los 10 kg. El horario empleado fue de 10:00 a 12:00 horas para el turno de la mañana, mientras que el de la tarde se ejecutó de 15:00 a 17:00 horas.

2.3. Aplicación del indicador y análisis estadístico

El indicador empleado fue propuesto en 2017, en el estudio titulado "Indicador para evaluar la efectividad del Programa de "Separacción por un mejor UAMbiente" en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco" (Elizagaray, 2017), mostrado en la Ecuación 1.

$$\% = \frac{\sum \text{RSU separados correctamente en la semana } y}{\sum \text{RSU separados correctamente en la semana } y + \sum \text{RSU separados incorrectamente en la semana } y} \times 100 \quad (1)$$

Los datos de la masa de residuos separados de las bolsas y botes especificadas en el punto 2.2 se organizaron por semana y con ellos se calculó el porcentaje de separación correcta e incorrecta, de acuerdo con el etiquetado de cada bote (rojo y blanco) y el color de las bolsas del centro de acopio (negra y blanca). Por otro lado, con el software Statgraphics se determinó la normalidad de los porcentajes de separación mediante la prueba Kolmogórov-Smirnov, ya que la información generada sobrepasaba los 50 datos. En el análisis no se observó una distribución normal, por lo que se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, la cual permitió evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas de la separación de residuos con respecto al color de bolsa y bote muestreados.

3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados de la generación y composición de los RSU entre 2004 y 2022, y el porcentaje de separación de residuos en el trimestre 23-O en la UAM-A, así como el análisis estadístico de las tasas obtenidas de separación correcta e incorrecta.

3.1. Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en la UAM-A de 2004 a 2022

La Figura 4 muestra el comportamiento de la generación de residuos en la UAM-A durante el período 2004 - 2022. Se observa que la cantidad de residuos generados ha fluctuado a lo largo de los años sin presentar una tendencia definida. Cabe destacar que el año 2007 marcó el pico más alto de la generación de RSU con 1,436.4 kg/día, mientras que en 2022 se registró la menor cantidad (505.43 kg/día), que está relacionada con la pandemia ya que aún no se normalizaban

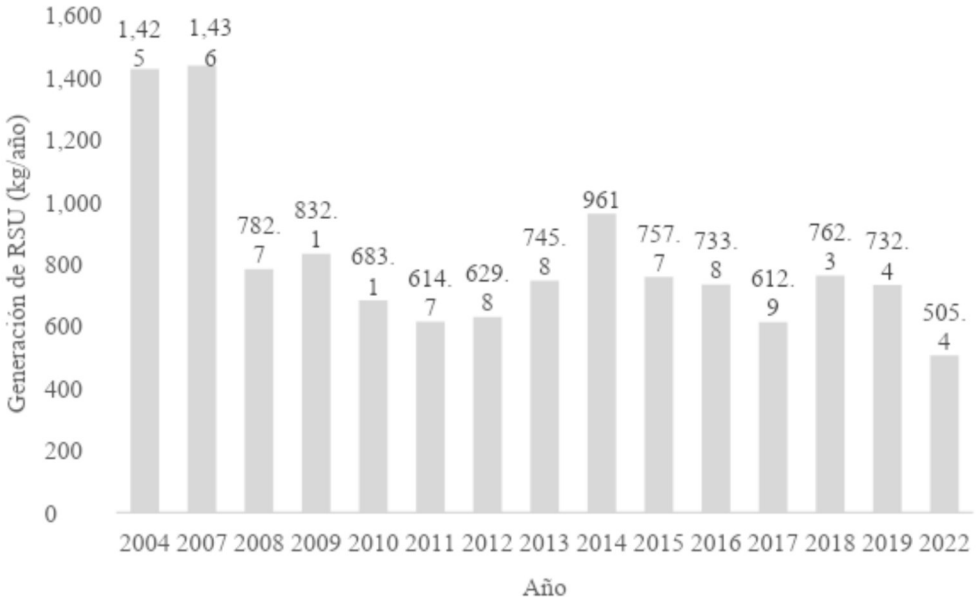


Figura 4: Generación de residuos en la UAM-A entre 2004 y 2022.

las actividades de la universidad. Por otro lado, considerando el que estudio analizó la generación inicial 2004 y como final el 2022 se tiene una reducción del 64.82%.

En la Figura 5 se muestra la generación de residuos por trimestre, se observa un comportamiento irregular con períodos de aumento y disminución, se evidencia una reducción notable a lo largo de los trimestres. En el trimestre 22-O se aprecia la menor generación de residuos, pues ésta correspondió a 499.42 kg/día de RSU. En contraste, el trimestre 7-P se registró una mayor cantidad de residuos, con un total de 1,508.22 kg/día. Por ello, al comparar el trimestre de mayor generación con el trimestre de menor generación existe una diferencia de 1,008.8 kg de residuos.

En lo que respecta a la composición de RSU generados en la UAM-A con ayuda del Taller de Residuos Sólidos Urbanos y Suelos se recabó la siguiente información presentada en la Figura 6 en la que se encuentran las categorías de los subproductos con sus porcentajes promedio a lo largo de 18 años (40 trimestres), abarcando de 2004 a 2022. Se aprecia que los plásticos mixtos se posicionan como el tipo de residuo predominante, alcanzando un 23%. En segundo lugar, se encuentran los residuos sanitarios y el papel, con un 20%. Por otro lado, los residuos recuperables tal como el metal registraron un 2% (que incluye latas de aluminio), el vidrio 4% y los textiles 2%, estos representan la menor proporción de residuos generados.

Es importante mencionar que los datos de generación y composición de RSU no abarcan los años 2005 y 2006 debido a la falta de registros durante ese período. De igual manera, los estudios de generación y composición de los años 2020 y 2021 no se llevaron a cabo como consecuencia de la pandemia de COVID-19.

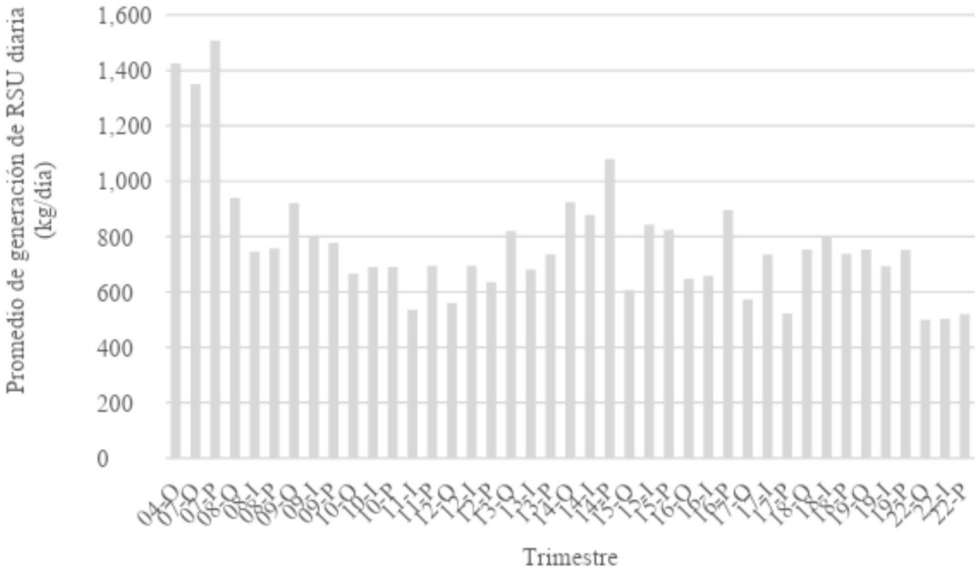


Figura 5: Generación de residuos por trimestre de 2004 a 2022

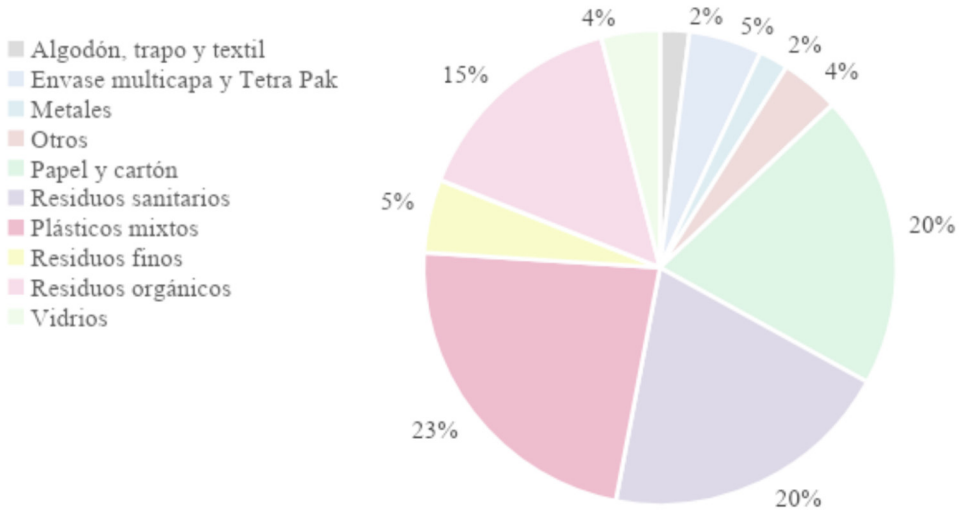


Figura 6: Promedio de la composición de subproductos generados en el período 2004 a 2022 (kilogramos)

3.2. Porcentajes de separación correcta e incorrecta en botes de la unidad y bolsas destinadas al centro de acopio de la unidad

Los tres muestreos realizados a lo largo del trimestre 23-O en los botes blancos y rojos arrojaron los porcentajes de separación mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Porcentaje de separación correcta e incorrecta en botes

	Semana 2		Semana 4		Semana 6	
Categoría	**% separación correcta**	**% separación incorrecta**	**% separación correcta**	**% separación incorrecta**	**% separación correcta**	**% separación incorrecta**
Bote rojo	89.37 ± 9.12	10.62 ± 9.12	89.01 ± 12.33	10.98 ± 12.33	91.28 ± 11.75	8.71 ± 11.75
Bote blanco	32.28 ± 23.75	67.71 ± 23.75	23.21 ± 21.54	76.78 ± 21.54	32.95 ± 22.38	67.04 ± 22.38

Los muestreos en las tres semanas 2, 6 y 10 muestran comportamientos similares, puesto que sus porcentajes de separación correcta fueron de 89.37 %, 89.01 % y 91.28 %, respectivamente, evidenciando que la tasa de separación correcta de residuos fue mayor en los botes rojos, que en los botes blancos. Esta diferencia significativa muestra que la comunidad universitaria tiene mayor facilidad para depositar correctamente los residuos en los botes rojos, dado a que no se ven limitados a sólo depositar las seis categorías (envases de PET, HDPE, multicapa, vidrio, aluminio y vasos de cartón) como es el caso del bote blanco.

Tabla 2: Porcentaje de separación correcta e incorrecta en bolsas

	Semana 2		Semana 4		Semana 6	
Categoría	**% separación correcta**	**% separación incorrecta**	**% separación correcta**	**% separación incorrecta**	**% separación correcta**	**% separación incorrecta**
Bolsa blanca	36.41 ± 15.79	63.58 ± 15.79	25.93 ± 15.58	74.07 ± 15.58	34.29 ± 16.98	65.70 ± 16.98
Bolsa negra	69.25 ± 15.63	30.74 ± 15.63	74.18 ± 13.42	25.81 ± 13.42	73.87 ± 14.41	26.13 ± 14.41

La Tabla 2 presenta las proporciones de separación correcta e incorrecta de residuos en las bolsas blancas y negras durante las tres semanas del muestreo en el centro de acopio. La tasa de separación correcta en bolsas blancas en las semanas 2, 6 y 10 fueron de 36.41 %, 25.93 % y 34.29 %, respectivamente, siendo significativamente menor que en las bolsas negras, con porcentajes de separación correcta de 69.25 ± 15.63 % para la semana 2, 74.18 ± 13.42 % en semana 6 y en la última semana del muestreo se obtuvo una tasa de separación correcta de 73.87 ± 14.41 %%. Tanto

para bolsas negras y botes rojos se observó un comportamiento similar, puesto que sus porcentajes de separación son altos, en comparación de las bolsas y botes blancos, con porcentajes menores al 37 %.

En las tres semanas de muestreo, el promedio de separación correcta fue inferior en botes blancos (29.48 %) que en botes rojos (89.89 %). Para las bolsas, la separación correcta promedió fue de 32.21 % en blancas y de 72.4 % en negras.

Durante el proceso de muestreo de bolsas entregadas por el personal de intendencia, se detectó en varias ocasiones que los trabajadores de limpieza vaciaban los residuos contenidos en ambos botes rojo y blanco, en una sola bolsa, sin importar si era negra, blanca o incluso amarilla, esta última destinada exclusivamente para papeles sanitarios.

La UAM-A registra una notable reducción de residuos a lo largo de 18 años. Uno de los principales factores que han contribuido es el cambio en los materiales de los empaques utilizados por las empresas. A diferencia de años anteriores, donde predominaba el vidrio y cartón, hoy en día se emplea más el plástico. Sin embargo, este cambio no resta el mérito al éxito de las campañas y estrategias implementadas para fomentar la conciencia ambiental entre su comunidad. Con motivo del 20 aniversario del programa se realizaron una serie de actividades para sensibilizar a la comunidad universitaria en materia residuos: el Rally de Separacción", llevado a cabo el 20 de octubre de 2023 donde, a través de dinámicas, se puso a prueba a la comunidad en destreza y en conocimiento relacionado con residuos; otro evento fue la “Grati-feria”, que consistió en crear un espacio donde la comunidad era libre de tomar o contribuir con objetos para darles una segunda oportunidad (OGA, 2023). Otra estrategia que ha implementado la UAM-A es la reducción el consumo de desechables en la cafetería subsidiada, gracias a la opción de obtener comida gratis al llevar su propio recipiente (UAM Azcapotzalco, 2023). Sin embargo, el estudio también reveló que, si bien, la universidad ha logrado generar menos residuos, aún existe un desafío en cuanto a la separación de estos, lo que dificulta la recuperación de residuos reciclables.

3.3. Análisis estadístico

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis por color de bote, la cual arrojó un valor-P de 0, por lo que se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas del porcentaje de separación correcta y el color de bote. Este resultado indica que el color de bote sí influye en la separación de los RSU de la comunidad estudiantil. Algunos factores son que los botes blancos son exclusivos para recibir residuos recuperables (limitado a la comunidad a depositar cinco categorías de RSU: envases de vidrio, multicapa, PET, HDPE y aluminio) y los botes rojos reciben el resto de RSU. En la Figura 7 se aprecia que las medianas de los porcentajes de separación represando con la línea vertical dentro de cada caja, se encuentran alejadas entre sí, mientras que el bote blanco cuenta con la mediana en la proporción más baja (26 %), el bote rojo presenta la mediana en la tasa más alta (93 %).

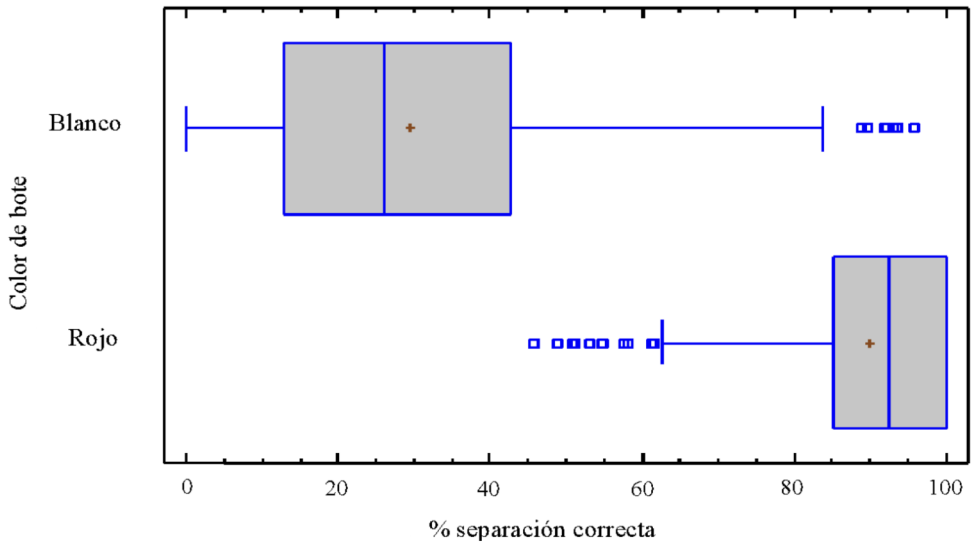


Figura 7: Gráfico de caja y bigotes. Porcentaje de separación correcta con respecto al factor "color de bote"

En el factor de "color de bolsa", la prueba arrojó un valor-P de 0, dado que el valor es menor a 0.05 se demuestra que cuenta con variaciones estadísticamente significativas entre las medianas de los porcentajes de separación y el color de bolsa. El comportamiento se refleja en la Figura 8, que comparte el mismo comportamiento que en botes, pues la complejidad de depositar sólo seis categorías de RSU en bolsas blancas impacta negativamente en la tasa de separación correcta. En cuanto a la separación correcta de las bolsas negras se destacan con una mediana del 74 %, mientras que las bolsas blancas cuentan con un 28 %.

4. Conclusiones

El presente estudio analizó la variación y composición de los RSU en la UAM-A, en cuanto a la generación se ha reducido en un 64.82 % entre 2004 y 2022. Este período (2004 - 2022) coincide con un cambio significativo en los materiales de empaque utilizados por las empresas, pasando del vidrio y cartón (materiales empleados en años anteriores) al plástico. Si bien, este hecho no invalida el éxito de las iniciativas de concientización por parte de la UAM-A, pues estas iniciativas han sido fundamentales para fomentar una cultura de consumo responsable entre la comunidad universitaria.

En cuanto al porcentaje de separación de RSU en los pares de botes instalados en la UAM-A y en las bolsas destinadas al centro de acopio, éste reveló diferencias en la eficiencia de separación, puesto que, el promedio de separación correcta durante las tres semanas muestreadas fue de 29.48 % en los botes blancos y 89.89 % para botes rojos. En el caso de las bolsas blancas, el promedio de separación correcta fue de 32.21 %, mientras que para las bolsas negras se registró un 72.4 %.

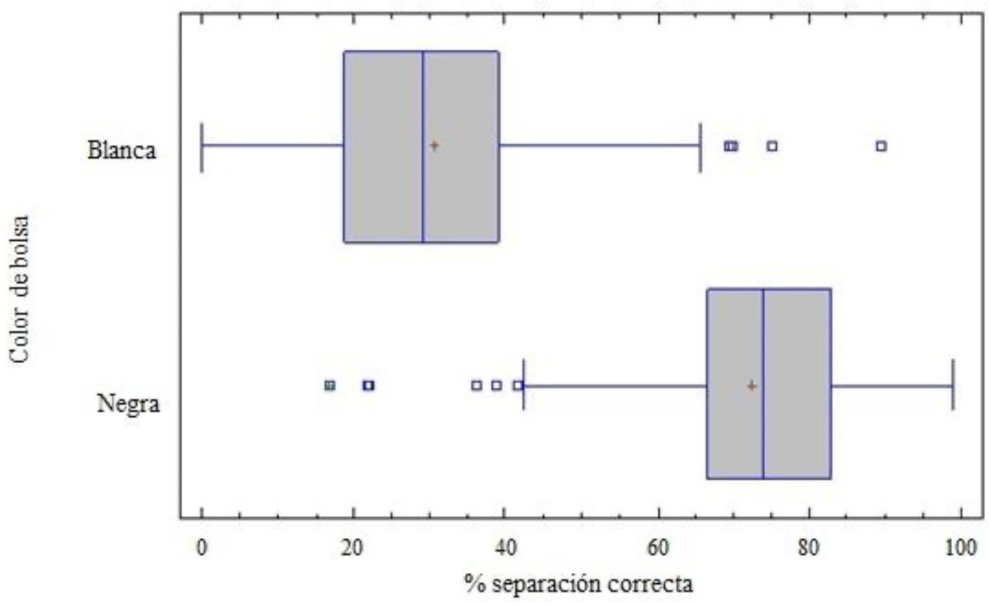


Figura 8: Gráfico de caja y bigotes. Porcentaje de separación correcta con respecto al factor "color de bolsa"

Así se demostró que la comunidad no separa sus residuos correctamente, imposibilitando la recuperación de los materiales con potencial de aprovechamiento. La investigación también evidenció al área de Ciencias y Artes del Diseño del desconocimiento del impacto negativo por la mezcla de RSU y residuos peligrosos (RP), ya que en bolsas provenientes de sus talleres de serigrafía venían mezclados ambos tipos de residuos.

En el análisis estadístico se observaron diferencias estadísticamente significativas en la evaluación del porcentaje de separación correcto e incorrecto, tanto en el factor çolor de boteçomo en el factor çolor de bolsa". Esto confirma un contraste, ya que los porcentajes de separación fueron más altos en las bolsas negras y botes rojos que en las blancas y botes blancos.

Para profundizar el análisis de separación de RSU de futuros estudios se propone realizar muestreos en los mismos pares de botes, abarcando ambos turnos (matutino y vespertino). La elección de los pares debe ser en zonas que analicen el comportamiento de la distribución de las áreas de estudio con las que cuenta a universidad. Es importante dar seguimiento a esta clase de estudios de manera continua, ya que es uno de los compromisos establecidos en el plan de manejo.

Se recomienda capacitar al personal de intendencia para contribuir al funcionamiento del programa, respetando la recolección de residuos por color de bolsa, así como a toda la comunidad en general para que conozcan la importancia de separar y reciclar sus residuos que tienen potencial de ser aprovechados y evitando su contaminación con RP.

Agradecimientos

A mis compañeros y amigos: Vero, Nico, Maribel, Abraham, Cielo y Eli, por el apoyo brindado en los muestreos. Al Dr. Juan Carlos y la Dra. Perla en la recopilación de la información, así como a los operadores del centro de acopio de la UAM-A, don Polo y el Ing. Jon, por la recepción de las bolsas de RSU.

Referencias bibliográficas

[1] Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). (2006). Presentaron SEMARNAT y SEP estrategia de educación ambiental. 11 de octubre de 2006. Disponible en: http://www.anuies.mx/noticias/presentaron-semarnat-y-sep-estrategia-de-educacion-ambiental

[2] Elizagaray, J. L. (2017). Indicador para evaluar la efectividad del Programa de "Separacción por un mejor UAMbiente" en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Universidad Autónoma Metropolitana.

[3] Espinosa Valdemar, R. M., Turpin, M. S., Vázquez Solís, R., Vázquez Morillas, A., Cisneros Ramos, A., De la Torre Vega, A., & García García, B. (2013). La gestión ambiental en una institución de educación superior asociada a las prácticas de separación y recuperación de residuos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 49-57.

[4] Guzmán, J. A. (2015). Estimación de la eficiencia de la separación de residuos recuperables del Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UAM-A. Universidad Autónoma Metropolitana.

[5] Oficina de Gestión Ambiental (OGA). (2023). 20 aniversario "Separacción por un mejor UAMmbiente". Disponible en: https://dcbi.azc.uam.mx/media/Posgrado/Maestria/Ambiental/Eventos/SEPARACCION.pdf

[6] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM Azcapotzalco). (2023). Implementación de comida gratis en la UAM-A a cambio de llevar recipiente propio. Disponible en: https://www.facebook.com/share/p/VU2wLnn1rySJQjLf/?mibextid=xfxF2i

[7] Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). (2022). Anuario Estadístico de la Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en: https://transparencia.uam.mx/inforganos/anuarios/anuario2022/Anuario_Estadistico_UAM_2022.pdf

Una educación ambiental situada para la gestión integral de residuos

Nancy Merary Jiménez Martínez[1], Fidel Olivera Lozano[1]

[1]Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM-UNAM). Av. Universidad s/n, Circuito 2, 62210, Col. Chamilpa, Ciudad Universitaria de la UAEM. Cuernavaca, Morelos. Tels. 777 329 1600

[*]Correo electrónico: njimenez@crim.unma.mx.

Resumen

Esta comunicación presenta el análisis del Cuestionario Diagnóstico Inicial que recoge los conocimientos sobre los conceptos básicos asociados al manejo integral de residuos de la población que labora en el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), como diagnóstico previo a la implantación del Programa Basura Cero. Se trata de una investigación descriptiva, exploratoria y de enfoque cuantitativo, que busca examinar los conocimientos de dicha organización para definir los elementos de una estrategia de educación ambiental en residuos. Los hallazgos enfatizan en que dicha estrategia debe partir del análisis participativo que la comunidad haga de su problemática, promover un aprendizaje significativo e integral, y asentarse en un sistema de gestión ambiental específico.

Palabras clave: *educación ambiental en residuos*, *residuo*, *basura*, *manejo integral.*

1. Introducción

La crisis socioambiental exige nuevas vías para transformar nuestras prácticas en aras de preservar el medioambiente. En el caso de la problemática ocasionada por los residuos se identifica que la fabricación de productos cada vez más sintéticos, no biodegradables, producidos en grandes cantidades y vertidos indiscriminadamente han provocado una contaminación tóxica de gran impacto en todos los ecosistemas (Marchi, C. M. D. F., Pimentel, P. C. B., & Nascimento, M. C. P. 2022). Esta situación se alienta por el alto consumo de bienes y servicios y por la gestión deficiente de los residuos resultantes. Frente a esta problemática, muchos países han establecido marcos regulatorios que determinan principios, objetivos y medios para alcanzar una gestión integral de residuos. En México este marco se integra, además de otros instrumentos, por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) que establece que la información, la educación ambiental y la capacitación son fundamentales para prevenir la generación y lograr el manejo integral de residuos, por lo que promoverá la educación y capacitación de todas las personas, organizaciones y grupos, a fin de modificar los hábitos negativos para el ambiente, prevenir la generación y lograr

el manejo integral de los residuos; es decir, la LGPGIR reconoce que la educación ambiental (EA) es fundamental para avanzar hacia una adecuada gestión de residuos.

Marchi et al.,2022 señalan que la educación ambiental en residuos tiene como objetivo sensibilizar a los sujetos para que comprendan los problemas ambientales y procuren comportamientos adecuados, ya que la EA es promotora de relaciones y conduce a una consecuente construcción de valores que promueven la conciencia sobre el ecosistema y la preservación de los recursos naturales.

Sin embargo, la construcción de estos modelos de resiliencia y adaptación ambiental debe asentarse en un conocimiento para motivar a la acción y hacer que esta se mantenga en el tiempo (Vargas et al., 2021). En el caso que nos ocupa, alcanzar el manejo integral de residuos en una comunidad requiere de un proceso formativo y sensibilizador que parta de la experiencia, conocimientos y percepciones de los sujetos sobre la problemática de los residuos; incentive la transformación de sus prácticas de desecho hacia otras de minimización y aprovechamiento; y haga efectivo en un sistema de gestión integral de residuos articulado a las particularidades de un territorio.

Uno de los mecanismos para avanzar en dicha tarea precisa visibilizar los residuos y provocar la reflexión en torno a estos como un problema individual y colectivo. Esto busca la filosofía Basura Cero promovida por Robin Murray, para quien el acto de consumir y desechar de la forma en que lo hacemos ha dado lugar a un sistema y una perspectiva política que, en lugar de abatir el problema, reproduce el ciclo de producción-consumo-descarte. Por ello, propone a Basura Cero como una aspiración ética, que se distingue por plantear una alternativa colectiva para romper con dicho sistema y reestablecer los ciclos biológico y material de los residuos; el primero, a partir del proceso de compostaje y el segundo, mediante el reciclaje que preserve la energía, el valor de los materiales y el trabajo inmanente en estos. Pero también señala que Basura Cero es una metodología para visibilizar la generación de desechos en todos los niveles (desde la producción hasta el consumo) y a partir de ello, construir formas novedosas para disminuirlos, reutilizarlos y reciclarlos (Murray, 2002).

El programa Basura Cero, inspirado en dicha filosofía, es uno de los pilares de trabajo de la "Estrategia Transdisciplinaria de Investigación y Resolución de la Problemática Nacional de los Residuos Sólidos Urbanos aplicada en seis ciudades mexicanas", un Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (PRONAII) financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) (Armijo de Vega, 2022).

Desde ese PRONAII, Basura Cero busca erigirse como un sistema de gestión integral de residuos que desarrolla una infraestructura y una logística orientadas hacia el aprovechamiento y la valorización, acompañado de nuevas prácticas de manejo asentadas en la formación de conocimientos, competencias y actitudes para operarlo; y replicarse en nodos estratégicos de la administración pública: universidades, centros educativos, oficinas gubernamentales, entre otros, porque considera que el sector público es un ámbito privilegiado para sostener, promover y hacer posible esta aspiración, dada su orientación hacia el interés público, la conducción de sus sistemas de ges-

tión y relaciones con terceros bajo principios de responsabilidad social, así como el compromiso de formar una ciudadanía comprometida con el bien común.

Además, las organizaciones que conforman el sector público tienen las capacidades y el liderazgo suficiente para adoptar prácticas alternativas aplicables a sí mismas y extensibles hacia otros públicos (visitantes, proveedores, poblaciones de atención objetivo), de modo que son motores de un proceso multiplicador. Con la premisa de construir escenarios de intervención para que diversas organizaciones públicas participen desde varios frentes en la EA en residuos, se presentó la propuesta de Basura Cero al mismo organismo financiador del PRONAII: el CONAHCYT.

El sistema de gestión propuesto despliega una Ruta de Implementación de Programas de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos- Basura Cero, mejor conocida como RIB0, que detalla actividades y tareas para desarrollarlo y parte de un diagnóstico, tanto del manejo operativo de los residuos como de los conocimientos, percepciones y disposiciones de la población objeto de la intervención, a fin de establecer la problemática particular y el punto de partida de las estrategias de educación, capacitación y comunicación del programa Basura Cero y facilitar que la población adquiera los conocimientos, competencias y actitudes hacia el manejo integral de residuos desde una perspectiva integral.

Por tanto, el sistema Basura Cero es un modelo de educación ambiental situada (EAS) para la gestión integral de residuos. La EAS es una propuesta tiene como referencias conceptuales a la Investigación Acción Participativa, que coloca al sector popular en una posición participativa para la transformación de su realidad social; a la educación ambiental comunitaria, que otorga una centralidad a la participación comunitaria y el diseño colectivo de soluciones; a la educación basada en el lugar, que propone que la educación debe salir de las aulas y llevarse a la comunidad; a la place pedagogy, desde la cual el lugar es punto de partida y éste se asume como encarnado, representado y en disputa; el aprendizaje situado, es decir, en su contexto de referencia, para que este tenga sentido y en la dimensión afectiva, axiológica y valorativa (Batres, 2020).

El programa Basura Cero es una estrategia de EAS dado que tiene como punto de partida el análisis participativo que la comunidad hace de su problemática, derivado de dicho diagnóstico se diseñan colectivamente las acciones para resolverla, las cuales responden a un contexto específico; desde diagnóstico y contexto se promueve un aprendizaje significativo e integral, que a partir de la transformación de prácticas de consumo y desecho, apunta a la construcción de valores y una responsabilidad ambiental.

Esta investigación presenta el análisis del diagnóstico de conocimientos, específicamente de los conceptos básicos asociados al manejo integral de residuos (MIR) de la población del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) previos a la implantación del Programa Basura Cero del PRONAII. Con su presentación se reafirma que, tal como lo establece la LGPGIR, la EA en residuos es fundamental para lograr el manejo integral de residuos; sin embargo, ésta debe ser situada: basarse en un diagnóstico que la comunidad haga de su problemática y que arroje los datos necesarios para el diseño de procesos formativos pertinentes para dicha comunidad, pero diferenciados para los distintos tipos de personas y grupos que la integran

y orientarse a fortalecer el sistema de gestión ambiental que resuelva su problemática, en este caso del programa Basura Cero.

2. Metodología

Esta investigación corresponde a un estudio descriptivo exploratorio, de enfoque cuantitativo. De acuerdo con la RIB0, para recoger los datos iniciales se aplica un cuestionario con preguntas cerradas y algunas preguntas abiertas, estas últimas reciben un tratamiento cualitativo que consiste en identificar la información temática que ilustre o aclare el significado del concepto para las personas encuestadas. No obstante, el núcleo principal de análisis es cuantitativo.

El cuestionario fue propuesto y validado originalmente por académicos de la UNAM Campus Morelos en 2016, quienes iniciaron con el programa Basura Cero que después fue retomado por el PRONAII. Una vez conformado el equipo de trabajo PRONAII en 2022, el instrumento fue revisado y ajustado, actualmente se denomina "Cuestionario Diagnóstico Inicial" y consta de 33 preguntas que recogen información en tres secciones: aspectos sociodemográficos de los participantes y su relación con la organización; conocimientos sobre los conceptos básicos y sobre la normatividad aplicable a residuos; y los hábitos, conductas y actitudes que tienen hacia estos.

Se trata de un instrumento movilizado como técnica de la investigación acción participativa que prioriza las reflexiones, percepciones y conocimientos de los participantes en la definición de la problemática que experimentan en su cotidianeidad. Este trabajo presenta el análisis de los conocimientos sobre los conceptos básicos y los relaciona con los datos sociodemográficos.

En el caso del CONAHCYT, el instrumento se envió por correo a todo el personal (650 personas) y fue contestado de forma anónima por 521 personas, durante un periodo de quince días en 2023. De manera que en este ejercicio participó 80.1% de la población total. 92.9% de las personas participantes son empleadas del CONAHCYT, 4.9% corresponde a personal externo y 1.2% definió que tiene "otro" tipo de relación con la organización. De acuerdo con su autoidentificación de género, 62.4% son mujeres, 35.1% son hombres, 1.9% prefirieron no decirlo y 0.4 se identifican como género no binario. Según su estado civil, 36.3% de las mujeres son casadas y 51.1% solteras; 50.3% de los hombres son casados y 42.1% solteros; entre quienes prefirieron no decir su condición, 20% están unidos, 10% solteros y 70% prefirió no decirlo; el personal no binario es soltero.

De acuerdo con su escolaridad, 55.7% de la población que respondió el cuestionario tiene estudios de nivel superior; 14.6% de maestría, 12.5% cuentan con carrera técnica y 10.2% con educación media superior; es decir, se trata de una población que cuenta mayoritariamente con una escolaridad alta. Al hacer la división por sexo, se observa que 56.6% de las mujeres posee estudios de nivel superior, 14.5% de maestría, 14.2% carrera técnica y 7.7% cuenta con estudios de nivel medio superior. Para los hombres, 54.6% tiene estudios de nivel superior, 15.3% de maestría, 14.8% de nivel medio superior y 9.8% poseen una carrera técnica. Aquellas personas que se identificaron como no binarias presentan 50% de casos en nivel superior y 50% en maestría. De

los que prefirieron no ubicarse en ninguna de las clasificaciones anteriores resalta que 50% posee estudios de nivel superior, 20% de doctorado, 10% de carrera técnica, 10% tiene educación media superior y 10% en secundaria.

3. Resultados y discusión

Para el programa Basura Cero, un aspecto importante en el diagnóstico de la problemática es identificar en la población de intervención qué tan familiarizados están con los conceptos esenciales de un manejo integral de residuos, pues dichos conocimientos explican parte del manejo que impera en la organización y las (posibles) resistencias hacia un programa de manejo integral.

Entre los conceptos básicos que se exploraron con el instrumento se encuentran: la diferencia entre basura y residuos, el manejo integral de residuos, la separación de residuos, el compostaje y qué hacer con los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. A continuación, se exponen los resultados de su análisis según sexo y escolaridad.

3.1. Basura y residuos

La diferencia entre basura y residuos fue el punto de arranque para identificar los conocimientos de la población. Los resultados arrojan que 48.6% del personal que labora en la organización manifestó no saber la diferencia entre basura y residuos. De esta población, 56.1% posee estudios de nivel superior, 14.2% de maestría, 14.2% de carrera técnica y 10.7% educación media superior (ver Tabla 1).

Tabla 1: ¿Sabe usted la diferencia entre residuos y basura?

Escolaridad	NE	No la sé	Si la sé	Total
Carrera Técnica	0.00%	14.20%	10.90%	12.50%
Doctorado	0.00%	2.00%	7.10%	4.60%
Maestría	0.00%	14.20%	15.00%	14.60%
Media superior	0.00%	10.70%	9.80%	10.20%
Secundaria	0.00%	2.80%	2.30%	2.50%
Superior	100.00%	56.10%	54.90%	55.70%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia con base en cuestionario CONAHCYT

Del total de mujeres, 45.5% no sabe la diferencia entre los conceptos de basura y residuos, destaca que, de este grupo 58.8% tiene estudio de licenciatura, 17.6% de carrera técnica y 14.9% de maestría. Por otro lado, del total de hombres, 53.5% no conocen la diferencia; de estos 54.1% posee estudios de nivel licenciatura, 15.3% educación media superior y 13.3% de maestría.

Estos resultados hacen evidente la necesidad de una EAS en residuos para todo el personal, pues llama la atención que una población altamente escolarizada y adscrita a una dependencia

pública federal no conozca ampliamente la diferencia entre basura y residuo y que esta falta de conocimiento se acentúe en la población masculina.

Una de las preguntas abiertas del instrumento profundizaba en la diferencia entre basura y residuo. Se tuvieron 257 respuestas diferentes, luego de una codificación cualitativa, se identificaron cuatro ideas principales que ilustran de manera general estos conceptos en la población: la basura como algo despectivo; el residuo es reciclable; una definición relacional; y concepciones erróneas. A continuación, se describe cada una de estas ideas.

"La basura es algo despectivo" indica una visión peyorativa hacia la basura. Se asocia a algo que ya no tiene utilidad, algo inservible, inutilizable, a un material sobrante que no puede volver a usarse; que debe desecharse porque ya no se ocupa, no se utiliza ni se obtendrá una utilidad futura. De las respuestas que integran esta idea negativa se destacan tres imágenes interesantes, una refiere a la basura como residuos sin manejo; muy cercana a ésta se tiene que la basura son los desechos inorgánicos y orgánicos que no se separan cuando se retiran de los botes. Estas dos ideas vinculan lo negativo de la basura a un proceso, ya sea de manejo o de separación, y se atribuye a éste la basura resultante, de modo que la basura no es despectiva en sí misma, sino el proceso con que se maneja, aunque no imputan responsabilidad a algún actor específico.

Finalmente, la idea más interesante de este bloque indica que:

> *basura es un término despectivo que se refiere a algo que debemos desechar y seguir su curso, sin cuestionarnos adónde llega, cómo continúa en el planeta, a qué personas podría afectar en el camino, es decir, es el simple hecho de tirar algo que ya no me sirve sin ser introspectivo al respecto del impacto que "ese algo" tiene en la sociedad y en el planeta.*

Se trata de una autorreflexión, tipo sistémica, que conecta las acciones individuales con lo que ocurre más allá de mi ámbito personal, que identifica afectaciones por dicha acción y atribuye una responsabilidad al generador de residuos. Esta concepción está poco extendida entre la población de estudio, por lo que la EAS en residuos debería apuntar hacia este tipo de reflexiones, que reaccionan críticamente a la realidad, y promueven nuevas relaciones y valores.

En la idea "el residuo es reciclable" abundan las referencias al residuo como un material que, una vez que cumplió su función continuará aprovechándose. La imagen más extendida es que un residuo se puede reciclar; le sigue en importancia que un residuo se puede reutilizar. En este bloque predominan también las referencias al tratamiento para que el reciclaje o la reutilización sean viables, así como las respuestas ejemplificativas: residuos son el plástico, el vidrio, el papel, el cartón, etcétera. Además, se identifican dos ideas sobresalientes: todo es residuo de algo, pero si se realiza un tratamiento adecuado, podría potencialmente reintroducirse en la cadena productiva a través de un proceso de reciclaje o reuso. Muy cercana a esta idea se ubica que el término residuo sirve para identificar a aquellos materiales que pueden tener valor en sí mismos al ser reutilizados o reciclados. Estas afirmaciones abren la problemática a una serie de condiciones técnicas, logísticas, de mercado, políticas y de gestión, necesarias para hacer efectivo el aprovechamiento y

enfatizan en que la característica que hace a un residuo como tal, radica en la forma en que dicha condición fue definida de forma exógena, no en alguna característica intrínseca a este.

Una estrategia de EAS en residuos también debe ser integral y considerar, además de los mecanismos de manejo internos a la organización, otros externos asociados a la problemática que busca resolver; es decir, debe ser pertinente en términos territoriales, en este caso, debe informar sobre las restricciones tecnológicas y de mercado que imperan para el reciclaje de ciertos subproductos y sensibilizar a la población generadora sobre su dinamismo. En otras palabras, la EAS en residuos debe ser contextualizada a las posibilidades y limitaciones en que se inserta el sistema de gestión, que son las propias del entorno; por lo que una EAS en residuos debe atender a la realidad y construirse con relación con el territorio, en lugar de plantearse de forma genérica o aislada.

Un tercer bloque propone una definición relacional, es decir en correspondencia con el otro concepto, pero destacándose como opuestos. Así las respuestas más ilustrativas fueron: los residuos pueden ser reutilizados. . . la basura no; basura es lo que no se puede reutilizar y/o reciclar, en cambio el residuo se puede reutilizar o reciclar; basura es todo aquello que no se puede reciclar, mientras que los residuos sí.

El último bloque hace referencia al código que hemos denominado como "concepciones erróneas". Se trata de respuestas que, de acuerdo con los participantes son adecuadas para diferenciar a los residuos de la basura; sin embargo, sus interpretaciones son equivocadas o imprecisas: ¿qué son los residuos y ejemplos? Es todo desecho sin origen biológico, de índole industrial o de algún otro proceso artificial; Basura es aquello que está hecho con plástico o algún material; residuos son los sobrantes.

Estos dos últimos bloques enfatizan lo identificado en la exploración cuantitativa: la necesidad y urgencia de emprender una estrategia institucional amplia de EAS en residuos para difundir información precisa, pues incluso quienes afirmaron que conocen la diferencia entre basura y residuos tiene conceptos erróneos; pero también para capacitar sobre las prácticas que deben desarrollarse para tratar a los residuos, pues ni todo es basura, ni todo residuo se puede reciclar en todas partes. Con esta iniciativa, la organización influiría en el pensamiento ambiental de sus miembros, desarrollaría prácticas ambientales y construiría una identidad institucional proclive al cuidado del medioambiente.

3.2. Manejo integral de residuos

Otro de los aspectos clave que interesó conocer es si la población identifica o está al tanto de qué es el manejo integral de residuos (MIR). Los resultados indican que en el Consejo 49.7 % de las personas ha escuchado algo, pero no están familiarizadas con el término; 36.7 % no sabe y 11.9 % sí lo conoce.

De quienes sí lo conocen, 50 % tiene estudios de licenciatura, 21 % de maestría y 11.3 % de carrera técnica. Mientras que quienes no lo conocen, 58.1 % tiene estudios de licenciatura, 15.7 % cuenta con carrera técnica y 10.5 % con educación media superior. Lo que apunta a que no hay una

diferencia significativa entre quienes cursaron una educación superior y quienes no para conocer sobre este concepto (ver Tabla 2).

Tabla 2: ¿Sabe usted, lo que significa Manejo Integral de Residuos?

Escolaridad	NE	He escuchado el término, pero no sé qué es	No tengo idea	Si lo sé	Total
Carrera Técnica	0.0%	10.8%	15.7%	11.3%	12.5%
Doctorado	11.1%	4.6%	3.1%	8.1%	4.6%
Maestría	0.0%	17.0%	9.9%	21.0%	14.6%
Media superior	22.2%	10.4%	10.5%	6.5%	10.2%
Secundaria	11.1%	1.9%	2.6%	3.2%	2.5%
Superior	55.6%	55.2%	58.1%	50.0%	55.7%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia con base en cuestionario CONAHCYT

Por sexo, se observa que un mayor porcentaje de mujeres (53.5%) ha escuchado sobre el término y 33.5% no tiene idea, con lo que las mujeres presentan la menor proporción de quienes sí conocen del manejo integral de residuos (11.1%). Mientras que para los hombres esa proporción es de 13.1%.

Según el nivel de instrucción, las mujeres con nivel de escolaridad de secundaria desconocen totalmente el concepto, en tanto que 55.6% de las que lo no lo conoce tiene estudios de licenciatura y 13.9% doctorado, maestría o carrera técnica. Nuevamente, estos resultados reafirman la necesidad de contar con una EAS en residuos amplia, para todo tipo de poblaciones y al margen de los sistemas de educación formal, pues se reafirma que cursar estudios superiores no garantiza un mejor conocimiento de los conceptos básicos asociados al MIR.

Otra de las preguntas abiertas profundizó en la definición del manejo integral de residuos. Los resultados arrojaron 80 respuestas, que van desde enunciar las definiciones establecidas en la LGPGIR, hasta adoptar medidas de separación; el aprovechamiento de los residuos en transformación para materiales nuevos; es decir, nociones acotadas a una de las etapas del MIR y estrechamente relacionadas con la idea predominante de "el residuo es reciclable".

También se tuvo la siguiente reflexión de una persona participante:

> *la última década, la generación de residuos en México rebasó la capacidad sin tener un adecuado manejo de gestión de los residuos, si esta problemática no es atendida de manera urgente, en corto tiempo estarán presentes problemas de índole ambiental, de salud, sociales, financieros y políticos que serán incosteables e irreversibles. La creciente demanda de bienes y servicios de la población cuyos patrones de consumo son cada vez más demandantes, requirió una mayor cantidad de materias primas por parte de las industrias y empresas, lo que ocasionó la generación de distintos tipos de residuos ocasionando una fuerte problemática. De ahí la importancia de promover la prevención, el aprovechamiento, el tratamiento y el adecuado manejo integral de los residuos para lograr un desarrollo sustentable.*

Sin embargo, aunque se trata de una reflexión sistémica, que enuncia algunas fases del MIR tampoco responde a qué significa este, con lo que vemos que el manejo integral de residuos no es un concepto corriente entre la población del CONAHCYT y tampoco es estable ni está bien afianzado entre quienes aseguran que están familiarizados con este.

3.3. Ley general para la prevención y gestión integral de residuos

Sobre el conocimiento de la LGPGIR se observa que 68.5% de la población encuestada no la conoce, 22.6% ha escuchado, pero no la ha leído; sólo 5.8% ha leído algunos artículos, 2.5% la ha leído y sólo 0.2% tiene muy buen conocimiento sobre esa Ley.

Por sexo se puede observar que, la proporción de personas que han escuchado de la LGPGIR pero no la han leído es inferior en las mujeres 20.9% por 26.8% en los hombres; mientras que la proporción de quienes la han leído es mayor para las mujeres 2.8% por 1.6% para los hombres; destaca que 68.9% de las mujeres y 67.8% de los hombres no la conocen. Cerca de 0.3% de las mujeres tiene muy buen conocimiento de la Ley, mientras que ningún hombre tiene esta condición.

Esta situación es preocupante. El bajo el porcentaje de personas que declararon tener buen conocimiento de la Ley, nos hace preguntarnos cómo se atienden las obligaciones en materia de residuos de este gran generador (CONAHCYT) y por añadidura, cuál es la situación que prima en otras organizaciones de la administración pública que comparten sus características.

Adicionalmente, se preguntó si conocían alguna otra normatividad ambiental en materia de residuos en la Ciudad de México, se encontró que sólo 10.4% del personal del Consejo conoce alguna normatividad ambiental local en la materia, de ellos 68.5% tiene estudios de nivel superior, 14.8% de maestría y 7.4% de carrera técnica. Por sexo 10.95% de los hombres tienen conocimiento de alguna normatividad por 9.5% para las mujeres.

3.4. Separación de residuos

Se preguntó sobre el grado de facilidad o no de separar residuos y se encontró que la tercera parte de la población que labora en el Consejo opina que separar los residuos es fácil y rápido (31.7%), en tanto 24.2% lo toma como una actividad normal, 21.7% dice que es muy fácil y rápido y 17.9% dice que es fácil pero quita tiempo. Sólo 2.9% dice que es una actividad difícil y que quita tiempo y 1% que es muy difícil y quita mucho tiempo.

La percepción del personal del CONAHCYT es que la separación de residuos debería ser obligatoria (48.6%); para otros (27.3%) es necesaria y 21.7% la encuentran muy necesaria. Por sexo, se aprecia que la obligatoriedad en la separación de residuos tiene mayor aceptación en las mujeres (52.9%) que en los hombres (43.2%). Los resultados sobre la percepción de la obligatoriedad en la separación de residuos, según el estado civil se presentan en la Tabla 3.

Además, se preguntó cómo deberían de ser separados los residuos. Los resultados indican que son tres las respuestas determinantes. La más importante a nivel general es separar en orgánicos e inorgánicos con 43.8%; le sigue la de en orgánicos, plásticos, papel, cartón, metales, vidrio y basura

Tabla 3: Obligatoriedad: separar los residuos

Estado civil	NE	Obligatorio	Muy necesario	Necesario	No sirve de nada	Total
Casado (a);	0.0%	50.0%	25.0%	25.0%	0.0%	100%
Divorciado (a);	3.8%	42.3%	23.1%	30.8%	0.0%	100%
Prefiero no decirlo	0.0%	40.0%	16.7%	40.0%	3.3%	100%
Soltero (a);	0.4%	52.8%	17.9%	27.6%	1.2%	100%
Total	0.4%	48.6%	21.7%	27.3%	2.1%	100%

Fuente: Elaboración propia con base en cuestionario CONAHCYT

con 39.3%; y la de separar en composteables, valorizables y no valorizables, con 4.8%. La primera propuesta de separación tiene mayor proporción de respuestas de hombres solteros y casados; en tanto que las mujeres casadas y solteras presentan mayores proporciones en la segunda opción, es decir, en una separación más exigente.

Finalmente, ante la pregunta de que "si los demás separan sus residuos, yo…", 96.3% de los solteros dijo que también lo haría, y para los casados es de 94.8%, en tanto que 3.8% de los casados y 2.4% de los solteros, dijo no interesarle. Por sexo se observa una ligera mayor propensión a participar por parte de las mujeres, tanto solteras como casadas, respecto de los hombres y ligeramente superior en las solteras.

Estos resultados apuntan a que la estrategia de EAS en residuos debe proveer la información suficiente para incentivar la toma de decisiones y las prácticas de manejo integral de residuos individuales y colectivas, en este caso de separación de residuos; pero también que dicha EAS en residuos debe abonar a la construcción de principios y valores que sustenten el por qué y el para qué de dichas prácticas de manejo.

3.5. Compostaje

Otro concepto que se exploró fue el compostaje. De la totalidad de personas encuestadas, 90.6% respondió que el compostaje es procesar los residuos de comida para generar abono natural; 4.6% dijo que es separar los residuos de comida y llevarlos separados al relleno sanitario; y 3.5% que es separar los residuos de comida y usarlos para alimentar ganado.

Por sexo, se observa que las mujeres tienen una mayor proporción de respuesta en "procesar los residuos de comida para generar abono natural" con 92% por 88% para los hombres. En tanto, sólo 2.5% de ellas contestó que separar los residuos de comida y llevarlos separados al relleno sanitario, por 9% para los hombres.

3.6. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

El último aspecto sobre conocimientos y conceptos básicos que se exploró tuvo que ver con preguntar qué se debe hacer para disponer de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Las respuestas indican que 55.9 % de las personas no sabe qué hacer con estos residuos; y por sexo, la proporción de desconocimiento se acentúa en los hombres (57.9 %), comparado con las mujeres (53.5 %).

Al igual que en otros apartados, se preguntó que, si sabía qué hacer con los RAEE, lo explicara. Se tuvieron 229 respuestas que se organizan en dos bloques muy relacionados: "depositarlos en contenedores especiales" donde abundan las referencias a *contenedores para basura electrónica*, *almacenar en un lugar protegido*, *apartarlos de la basura en general*, *disponerlos como basura electrónica*; y el segundo bloque "llevarlos a un centro de acopio para su reciclaje", donde proliferan las referencias a *campañas de recolección de residuos electrónicos (Reciclatrón)*, *proceso especial*, *llevarse a un depósito especial o lugares designados para su tratamiento*, *llevarlos a puntos autorizados o lugares indicados*.

De estas respuestas es posible observar que, aunque las personas afirmaron que sí sabían qué hacer con los RAEE, las respuestas no son concretas, no hay precisión en el destino final para estos residuos. Además, hay una pequeña diferencia entre ambos bloques. El primero implica que la responsabilidad del generador termina al depositarlo en un contenedor, con cierta vaguedad de dónde se ubique dicho contenedor; mientras que en el segundo bloque la responsabilidad del generador es más amplia, pues implica llevarlos a un punto específico, como el Reciclatrón, un programa de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México que promueve el correcto manejo, separación y reciclaje de residuos electrónicos y eléctricos.

Los resultados de estos dos últimos conceptos, el compostaje y la disposición final de los RAEE, dan cuenta de la necesidad de que la EAS en residuos vincule a la comunidad del CONAHCYT con procesos de transformación que incidan en el desarrollo. En el caso que nos ocupa, los residuos y su desecho son aspectos donde la responsabilidad individual y colectiva confluyen en la organización, por lo tanto, representan un ámbito para que el CONAHCYT se resignifique a partir de este proceso formativo interno.

3.7. Conclusiones

El objetivo principal del programa Basura Cero del PRONAII es construir un sistema de gestión integral de residuos en cada organización participante, afianzado en una infraestructura y una logística orientadas hacia el aprovechamiento y la valorización de residuos y acompañado de una Educación Ambiental Situada que desarrolle en la comunidad y sus públicos, el conocimiento, las habilidades, la actitud y el compromiso colectivos para resolver en su entorno inmediato la problemática derivada de la mala gestión de los residuos.

Este trabajo demuestra que el diagnóstico es un mecanismo necesario para iniciar con una estrategia de EAS en residuos amplia y abierta, pero diferenciada, con un contenido pertinente a la edad, sexo y escolaridad de sus destinatarios, ya que a menudo estas estrategias se orientan hacia infancias o juventudes y se acotan a ámbitos de educación formal; otras se enfocan al ámbito

de la educación no formal como talleres, cursos de verano o espacios lúdico-recreativos; y muchas veces se presentan en forma general, sin relación al entorno o se plantean de forma superficial.

Los resultados de esta investigación apuntan que en el CONAHCYT es importante afianzar la diferencia entre basura y residuos para transitar de una visión peyorativa de ésta hacia un manejo de materiales susceptibles de aprovechamiento y valorización. También es importante aclarar que el manejo integral de residuos va más allá de separar y aprovechar los residuos, que implica otras actividades y que estas deben responder a las necesidades de cada organización y cumplir objetivos de valorización, pero también de eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social. Es importante enfatizar que la EAS en residuos debe ser contextualizada al territorio y sus dinámicas, y orientarse a apuntalar el desarrollo del sistema de gestión integral de residuos específico de la organización.

Asimismo, se debe hacer una amplia difusión de la LGPGIR, su reglamento y todas las normas y estándares técnicos asociados al manejo de residuos, pues este tipo de organizaciones son grandes generadores residuos y deben cumplir con requisitos especiales para minimizar la generación y maximizar la valorización de estos. Todos estos aspectos deben de tener una orientación de género, pues tanto hombres como mujeres exhiben deficiencias diferenciadas en estos conocimientos.

En cuanto a las posibles resistencias que el programa Basura Cero podría enfrentar en el CONAHCYT, es importante diseñar una campaña de comunicación para atender a esos segmentos de población masculina que identifican que separar los residuos es difícil y quita tiempo (2.9 %) o es muy difícil y quita mucho tiempo (1 %); aprovechar el mayor compromiso de la población femenina en cuanto a una obligatoriedad en la separación y a una mayor exigencia sobre la forma de hacerlo (diferenciando varias categorías de residuos reciclables); y ofrecer mecanismos de formación que faciliten que la población se familiarice con determinados conceptos como el compostaje y la disposición adecuada de RAEE.

El programa Basura Cero del PRONAII busca que se dote a la comunidad de incidencia de una mayor sensibilidad hacia la problemática de los residuos, se comprenda su impacto en tanto sistema de producción- consumo-descarte, se construyan internamente y en lo local las respuestas necesarias para revertir dicho sistema, se profundicen los valores sociales y ecológicos de dicha comunidad, se fomenten actitudes responsables para el manejo de residuos, se induzca al consumo responsable y se diseñen los mecanismos de evaluación del propio programa.

Una estrategia de EAS en residuos debe considerar los conocimientos previos, y a partir de su diagnóstico incorporar la información necesaria para desarrollar el pensamiento integral, crítico, sistémico de la comunidad de intervención y avanzar al desarrollo de prácticas de manejo integral concretas, por ello dicha EAS en residuos debe estar estrechamente relacionada con un sistema de gestión ambiental específico; es decir, con políticas, disposiciones e infraestructura que permitan incorporar el aprendizaje de forma significativa y aplicarlo en la práctica cotidiana

Referencias bibliográficas

[1] Armijo de Vega, C. (2022). El programa Basura Cero y la estrategia transdisciplinaria de investigación y resolución de la problemática nacional de residuos sólidos urbanos. *La Escoba* (4), 3-8. https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/publicaciones_conacyt/la_escoba/La_Escoba_04.pdf

[2] Batres, J. A. (2020). Educación ambiental en el lugar de interés y con la participación de las personas. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (28), 106-124. https://doi.org/10.17141/letrasverdes.28.2020.4719

[3] Marchi, C.M.D.F., Pimentel, P.C.B., & Nascimento, M.C.P. (2022). Solid waste in the context of environmental education, the mangrove ecosystem, and photography. *Ambiente & Sociedades*, 25, e 01022. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210102r215oa

[4] Murray, R. (2002). *Zero Waste*. Greenpeace Environmental Trust: London, United Kingdom. Nueva Ley Publicada en el Diario Oficial, de la F. el. (s/f). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Gob.mx. Recuperado el 7 de julio de 2024, de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf

[5] Vargas, C., Gutiérrez, M., Velez, D., Gómez, M., Aguirre, D., Quintero, L., Franco, J. (2021). Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad. *Pensamiento & Gestión*, 5º. 117-152. https://doi.org/10.14482/pege.50.628.445

Parte IX

Microplásticos

Caracterización de residuos plásticos en la composta de la UAM Azcapotzalco

Aidee Yeraldy Cruz Guadarrama, Juan Carlos Álvarez Zeferino*, Arely Areanely Cruz Salas, Rosa María Espinosa Valdemar

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 420, Col. Nueva el Rosario, C.P. 02128, Alcaldía Azcapotzalco, CDMX, México.

*Correo electrónico: jucaf@azc.uam.mx

Resumen

La composta producida en la planta de composta de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco (UAM-A) es utilizada en las áreas verdes y arbolado de la unidad. Sin embargo, la presencia de residuos inorgánicos decrementa su calidad. La presente investigación tuvo como objetivo identificar los residuos inorgánicos presentes en la composta y clasificarlos respecto al material y la fragmentación de este. La metodología que se siguió fue la obtención de una muestra de 951.21 kg de composta. Posteriormente, se retiraron los residuos inorgánicos visibles y se les realizó un cuarteo para obtener una muestra representativa, la cual se clasificó en diferentes categorías. Los resultados demostraron que, en términos de residuos inorgánicos, los más abundantes fueron las envolturas plásticas de dulces (41.67 % en piezas) y, en cuanto a los fragmentos, los residuos plásticos (73.33 % en piezas). Es de vital importancia retirar los residuos y fragmentos de la composta, ya que la mayoría son de materiales plásticos que posteriormente se pueden convertir en microplásticos, causando afectaciones al ambiente. Por lo anterior, es necesaria la implementación de una campaña de concientización hacia la comunidad universitaria acerca de los residuos inorgánicos depositados en áreas verdes, ya que al mezclarse con los orgánicos van a dar a la planta de composta.

Palabras clave: *contaminación*, *fragmentos*, *mejorador de suelos*, *microplásticos*

1. Introducción

El composteo es una de las técnicas más utilizadas a nivel mundial para el tratamiento de los residuos orgánicos. Según Haug (1993), el composteo es la descomposición biológica y estabilización de un sustrato orgánico en condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas como resultado del calor producido biológicamente. Dichas condiciones especiales son la humedad y la aireación, lo cual permite obtener un producto estable, libre de patógenos, para ser utilizado como mejorador de suelo.

La Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco (UAM-A) cuenta con áreas verdes y arbolado que producen residuos tales como: hojas, ramas, troncos, pasto y flores. De acuerdo

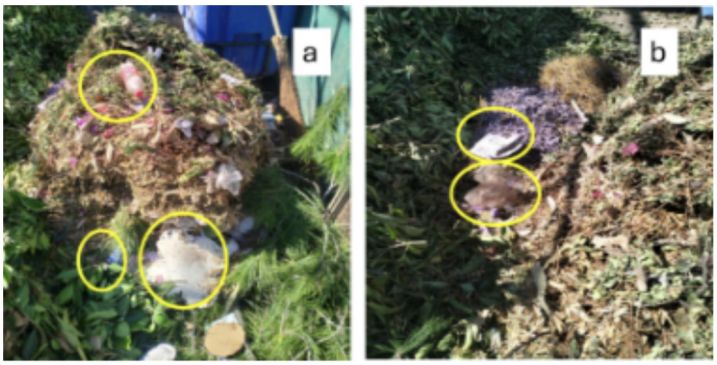


Figura 1: Residuos inorgánicos encontrados en el material de poda y jardinería. a) botella plástica, empaque multicapa y empaque de cartón, b) envoltura metalizada y bolsa plástica

con un estudio realizado en septiembre del 2022, la generación promedio de residuos de poda y jardinería (RPJ) que llegó en ese entonces al centro de acopio fue de 255.42 kg/semana en temporada de otoño (Separacción, 2022). Por otro lado, en la planta de composta (PlanCom) se recibieron en promedio 400 kg/semana en la misma temporada (Espinosa Valdemar et al., 2023), lo que significa que la PlanCom recibe aproximadamente el 61.03 % de los residuos de poda y jardinería generados en la UAM-A.

La PlanCom se inauguró en noviembre de 2023, ubicada a un costado de la puerta 1 de la unidad. El objetivo principal es el tratamiento de una parte de los residuos orgánicos generados en la universidad para la obtención de un mejorador de suelos que pueda ser aplicado en sus áreas verdes y arbolado (Espinosa Valdemar et al., 2023). En la PlanCom, el material que se recibe se utiliza para montar pilas de dimensiones 2.5 x 7 x 1.5 m (Luna Rivera et al., 2024); la aireación se realiza por medio de volteo manual (bieldos).

Los residuos que se reciben en la PlanCom en ocasiones contienen residuos inorgánicos (RI) provenientes de una disposición inadecuada en las áreas verdes (ver Figura 1). Dichos residuos son retirados manualmente de los RPJ antes de ser utilizados en las pilas. Sin embargo, algunos de ellos prevalecen debido a que se encuentran entre conglomerados de hojarasca o pasto, o bien algunos residuos como el papel y bolsas transparentes se ensucian, impidiendo su visualización y su retiro del proceso. La mayor proporción de los residuos inorgánicos observados incluye plásticos, tales como envolturas de dulces, cubiertos, bolsas, entre otros, además de vidrios, metales, papel, cubrebocas y colillas de cigarro, siendo estas últimas muy recurrentes a pesar de estar prohibido fumar en la universidad (Secretaría General, 2023).

Los residuos plásticos en el proceso de composteo están expuestos a procesos de degradación, tales como: mecánica, debido al volteo manual de las pilas; térmica, por la etapa termófila de las pilas de composta; química, por los cambios de pH que suceden en el proceso; y por último, biológica, que ocurre por la actividad microbiana (Posada Bustamante, 2012). La importancia de retirar

los residuos plásticos y fragmentos radica en que estos pueden convertirse en microplásticos, los cuales hoy en día son omnipresentes (Galloway et al., 2017).

El objetivo de la presente investigación es cuantificar y clasificar los residuos inorgánicos encontrados en la composta madura, identificando las proporciones en las que estos se encuentran y evaluando las posibles afectaciones que estos generarían en caso de no ser retirados, abordando particularmente el caso de los residuos plásticos, puesto que son los más representativos. Estos datos permitirán establecer medidas para concientizar a la comunidad universitaria sobre la ruta de los residuos depositados en las áreas verdes.

2. Metodología

En la presente sección se abordará la metodología la cual se dividió en tres etapas; la primera describe el muestreo, la segunda la caracterización de los residuos encontrados y la última el análisis y discusión de los resultados.

Etapa 1: Se tomó una muestra de 5.85 m^3 (951.21 kg) de una pila de composta madura (1 año) de 50 m^3 de manera manual. Se retiraron los residuos visibles obteniendo una masa de 2080 g (2.08 kg) (ver Figura 2).



Figura 2: Ejemplos de residuos plásticos retirados manualmente de la composta madura. a) fragmento de envoltura plástica de dulces b) bolsa plástica c) bolsa plástica y envoltura de dulces d) envoltura de dulces completa

Etapa 2: La masa obtenida se llevó al Laboratorio de Tecnologías Sustentables ubicado en la planta baja del edificio W de la UAM-A. Posteriormente, se realizó un cuarteo de acuerdo con la NMX-AA-015-1985 (SECOFI, 1985) utilizando un cuadrado de dimensiones de 1.2 x 1.2 m para obtener una muestra representativa y manejable de 371.34 g (0.37134 kg) (ver Figura 3).

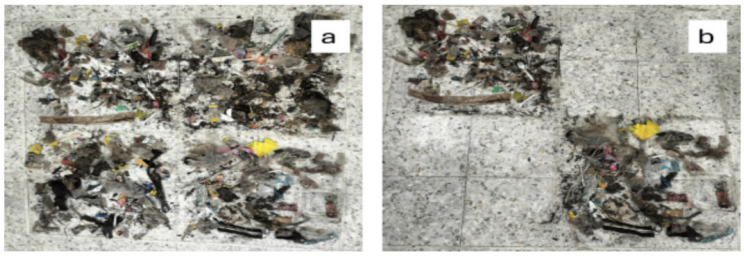


Figura 3: a) Cuarteo de residuos b) eliminación de cuadrantes

Etapa 3: La masa de los residuos obtenidos se clasificó en términos de piezas y masa de la siguiente manera:

- Residuos inorgánicos por uso (botellas de vidrio, pedazo de varilla, papel, cubrebocas, colillas de cigarro, entre otros) y material (ver Figura 4).
- Fragmentos por material (ver Figura 4). Los fragmentos fueron considerados como aquellas piezas cuya origen no se distinguía su origen.

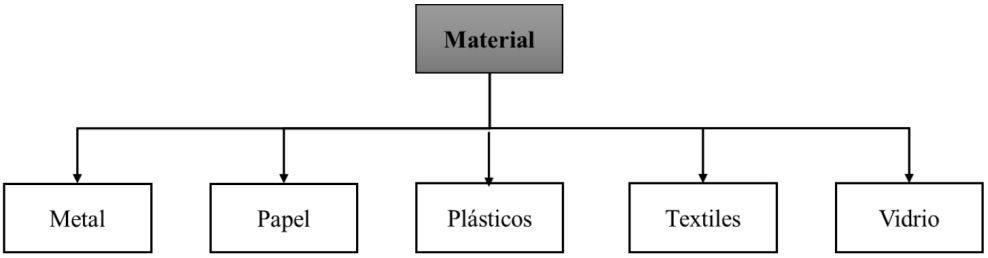


Figura 4: Diagrama de materiales.

3. Resultados y discusión

Los resultados se presentan por residuos inorgánicos por uso, por tipo de material y por fragmentos.

3.1. Residuos inorgánicos por uso

En la Tabla 1 se observa la clasificación de los residuos sin fragmentar con una masa total de 117.84 g respecto a 132 piezas.

Tabla 1: Clasificación en masa y piezas de residuos inorgánicos completos

Residuo	Masa (g)	% Masa	Piezas	% Piezas
Arillos de tapas plásticas	2.30	1.95	4	3.03
Bolsas plásticas	8.00	6.79	4	3.03
Colillas de cigarros	0.14	0.12	1	0.75
Cubiertos plásticos	17.00	14.43	9	6.82
Cubrebocas desechables	17.50	14.85	4	3.03
Empaques de artículos de higiene personal	1.50	1.27	2	1.52
Envases multicapas	8.10	6.87	2	1.52
Envolturas plásticas de dulces	18.20	15.44	55	41.67
Envolturas plásticas metalizadas de dulces	10.00	8.49	20	15.15
Metal	7.30	6.19	1	0.75
Palitos de plástico de paletas	13.60	11.54	18	13.64
Popotes de plásticos	1.80	1.53	4	3.03
Tapas de plásticos	12.40	10.52	8	6.06
Total	**117.84**	**100.00**	**132**	**100.00**

Al analizar dicha caracterización respecto a la masa, se resalta en la Figura 5 la presencia de envolturas plásticas de dulces (15.44%), cubrebocas desechables (14.85%), cubiertos plásticos (14.43%), palitos de plástico de paletas (11.54%) y tapas de plásticos (10.52%); debido a que su proporción es mayor al 10% en comparación con los demás residuos encontrados.

Para el caso de evaluación por piezas, se resalta en la Figura 6 particularmente a las envolturas plásticas de dulces (41.67%), envolturas plásticas metalizadas de dulces (15.15%) y palitos de plástico para paletas (13.64%); siendo el 56.82% perteneciente a las envolturas plásticas, incluidas las metalizadas.

3.2. Material

Agrupando por material a los residuos de la sección anterior, se tiene que respecto a la masa, los plásticos presentaron un valor de 93.81%, mientras que el metal presentó un 6.19%. Al analizar en cuanto al número de piezas, los residuos plásticos ocupan el 99.24% y el metal un 0.76%, sin la presencia de vidrio, textiles y papel, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de residuos sin fragmentar por material respecto a masa y piezas

Material	Masa (g)	% Masa	Piezas	% Piezas
Plásticos	110.54	93.81	131	99.24
Vidrio	0.00	0.00	0	0.00
Metales	7.30	6.19	1	0.76
Textiles	0.00	0.00	0	0.00
Papel	0.00	0.00	0	0.00
Total	**117.84**	**100.00**	**132**	**100.00**

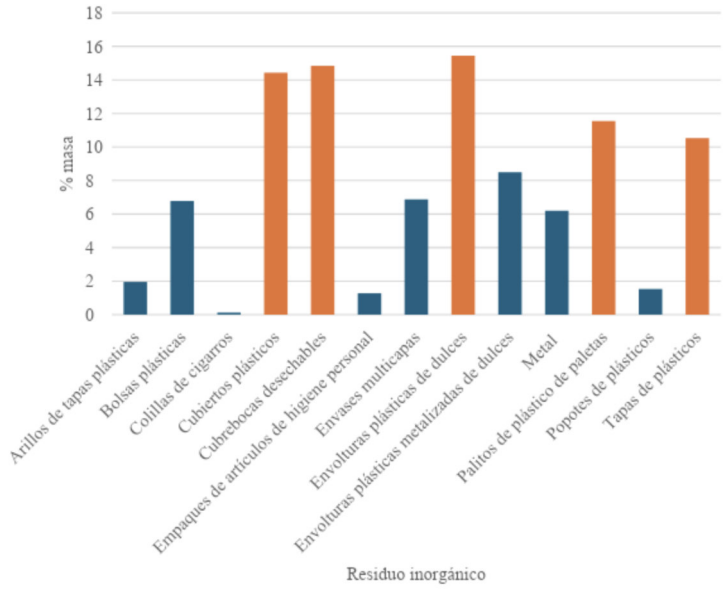


Figura 5: Gráfico del porcentaje masa respecto a cada residuo inorgánico

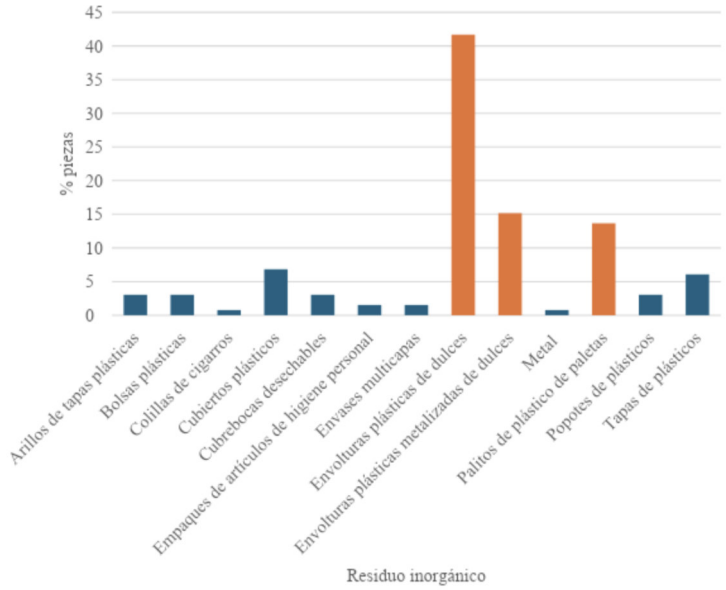


Figura 6: Gráfico de porcentaje de piezas respecto a cada residuo inorgánico

3.3. Fragmentos

Respecto a los residuos fragmentados, se destacan los plásticos (42.21 % en masa, 73.33 % en piezas), seguidos del vidrio (31.24% en masa, 4.69% en piezas) y, por último, el papel (19.88 % en masa, 17.44 % en piezas) como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Clasificación de residuos fragmentados por material respecto a masa y piezas

Material	Masa (g)	% Masa	Piezas	% Piezas
Plásticos	106.99	42.21	143	73.33
Vidrio	79.20	31.24	9	4.62
Metales	7.70	3.04	5	2.56
Textiles	9.20	3.63	4	2.05
Papel	50.40	19.88	34	17.44
Total	**253.49**	**100.00**	**195**	**100.00**

La proporción en la que se encuentra cada material se visualiza en la Figura 7 para el caso de masa, y en la Figura 8 para piezas.

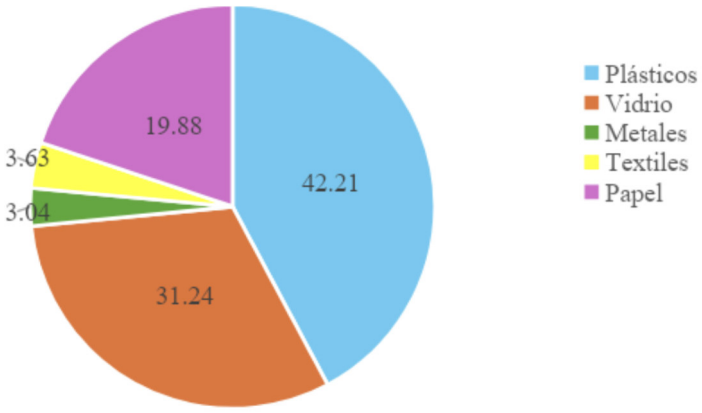


Figura 7: Proporción de masa de residuos inorgánicos fragmentados

4. Discusión

La falta de conciencia por parte de la comunidad universitaria sobre el manejo de los residuos en las áreas verdes ha llegado a alterar la calidad de la composta madura producida en la UAM-Azcapotzalco. En el presente estudio, destacaron en las proporciones tanto en masa como en piezas, en primer lugar, las envolturas plásticas de dulces debido a las actividades que se suelen suscitar en las áreas verdes.

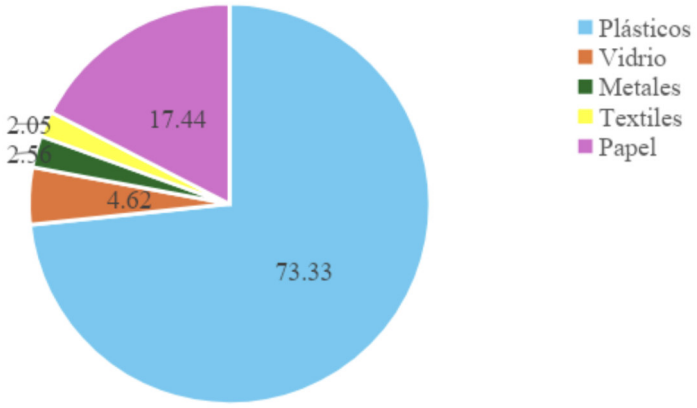


Figura 8: Proporción de piezas de residuos inorgánicos fragmentados

Al comparar el material completo contra el fragmentado se observa una diferencia significativa en la composición de los residuos. Para los residuos sin fragmentar, únicamente se tienen plásticos y metales, mientras que los residuos fragmentados incluyen residuos en todas las categorías; esto como resultado del volteo de las pilas, lo que provoca la fragmentación de los residuos, siendo puntuales en los residuos plásticos. Recordando que los microplásticos persisten en el ambiente, y al estar presentes en la composta, llegan a los suelos provocando diversas afectaciones.

Los microplásticos pueden alterar las propiedades físicas del suelo, como su estructura y porosidad, lo que puede afectar la retención de agua y nutrientes, además del intercambio gaseoso. Esto puede llevar a una disminución en la calidad del suelo y afectar su capacidad para soportar el crecimiento de plantas (de Souza Machado et al., 2018).

Aunado a lo anterior, los microplásticos pueden afectar a los microorganismos que viven en el suelo, como bacterias y hongos, que son esenciales para los ciclos de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica. La presencia de microplásticos puede inhibir el crecimiento y la actividad de estos microorganismos, alterando el equilibrio del ecosistema del suelo (Rillig et al., 2019).

Otra consecuencia es la absorción de microplásticos por las raíces de las plantas, lo que puede afectar su crecimiento y desarrollo. Los microplásticos pueden bloquear los poros de las raíces, dificultando la absorción de agua y nutrientes. Además, las sustancias químicas presentes en los microplásticos pueden ser tóxicas para las plantas (Li et al., 2020).

Los microplásticos en el suelo pueden ser ingeridos por organismos que ahí habitan, como lombrices y otros invertebrados, y pueden acumularse a lo largo de las cadenas tróficas. Esto puede llevar a la bioacumulación de microplásticos y sus contaminantes asociados en animales más grandes, incluidos los seres humanos (Selonen et al., 2020).

Estas consecuencias subrayan la importancia de prevenir que los residuos plásticos grandes se conviertan en microplásticos y sus consecuencias sean mayores.

5. Conclusión

En este estudio se cuantificó y clasificó los residuos inorgánicos obtenidos en una muestra de composta madura de 951.21 kg, donde se observó una mayor proporción de plástico tanto en masa como en piezas. Hablando particularmente de la fragmentación de residuos, el plástico tiene una proporción del 93.81% en masa y del 99.24% en piezas. La importancia de separar los residuos plásticos radica en evitar la generación de microplásticos, ya que estos, por su tamaño, son imposibles de retirar y sus consecuencias son más complejas.

Los datos obtenidos en la presente investigación permitirán establecer medidas para concientizar a la comunidad universitaria sobre la ruta de los residuos depositados inadecuadamente en las áreas verdes.

Referencias bibliográficas

[1] Christoph, R., Muñoz, R., Hernández, Á., & Ventura, J. (2016). Aspectos nano de los desechos de plástico. *Momento*, 51(E), 65-76.

[2] de Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. C. (2018). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 24(4), 1405-1416.

[3] Espinosa Valdemar, R. M., & Álvarez Zeferino, J. C. (2023). Planta de composta de la UAM-Azcapotzalco. Universidad Autónoma Metropolitana, 23 noviembre de 2023.

[4] Galloway, T., Cole, M., & Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nat Ecol Evol*, 1, 0116. https://doi.org/10.1038/s41559-017-0116

[5] Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers.

[6] Li, L., Luo, Y., Li, R., Zhou, Q., Peijnenburg, W. J. G. M., & Yin, N. (2020). The addition of microplastics reduces the toxic effects of heavy metals in soil on wheat (Triticum aestivum): Effects of polyethylene terephthalate and cadmium. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 122068.

[7] Luna Rivera, P., Ramos Quintana, A., Espinosa Valdemar, R. M., & Álvarez Zeferino, J. C. (2024). Diseño e implementación de la planta piloto de composta en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco. Universidad Autónoma Metropolitana, 27 mayo de 2024.

[8] Posada Bustamante, B. (2012). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67-86. Recuperado de https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408

[9] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). (1985). Norma Mexicana NMX-AA-15-1985. Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales - Muestreo – Método de cuarteo. Diario Oficial de la Federación, México, 18 marzo de 1985.

[10] Secretaría General. (2023). Circular 02/2023 Espacios sin humo. Universidad Autónoma Metropolitana, 19 mayo de 2023. https://www.comunicacionsocial.uam.mx/principal/avisos/Circular_espacios_sinhumo_02.2023.pdf

[11] Selonen, S., Roslin, T., & Majaneva, M. (2020). Microplastics in the terrestrial environment. En Bergmann, M., Gutow, L., & Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 261-277). Springer, Cham.

[12] Separacción. (2022). Datos de generación de residuos de poda. Comunicación oral.

[13] Rillig, M. C., Lehmann, A., de Souza Machado, A. A., & Yang, G. (2019). Microplastic effects on plants. *New Phytologist*, 223(3), 1066-1070.

Análisis de la presencia de microplásticos y mesoplásticos en tres playas de Costa Esmeralda, Veracruz

Diana Velázquez Hernández[1], Itzel Villano López[1], Verónica Jimena Morales Meza[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[2], Alethia Vázquez Morillas[1], Arely Areanely Cruz Salas[*,1]

[1] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 420, Col. Nueva el Rosario, C.P. 02128, Alcaldía Azcapotzalco, CDMX.

[2] Secretaría de la Defensa Nacional, Universidad del Ejército y Fuerza Aérea, Escuela Militar de Ingenieros, Av. Industria Militar No. 261, Col. Lomas de San Isidro, C.P. 53960 Naucalpan de Juárez, Edo. Méx.

[*]Correo electrónico: aacs@azc.uam.mx

Resumen

Los ecosistemas marinos y costeros son de los más afectados por los residuos plásticos y microplásticos provenientes de diversas fuentes tales como el turismo, la pesca y la inadecuada gestión de residuos, lo que ha propiciado su estudio en las playas. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la presencia de microplásticos (MPs) y mesoplásticos (MEs) en dos zonas de tres playas de Costa Esmeralda, Veracruz. En cada playa se tomaron tres muestras en la línea de pleamar y en la zona trasera (backshore) durante 10 minutos. A todas las muestras obtenidas se les realizaron pruebas de flotación, así como pruebas para descartar falsos positivos con una solución de HCl para remover material calcáreo y H_2O_2 para la eliminación de materia orgánica. En cada muestra se separaron los MPs y los mesoplásticos (MEs) presentes y se calcularon sus concentraciones; finalmente, se realizó la clasificación por tipo, color y tamaño. Con base en los resultados, se observó mayor concentración de MEs y MPs en la zona trasera, lo que podría deberse a que ahí se acumulan los sedimentos y residuos de eventos de energía donde intervienen las corrientes de aire y el oleaje. Las características más comunes de las partículas correspondieron, en promedio, a fragmento (77.68%), color azul (29.44%) y tamaño >5 mm (35.79%). Por último, se recomienda realizar estudios donde se caractericen por separado los MEs obtenidos al tomar muestras de MPs y analizar si existe correlación entre ambos tipos de residuos.

Palabras clave: *dunas*, *pellets*, *pleamar*, *residuos plásticos*

1. Introducción

En México, la generación de residuos plásticos se estima entre 43 y 59 kg/habitante/año (Vázquez-Morillas et al. 2022), empleados en sectores como la pesca, envases, embalajes y textiles. Sus múl-

tiples aplicaciones y dispersión en el ambiente se deben a sus características físicas (durabilidad y resistencia). Las principales fuentes de contaminación plástica en ambientes marinos, tales como lagos, ríos, embalses y aguas subterráneas (ONU, 2023), tienen origen terrestre y alcanzan el mar al ser transportados por corrientes de agua.

Los residuos plásticos, como botellas, tapas, platos, vasos, cubiertos desechables y colillas de cigarro, son encontrados en mayor proporción en las playas. Pequeños fragmentos de estos mismos, debido a la inadecuada gestión de operaciones industriales o a la degradación que sufren al estar expuestos a cambios en el clima y otros fenómenos, entran al ambiente, degradándose en pequeños pedazos que posteriormente se convierten en microplásticos (MP) y mesoplásticos (MEs) (Vázquez-Morillas et al., 2022).

Los MP tienen un tamaño menor o igual a 5 mm y están presentes en forma de fibras, fragmentos y pellets. En el caso de los MEs, tienen un tamaño de 5 mm a 25 mm (Gómez et al., 2019). Estas partículas pueden clasificarse en primarias, es decir, las que son fabricadas a escala microscópica para fines industriales, y secundarias, que provienen de los artículos plásticos más grandes que se desgastan y fragmentan por la acción de distintos factores bióticos y abióticos. Algunos efectos de los MP y MEs en los ambientes marinos incluyen la ingesta por distintas especies, al confundirlos con alimento, y la acumulación de contaminantes al adherirse a estos (Vázquez et al., 2020). Con relación a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la presencia de microplásticos y mesoplásticos en tres playas de la región de Costa Esmeralda, Veracruz, tanto en la línea de pleamar como en la zona trasera.

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo en la región de Costa Esmeralda, Veracruz (Figura 1), localizada entre los municipios de Nautla y Tecolutla, con coordenadas $20°31'13''N$ y $96°85'79''O$, y una desembocadura a mar abierto del río Filobobos. Esta área abarca más de 20 km de playas, entre las cuales se encuentran La Guadalupe, Monte Gordo y Casitas, donde se realizó el estudio (Cárdenas, 2008).

2.1. Selección de la zona de estudio

La selección de las tres playas se basó en los siguientes criterios: playas de arena con actividad turística, una longitud mínima de 100 m, de fácil acceso y seguras. Además, se clasificaron en alguna de las tres categorías descritas en la Tabla 1 (Alvarez Zeferino et al., 2020).

2.2. Ubicación de la línea pleamar y zona trasera

La zona de estudio se eligió identificando la línea de marea alta, definida por las olas (pleamar), y la zona trasera (*backshore*), donde se ubica el límite marcado entre la vegetación, infraestructura y dunas. En esta área, tienden a acumularse residuos microplásticos, mesoplásticos y sedimentos debido a eventos de alta energía (Figura 2).

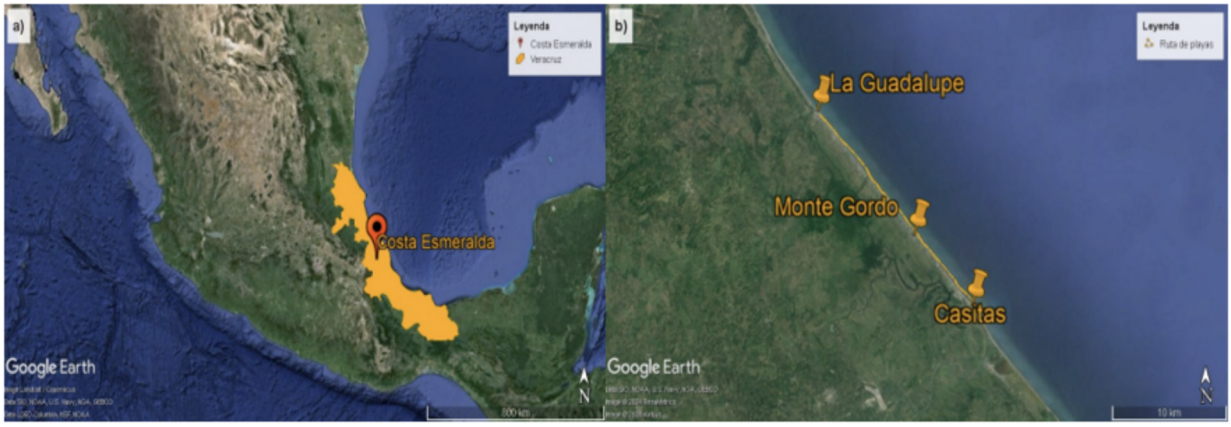


Figura 1: Ubicación de la zona de muestreo: a) Veracruz y Costa Esmeralda y b) tres playas

Tabla 1: Categorías para la clasificación de playas

Tipo de playa	Características
Rural	Área boscosa y/o palmeras; baja interacción entre las actividades humanas y el medio ambiente; escasez de instalaciones, infraestructura y comercio.
Urbano	Presencia de viviendas vacacionales, nivel medio de interacción entre las actividades humanas y el medio ambiente; baja presencia de instalaciones, infraestructura y actividades comerciales.
Urbano sobre desarrollado	Construcciones continuas, algunas de más de dos plantas; alto nivel de interacción entre las actividades humanas y el medio ambiente; gran variedad de usos; numerosas instalaciones, infraestructura y actividades comerciales.

2.3. Toma de la muestra

El muestreo se realizó adaptando la metodología propuesta por Alvarez-Zeferino et al. (2023). Las muestras se recolectaron en la línea pleamar y en la zona trasera, en la línea de acumulación de residuos. Se estableció un punto de inicio mediante una estaca, y visualmente, con la ayuda de pinzas de disección, se comenzó la recolección de partículas microplásticas y mesoplásticas visibles. El muestreo se realizó de forma superficial, sin necesidad de excavar. El tiempo de recolección se cronometró durante 10 minutos, y al final, se colocó una estaca en el punto de finalización, midiendo la distancia recorrida con una cinta métrica. Las partículas se colocaron en frascos de vidrio sellados con parafilm, identificados con el nombre de la playa y almacenados en bolsas herméticas para su análisis posterior en laboratorio. Este procedimiento se repitió en las tres playas, por triplicado.



Figura 2: Ubicación de la zona de muestreo. Línea pleamar y zona detrás de la costa

2.4. Cuantificación y clasificación de los mesoplásticos y microplásticos

Las muestras obtenidas se sometieron a pruebas de flotación en una solución de cloruro de sodio (ρ = 1,16 g/ml). Las partículas se agitaron durante tres minutos y luego reposaron por 10 minutos. Las partículas flotantes se sometieron a pruebas adicionales para descartar falsos positivos, utilizando ácido clorhídrico (0.5 N) para identificar partículas con material calcáreo y una solución de peróxido de hidrógeno al 30 % para identificar fibras naturales. Posteriormente, las partículas se clasificaron en microplásticos (1.0 – 5.0 mm) y mesoplásticos (>5.1 mm), además de clasificarse por tipo (fragmento, película, pellet, espumado, fibra) y color (Alvarez-Zeferino et al., 2020).

3. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados obtenidos sobre la presencia de microplásticos en tres playas de Costa Esmeralda, Veracruz: una rural (playa Casitas) y dos urbanas (playas Monte Gordo y La Guadalupe).

3.1. Concentraciones de microplásticos y mesoplásticos

En el estudio se cuantificaron un total de 224 MPs y 133 MEs en las tres playas. La playa con mayor contaminación fue "La Guadalupe", con un total de 186 partículas, de las cuales 106 fueron MPs y 78 MEs. Esta playa tiene mayor afluencia turística comparada con las otras.

En la línea de pleamar, la playa con mayores concentraciones fue "La Guadalupe", con 1.54 MPs/m y 0.40 MEs/m, mientras que las menores concentraciones se encontraron en "Monte Gordo", con 0.08 MPs/m y 0.02 MEs/m. En la zona trasera, la mayor concentración de MPs se observó en "Monte Gordoçon 4.74 MPs/m, y para los MEs, la playa "La Guadalupe"presentó la mayor concentración (6.60 MEs/m). La playa con menor concentración fue Çasitas"tanto para MPs como MEs. Al sumar las concentraciones de ambas zonas, la playa "La Guadalupe"sobresale con las mayores concentraciones (7.00 MEs/m y 5.06 MPs/m en promedio).

Como se muestra en la **Tabla 2**, la mayor presencia de MPs y MEs se observó en la zona trasera en comparación con la línea de pleamar, debido a que, en la zona trasera de la playa por lo regular existe vegetación, dunas u alguna infraestructura que acumula el sedimento y los residuos cuando existen eventos de energía.

Tabla 2: Resultados obtenidos del muestreo en línea pleamar y zona trasera

Playa	Zona de muestreo	MEs/m (Promedio ± Desviación)	MPs/m (Promedio ± Desviación)
Casitas	Pleamar	0.18 ± 0.02	0.41 ± 0.32
	Zona trasera	0.41 ± 0.22	1.04 ± 0.25
Monte Gordo	Pleamar	0.02 ± 0.03	0.08 ± 0.10
	Zona trasera	2.01 ± 1.23	4.74 ± 6.06
La Guadalupe	Pleamar	0.40 ± 0.58	1.54 ± 2.46
	Zona trasera	6.60 ± 9.51	3.52 ± 5.20

Los resultados demuestran que no necesariamente por tener una mayor cantidad de microplásticos se presentaría una cantidad mayor de mesoplásticos, los cuales son precursores de los primeros. La fragmentación de los MEs está influenciada por diversos factores tales como el viento, la geomorfología de la playa, el tipo de sedimentos de la playa, la lluvia, por mencionar algunos ejemplos.

3.2. Características de los mesoplásticos y microplásticos

En las tres playas, el mayor porcentaje de partículas plásticas encontradas fueron de tipo secundario (fragmentos, películas, espumas y fibras). En la playa Çasitas", el 80% de las partículas de la línea de pleamar eran fragmentos, mientras que en la zona trasera representaron el 82.7%. En "Monte Gordo", los fragmentos constituyeron el 100% de las partículas en la pleamar y el 83.70% en la zona trasera.

Para la playa "La Guadalupe", en la línea de pleamar, los fragmentos representaron el 83.33%, mientras que en la zona trasera disminuyeron al 36.36%, observándose una mayor proporción de espumados (62.50%). Como se muestra en la Figura 3, la categoría más común de partículas fue la de fragmentos (77.68% en promedio), mientras que las categorías de pellet (0.63%), película (3.61%) y fibra (4.15%) se encontraron en menores proporciones.

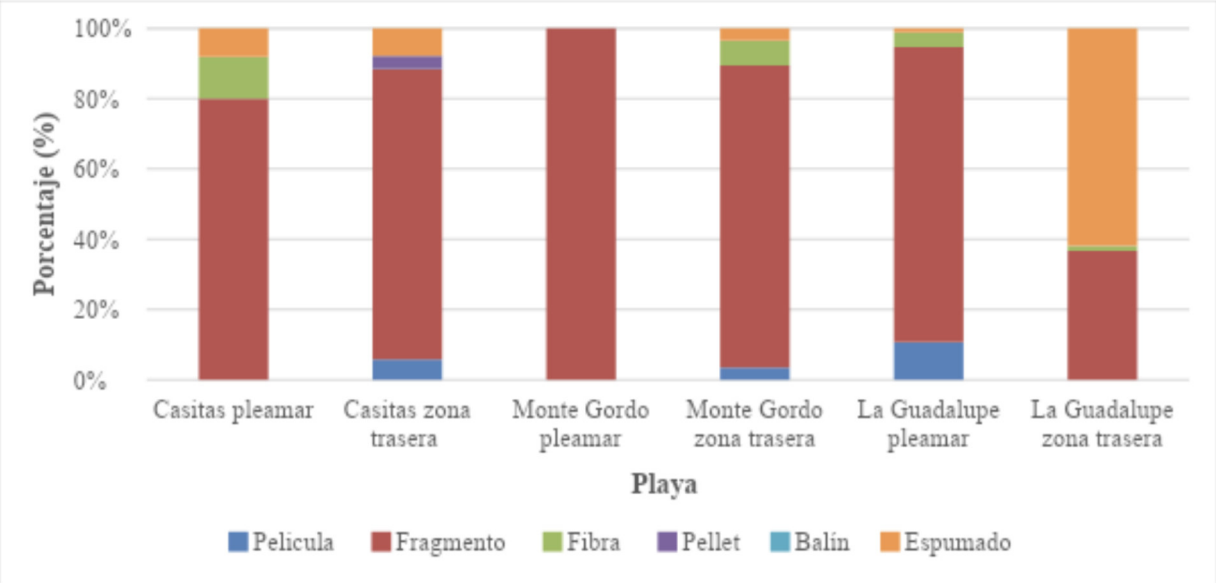


Figura 3: Porcentaje promedio por tipo de partículas por playa y zona muestreada, basado en el número de piezas.

En general, los colores con mayor porcentaje encontrados en la clasificación corresponden al blanco (29.35%), azul (29.44%) y verde (21.14%), mientras que en menores cantidades se encontraron los colores marrón, gris, rosa, amarillo, naranja, morado, negro, melón y rojo (Figura 4). Para la playa “Casitas” en la línea pleamar el color azul y verde corresponden al 32% cada uno, mientras que en la zona trasera el color blanco se encuentra en mayor porcentaje (30.77%), seguido del verde (26.92%) y azul (21.15%). En la playa “Monte Gordo”, en la línea pleamar el color azul representa el 75%, mientras que en la zona trasera el color azul también se encontró en mayor porcentaje (39.13%), seguido del verde (25%) y blanco (19.57%). Finalmente, en la línea de la pleamar de la playa “La Guadalupe” la proporción de partículas transparentes fue mayor (48.96%), mientras que en esta misma playa, pero en la zona trasera el color blanco se encontró en mayor porcentaje (89.77%).

El tamaño más común de MPs en la playa Çasitas"fue de 4.1 a 5.0 mm en la línea de pleamar (24%), mientras que en la zona trasera, el tamaño más común fue de 3.1 a 4.0 mm (27%). En "Monte Gordo", los MPs de 3.1 a 4.0 mm constituyeron el 50% en la línea de pleamar, mientras que en la zona trasera, el tamaño más común fue de 4.1 a 5.0 mm (22%). En "La Guadalupe", en la

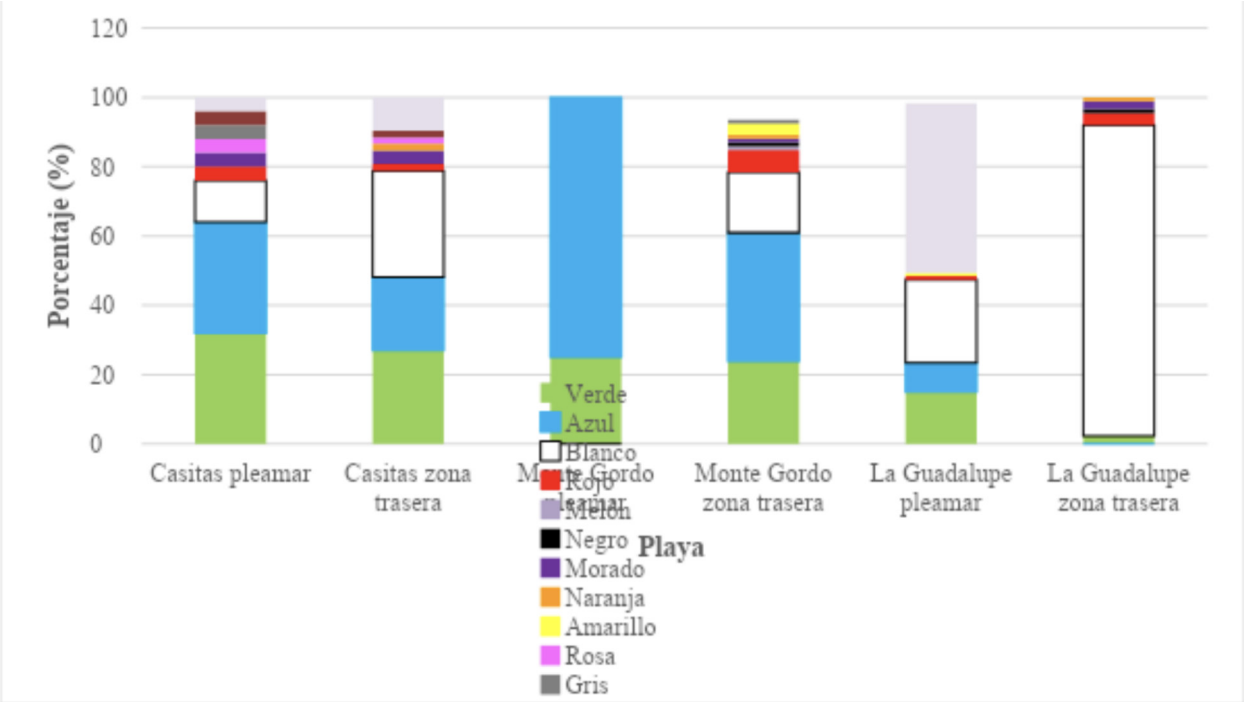


Figura 4: Porcentaje promedio de colores de las partículas por playa y zona muestreada, basado en el número de piezas.

línea de pleamar, las partículas más comunes fueron de 2.1 a 3.0 mm y 3.1 a 4.0 mm (ambos con un 20.83 %), y en la zona trasera predominó el tamaño de 4.1 a 5.0 mm (21.59 %).

Aquellos fragmentos que tuvieron dimensiones mayores a 5 mm se denominaron mesoplásticos, en la playa "Casitas" en la línea pleamar se encontró un porcentaje correspondiente al 40 % mientras que en la zona trasera se encontró un porcentaje del 27 %. En la playa "Monte Gordo" en la línea pleamar se encontró un porcentaje del 25 %, mientras que, en la zona trasera, se encontró un porcentaje del 36 %. Finalmente, en la playa "La Guadalupe" en la línea pleamar se encontró un porcentaje correspondiente al 20.83 %, mientras que, en la zona trasera, se encontró un porcentaje correspondiente al 65.91 %. En general el tamaño común que presentaban las partículas fue MPs 3.1 - 4 mm (21.28 % en promedio) y MEs >5 mm (35.79 % en promedio) (Figura 5).

3.3. Comparación con otros estudios

En la Tabla 3, se presenta información relevante de otros estudios de caso, donde se han analizado la presencia de partículas (MPs) en diferentes playas en la línea pleamar y en la zona trasera, lo cual permite comparar con lo realizado en este estudio, donde se analizaron partículas en general (MPs y MEs) en diferentes playas y en las mismas zonas.

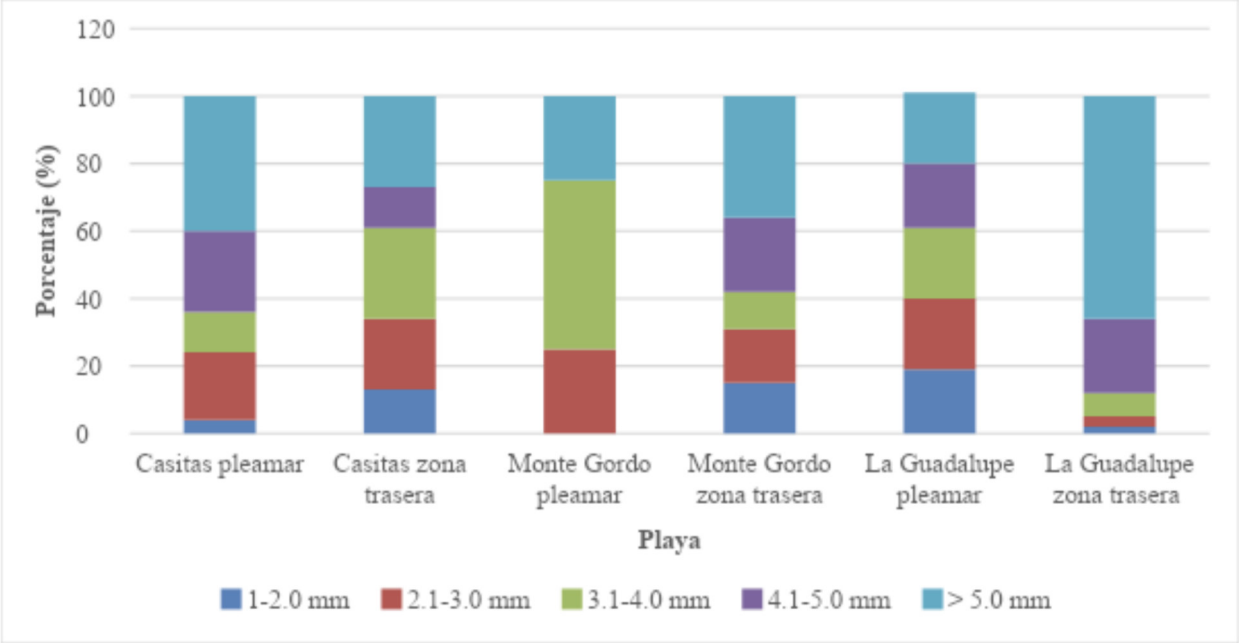


Figura 5: Porcentaje promedio por intervalo de tamaño de las partículas por playa y zona muestreada, basado en el número de piezas.

Tabla 3: Comparación de resultados con otros estudios.

Título del estudio	Características zona de muestreo	Zona de muestreo	Partículas		
			Color	Tipos	Tamaño
Seasonal tendencies of microplastics around coral reefs in selected Marine Protected National Parks of Gulf of California, Mexico	Dos playas en Isla Espíritu Santo y Cabo Pulmo con alta afluencia turística.	Pleamar y zona trasera	Blanco (55%), transparente (25%), otros (20%)	Fibras (75%), fragmentos (19%), esferas (6%)	Fibras: 1.672 mm, fragmentos: 0.558 mm
Spatial and Temporal Distribution of Chemically Characterized Microplastics within the Protected Area of Pelagos Sanctuary (NW Mediterranean Sea)	Tres playas cerca de desembocaduras de ríos con afluencia turística.	Pleamar y zona trasera	Blanco	Poliestireno expandido (69%), fragmentos (18%), pellets (13%)	1 mm - 5 mm

Continúa en la siguiente página

Tabla 3: Comparación de resultados con otros estudios (Continuación)

Título del estudio	Características zona de muestreo	Zona de muestreo	Partículas		
			Color	Tipos	Tamaño
Abundance, morphology and chemical composition of microplastics in sand and sediments from a protected coastal area: The Mar Menor lagoon (SE Spain)	17 playas, 9 urbanas y 8 naturales en el Mar Menor.	Zonas intermareales y zona trasera	Azul (39.1 %), blanco (30.4 %), transparentes (79.7 %)	Fibras (18.2 %)	1 mm - 5 mm
Abundance and distribution of large microplastics (1–5 mm) within beach sediments at the Po River Delta northeast Italy	Playa del río Po con alta biodiversidad y entrada de desechos plásticos provenientes del río.	Pleamar y zona trasera	No clasificado manualmente por color.	Fragmentos (95 %), esferas (1.9 %), cuerdas (0.4 %), pellets (0.7 %)	1 mm - 5 mm
Impact of multiple beach activities on litter and microplastic composition along the southeast coast of India	Seis playas en la India con alta actividad turística y pesquera.	Zonas intermareales y zona trasera	Blanco	Filamentos (202 partículas en promedio), películas (160 partículas), fragmentos (153 partículas)	1 mm - 5 mm

De la misma forma que en este estudio, las muestras para el análisis de MPs fueron tomadas en diferentes playas con características diversas tales como mayor afluencia de turismo, desembocadura o conexión con algún rio u otra playa o isla, las zonas de muestreo se realizaron en la línea pleamar y en la zona trasera. La presencia de microplásticos se encontraba en mayores cantidades en la zona alejada a las olas del mar (zona trasera o backshore). Se observó que en la mayoría de los estudios se caracterizaron los MPs en fragmento, fibras y pellet, siendo el fragmento el micro-

plástico con mayor porcentaje, algunos de estos estudios clasificaban en nuevas categorías (bolita, cuerda, poliéster expandido y esferas). Las dimensiones de los MPs, en comparación con este estudio, no presentaron variaciones, en casi todos los casos se conservó que el tamaño va de 1.0 a 5.0 mm, finalmente, respecto al color, el blanco se encontró en mayores cantidades en todas las playas, al igual que en este estudio.

3.4. Conclusiones

En el presente trabajo se evaluó la presencia de partículas en tres playas rurales de Costa Esmeralda, Veracruz, encontrando en su mayoría partículas de origen secundario como los fragmentos que, en promedio general, presentaron una proporción de 77.68 %. En la línea pleamar, las partículas más sobresalientes fueron fragmentos en el siguiente orden descendente: playa Monte Gordo (100 %), seguido de la playa Casitas (80 %) y en la playa La Guadalupe (83.33 %). Por otro lado, los colores más encontrados fueron blanco (29.35 %), azul (29.44 %) y verde (21.14 %); este fenómeno probablemente se deba al proceso de degradación de los residuos de mayor tamaño.

En cuanto a las zonas, se encontró mayor concentración de MPs en la zona trasera, que es la zona más alta a las olas del mar, donde hay mayor vegetación e infraestructura, y tienden a acumularse los MPs arrastrados por otras fuentes: playa Monte Gordo con 4.74 ± 6.06 MPs/m, seguida de la playa La Guadalupe con 3.52 ± 5.20 MPs/m, y la playa Casitas con 1.04 ± 0.25 MPs/m. En comparación con la línea pleamar, en playa La Guadalupe hubo 1.54 ± 2.46 MPs/m, seguido de la playa Casitas, donde se encontraron 0.41 ± 0.32 MPs/m, y la playa Monte Gordo con 0.08 ± 0.10 MPs/m.

Mediante estos resultados también se encontró que la playa “Casitas” destaca por haber presentado diversos tipos de colores. En la playa “Monte Gordo”, la composición de los MPs en su totalidad eran de tipo fragmento, sin importar la zona muestreada. En la playa “La Guadalupe” hubo mayor concentración tanto de MPs como de MEs; a su vez, se observó que el turismo es un factor importante que puede incidir en los tipos, tamaños y color de los microplásticos.

Por otro lado, en cuanto al tipo de playa, se encontró que las correspondientes al tipo urbano, es decir, las playas “La Guadalupe” y “Monte Gordo”, presentaron la mayor presencia de MPs y MEs, lo cual se asocia a factores como mayor afluencia de personas e interacción entre actividades humanas (turismo) comparado con la playa rural, así como más lugares e infraestructura para comer, como palapas y hamacas (actividades comerciales). Es importante destacar que en la playa “La Guadalupe” también se encontró mayor presencia de unicel fragmentado, y se observó que la arena se encontraba barrida por los comerciantes; esto se cree que se realiza para eliminar la presencia de algunos residuos y procurar que a simple vista se vea limpia debido a la afluencia turística, cosa que en la playa rural no ocurre.

Se recomienda realizar más estudios donde se evalúe la presencia de microplásticos en playas, tanto en la línea pleamar como en la zona trasera, que permitan comparar objetivamente la in-

formación con otros estudios, tomando en cuenta las características de cada sitio y las actividades antropogénicas que se realizan.

Referencias bibliográficas

[1] Alvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., Isabel, H. S. A., & Vázquez-Morillas, A. (2023). Ciencia ciudadana. Guía para la recolección de microplásticos en playas. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15958.46404

[2] Alvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., Vázquez-Morillas, A., & Ojeda-Benitez, S. (2020). Method for quantifying and characterization of microplastics in sand beaches. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1), 151–164. https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53540

[3] Alvarez-Zeferino, J. C., Ojeda-Benitez, S., Cruz-Salas, A. A., Martínez-Salvador, C., & Vázquez-Morillas, A. (2020). Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 155(March 2019), 104633. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104633

[4] Arreola-Alarcón, I. M., Reyes-Bonilla, H., Sakthi, J. S., Rodríguez-González, F., & Jonathan, M. P. (2022). Seasonal tendencies of microplastics around coral reefs in selected Marine Protected National Parks of Gulf of California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 175(December 2021). https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113333

[5] Bayo, J., Rojo, D., & Olmos, S. (2019). Abundance, morphology, and chemical composition of microplastics in sand and sediments from a protected coastal area: The Mar Menor lagoon (SE Spain). *Environmental Pollution*, 252, 1357–1366. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.024

[6] Cárdenas, J. (2008). Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular. In Sector Pesquero-Subsector Acuícola (pp. 1–51).

[7] Gómez, F., Agustina, V., & Álvarez-Zeferino, J. C. (2019). Registro de micro y mesoplásticos en el tracto digestivo de la especie vulnerable Olivaichthys cuyanus (Siluriformes: Diplomystidae) en el río cordillerano Los Patos, San Juan, Argentina.

[8] Kaviarasan, T., Dhineka, K., Sambandam, M., Sivadas, S. K., Sivyer, D., Hoehn, D., Pradhan, U., Mishra, P., & Ramana Murthy, M. V. (2022). Impact of multiple beach activities on litter and microplastic composition, distribution and characterization along the southeast coast of India. *Ocean and Coastal Management*, 223(April), 106177. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106177

[9] Merlino, S., Locritani, M., Bernardi, G., Como, C., Legnaioli, S., Palleschi, V., & Abbate, M. (2020). Spatial and temporal distribution of chemically characterized microplastics within the protected area of Pelagos Sanctuary (NW Mediterranean Sea): Focus on natural and urban beaches. *Water*, 12(12). https://doi.org/10.3390/w12123389

[10] ONU. (2023). Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos. https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos

[11] Piehl, S., Mitterwallner, V., Atwood, E. C., Bochow, M., & Laforsch, C. (2019). Abundance and distribution of large microplastics (1–5 mm) within beach sediments at the Po River Delta, northeast Italy. *Marine Pollution Bulletin*, 149(August), 110515. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110515

[12] Vázquez-Morillas, A., Martínez-Salvador, C., Hermoso-López Araiza, J. P., Velasco-Pérez, M., Álvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., & Tapia-Fuentes, J. (2022). Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica. Resumen Ejecutivo (pp. 1–21).

Análisis de la presencia de microplásticos en dos zonas de playa de Nuevo Vallarta Nayarit

Itzel Villano López[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[*,2], Arely Areanely Cruz Salas[3], Alethia Vázquez Morillas[1], Sara Ojeda Benítez[3]

[1] Área de Tecnologías Sustentables, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo Xalpa No. 420 Col. Nueva el Rosario C.P. 02128 Alcaldía Azcapotzalco, CDMX, México.

[2] Secretaría de la Defensa Nacional, Universidad del Ejército y Fuerza Aérea. Escuela Militar de Ingenieros. Av. Industria Militar No. 261 Col. Lomas de San Isidro, Naucalpan de Juárez Edo. Méx. C.P. 53960, México.

[3] Laboratorio de Residuos Sólidos, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Campus Mexicali, Calle Normal s/n Boulevard Benito Juárez. Col. Insurgentes Este, Mexicali 21280, B.C., México.

[*]Correo electrónico: zeferinojuancarlos@gmail.com

Resumen

La contaminación por microplásticos representa una grave problemática en las playas de todo el mundo, por lo que es importante conocer la magnitud del problema para proponer estrategias de minimización y prevención en estos ecosistemas. El presente trabajo se realizó en dos zonas de una playa de Nuevo Vallarta, Nayarit, en donde se evaluaron las concentraciones de microplásticos. Se ubicaron dos zonas, y en cada una se delimitó un transecto de 100 m paralelo a la pleamar, muestreando 10 puntos aleatorios de arena. Las muestras se tamizaron y posteriormente se sometieron a pruebas de flotación y a una solución ácida para descartar falsos positivos. La zona con mayor concentración fue la zona 1 con 382.0 MP/m^2, mientras que la zona 2 tuvo una concentración de 31.8 MP/m^2. Los tipos de morfología observados fueron fragmentos, fibras y películas, con dimensiones variadas, encontrando la mayor cantidad en los intervalos de 1.0 - 2.0 mm, 2.1 - 3.0 mm y 3.1 - 4.0 mm. Por otro lado, se realizó una comparación del análisis de microplásticos en esta playa con otras playas nacionales e internacionales. Se recomienda que la población local se interese más por los problemas de contaminación plástica, así como realizar diversos análisis para identificar las fuentes de contaminación en el lugar, con la finalidad de establecer nuevas estrategias que prevengan el aumento de esta problemática.

Palabras clave: *Contaminación marina*, *fragmentos*, *México*, *plásticos*

1. Introducción

Los microplásticos son partículas de plástico menores o iguales a 5 mm. Diversas investigaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) demuestran que el uso

continuo de algunos productos como maquillaje, exfoliantes, ropa, protectores solares, geles de ducha, entre otros, aumenta la acumulación de microplásticos en el medio ambiente, generando una amenaza creciente para la salud de las personas y del planeta (PNUMA, 2023).

Uno de los materiales comunes presentes en los residuos marinos son los plásticos, con proporciones que van desde 60 a 83%. En los últimos años, la contaminación por este tipo de residuos ha recibido mayor atención debido a su persistencia en el ambiente y a las tasas lentas de degradación que presentan estos materiales. Cuando los residuos plásticos son gestionados de manera inadecuada, permanecen en el ambiente y se degradan paulatinamente debido a factores bióticos y abióticos, lo cual conlleva a su fragmentación hasta convertirse en microplásticos (Vázquez Morillas et al., 2020). Como resultado de su durabilidad, los residuos plásticos son ahora omnipresentes en los ambientes acuáticos, tanto en aguas interiores (lagos, presas y ríos) como en aguas oceánicas e, incluso, en el suelo y el aire (IMTA, 2020).

Existe una gran diversidad de fuentes que contribuyen a la carga de la contaminación plástica, todas derivadas de las actividades humanas en áreas densamente pobladas o industrializadas, sitios de disposición final y turismo (IMTA, 2020). Los microplásticos se clasifican en primarios y secundarios: los primarios son aquellos que incluyen pellets y microperlas, los cuales son manufacturados con tamaños menores a 5 mm; por otro lado, los secundarios provienen de la fragmentación de residuos plásticos más grandes, que al ser dispuestos inadecuadamente llegan a diferentes ecosistemas (Álvarez Zeferino, 2020).

Algunas fuentes de microplásticos provienen de residuos plásticos como botellas, tapas, platos, vasos y cubiertos desechables, que al estar expuestos a diversos fenómenos ambientales se fragmentan en pequeños pedazos (Vázquez Morillas et al., 2020). Otras fuentes importantes son los cosméticos y productos de higiene personal, fibras sintéticas de productos textiles, desgaste de neumáticos, abrasivos industriales, pinturas y pellets de plástico. También contribuyen las actividades pesqueras y el transporte marítimo (de la Sota Zubiliaga, 2017). Debido a su diminuto tamaño, los microplásticos suelen ser ingeridos por una amplia variedad de organismos acuáticos y adherirse a sus estructuras, afectando su biología (IMTA, 2020).

La playa Nuevo Vallarta corresponde al municipio de Bahía de Banderas, donde previamente se han realizado investigaciones sobre la presencia de microplásticos. En 2020 se estudiaron los factores que inciden en la presencia de microplásticos en las playas, observando la presencia de vehículos motorizados en la playa, comercio ambulante, recipientes para residuos y anuncios sobre el cuidado de la playa (Álvarez Zeferino, 2020).

Por otro lado, en el mismo año se estudió la presencia de microplásticos en la playa Punta Pelicanos, en la misma región, encontrándose 55 piezas, de las cuales los plásticos rígidos y semirrígidos representaron la mayor cantidad (31 piezas). En cuanto al color, el transparente fue el más abundante con 15 piezas, y el tipo de plástico encontrado en mayor proporción fue el polietileno, con 22 piezas (Álvarez Zeferino et al., 2020). Con base en lo anterior, se realizó la presente investigación con el objetivo de evaluar la presencia de microplásticos en dos zonas de la playa Nuevo Vallarta, Nayarit, México.

2. Metodología

A continuación, se describen las etapas de la metodología para la toma de muestras en la playa Nuevo Vallarta, Nayarit, México, así como para el análisis de las muestras en laboratorio (Figura 1).

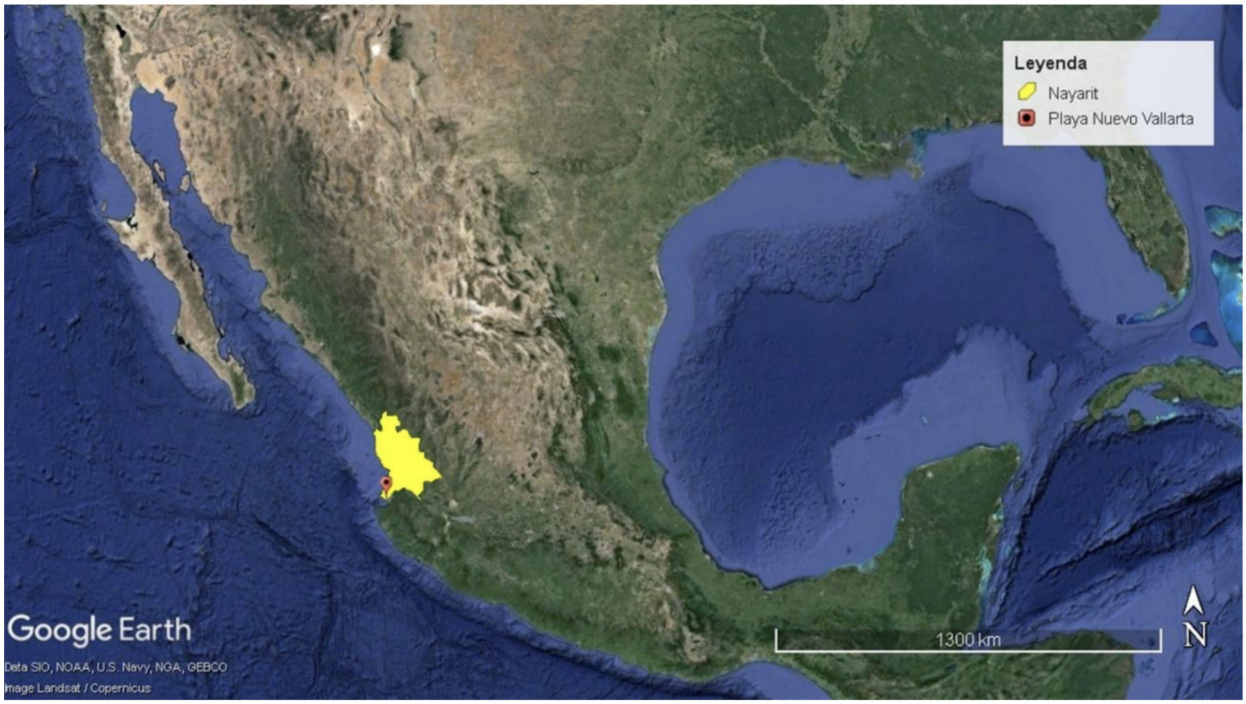


Figura 1: Ubicación de Nayarit, México

2.1. Muestreo de microplásticos

El muestreo se realizó en dos zonas de la playa Nuevo Vallarta: una frente al hotel Krystal Grand (Z1) (Figura 2) y otra a 300 m de distancia del hotel (Z2) en una zona deshabitada (Figura 3).

En cada zona se delimitó con una cuerda un transecto con longitud de 100 m sobre la línea de la pleamar, en el cual se seleccionaron 10 puntos aleatorios. En cada punto se tomó una muestra de arena con la ayuda de un cilindro de metal de 20 cm de diámetro y 5 cm de profundidad; éste se colocó en cada punto seleccionado y posteriormente se hundió en la arena de forma que esta lo cubriera hasta su borde superior. En la parte inferior del cilindro se enterró una lámina metálica para seccionar la muestra, de tal manera que solo se tomara lo contenido en el interior del cilindro. La muestra se colocó en una charola de aluminio y se pesó; seguido de esto, se redujo el volumen mediante el tamizado de la arena en mallas con apertura de poro de 1.00 mm y 5.00 mm. La arena contenida en la malla de 1.00 mm se depositó en papel aluminio y se guardó en una bolsa de cierre hermético, donde se etiquetó el número de muestra y su masa. Posteriormente, se trasladó



Figura 2: Ubicación de la zona 1



Figura 3: Ubicación de la zona 2

al laboratorio para su respectivo análisis (Álvarez Zeferino et al., 2020a; Álvarez Zeferino et al., 2020b).

2.2. Análisis de muestras

Cada una de las muestras se revisó visualmente y con la ayuda de unas pinzas metálicas se extrajeron aquellas partículas que se consideraban microplásticos. Luego, se sometieron a pruebas de flotación en una solución de cloruro de calcio ($CaCl_2$) con una densidad de 1.6 g/ml, con 5 minutos

de agitación y 10 minutos de reposo. Aquellas partículas que flotaban fueron sometidas a pruebas adicionales para descartar falsos positivos, utilizando ácido clorhídrico con una concentración de 0.5 N, en el cual se descartaban aquellas partículas de material calcáreo. Para la identificación de fibras naturales en comparación con las sintéticas, se utilizó una solución de peróxido de hidrógeno al 30%. Cada microplástico se enjuagó, se secó con papel adsorbente y se colocó en una caja Petri previamente etiquetada con el número de muestra analizada. Finalmente, se contó el número de piezas totales por muestra y se clasificaron por color, tipo (fragmento, película, pellet, espumado, fibras) y tamaño (de 1.00 a 5.00 mm). Las concentraciones de microplásticos se calcularon en términos de piezas por masa de arena (Álvarez Zeferino et al., 2020a; Álvarez Zeferino et al., 2020b).

2.3. Comparación de resultados con estudios similares

Una vez obtenidos los resultados, se realizó una investigación en la que se encontraron estudios similares que sirvieron para realizar una comparación entre los datos reportados. En total fueron seis estudios, cinco nacionales y uno internacional. Cada uno de estos artículos presentó como base el análisis de microplásticos en diferentes zonas de distintas playas, en su mayoría turísticas, donde se rescataron parámetros de alta relevancia como concentración, tipo, color y tamaño.

3. Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados de la evaluación de la presencia de microplásticos en dos zonas de la playa Nuevo Vallarta, Nayarit, México.

3.1. Concentraciones de microplásticos

En ambas zonas se detectó la presencia de microplásticos; en la Z1 se encontró una concentración de 382.0 MP/m^2 y en la Z2 una concentración de 31.8 MP/m^2. Además, en la zona 2 también se encontraron dos piezas de mesoplásticos (>5 mm). En la Figura 4 se muestra una foto de la playa en la zona 1 (frente al hotel), donde se observa que es una zona turística y que la entrada del hotel da directamente a la playa. Es importante mencionar que en el hotel se realiza limpieza dos veces al día, lo cual podría esperarse que influya en la concentración observada; los resultados indican que esta tendencia es cierta. Lo anterior puede deberse a factores como la presencia de turistas, quienes en ocasiones llevan artículos de plástico que se desgastan, como calzado y vestimenta, entre otros. Además, la limpieza de la playa no asegura la recolección de microplásticos debido a la dificultad de recoger partículas menores a 5 mm. En contraste, la zona 2 (alejada del hotel) presenta un terreno baldío frente a la playa, donde la presencia de turistas y vendedores es reducida, y donde la vegetación contribuye a atrapar los microplásticos.

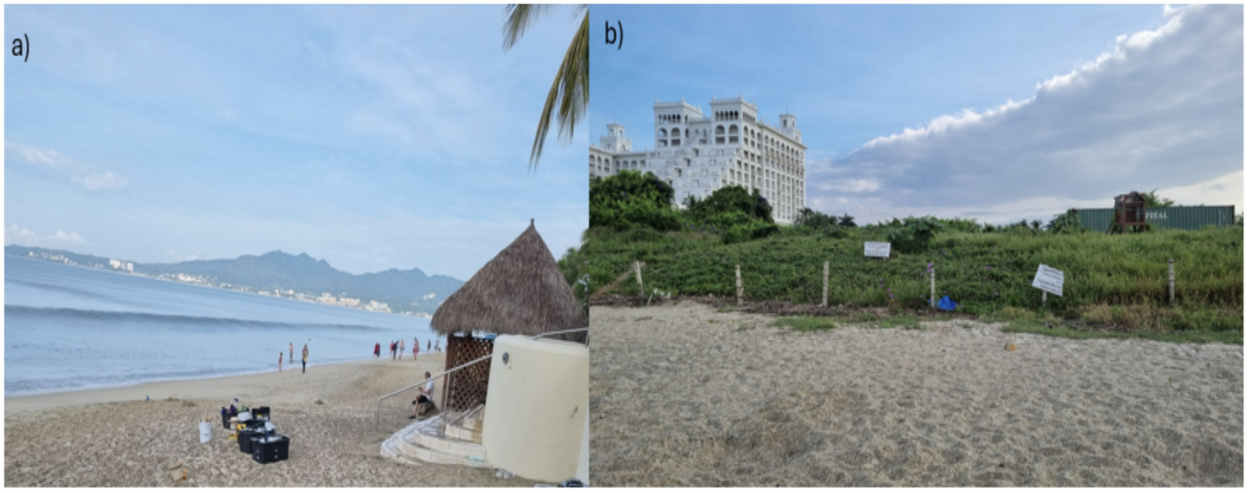


Figura 4: Zonas de la playa. a) Zona 1, frente al hotel b) Zona 2, alejada del hotel

3.2. Características de los microplásticos

En la Z1 se encontraron dos tipos de microplásticos: 50.0% películas y 50.0% fragmentos. En la Z2, el 100.0% corresponde a fibras (Figura 5). Los dos mesoplásticos hallados en la Z2 fueron uno de tipo fragmento y otro de tipo película.

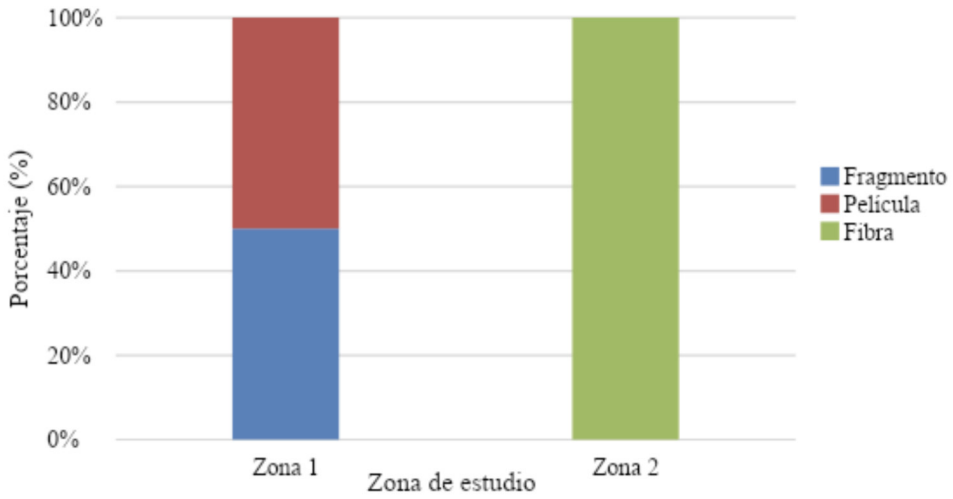


Figura 5: Clasificación de la morfología de los microplásticos por zona (número de piezas)

Los colores encontrados se distribuyeron de la siguiente manera: en la Z1, los colores fueron verde (50.0%), amarillo (25.0%), naranja (8.3%), azul (8.3%) y café (8.3%). En la Z2, el color encontrado fue el azul (100.0%), como se muestra en la Figura 6.

En cuanto al tamaño, los microplásticos encontrados en la Z1 presentaron las siguientes proporciones: 1.0 a 2.0 mm (41.7%), 2.1 a 3.0 mm (41.7%) y 4.1 a 5.0 mm (16.7%). En la Z2, solo se encontraron microplásticos de 3.1 a 4.0 mm (100.0%) (Figura 7).

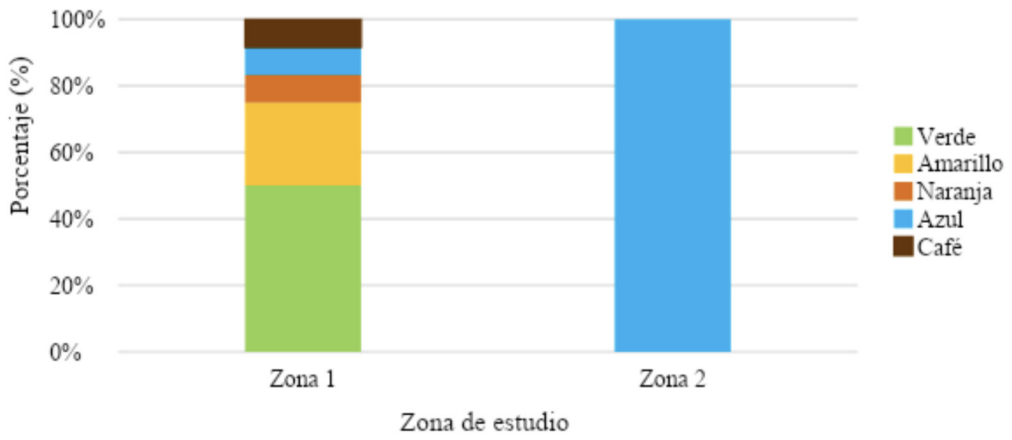


Figura 6: Clasificación de microplásticos por color, por zona (número de piezas)

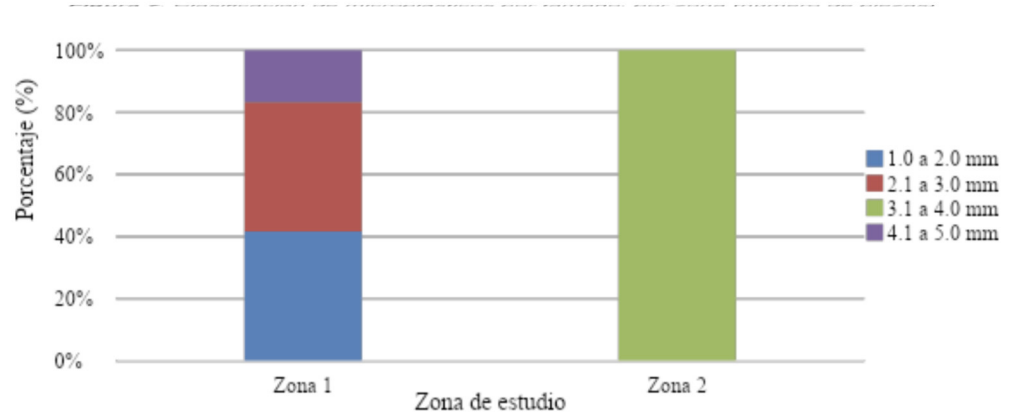


Figura 7: Clasificación de microplásticos por tamaño, por zona (número de piezas)

En general, la mayor proporción de microplásticos encontrada correspondió a fragmentos. El color predominante en la zona 1 fue el verde, mientras que en la zona 2 fue el azul. En cuanto al tamaño, en la zona 1 se obtuvo la misma cantidad de piezas en los intervalos de 1.0 a 2.0 mm y 2.1 a 3.0 mm, mientras que en la zona 2 el único intervalo de tamaño encontrado fue de 3.1 a 4.0 mm.

3.3. Comparación con otros estudios

En la Tabla 1 se muestra una comparación de diferentes estudios enfocados en el análisis de microplásticos en playas, de los cuales cinco se realizaron en playas mexicanas y uno en una playa internacional. Estos estudios fueron seleccionados para la comparación, ya que en su mayoría corresponden a playas turísticas, mientras que solo una es considerada un área natural protegida. Cada estudio presenta concentraciones, tipo, color y tamaño, que sirvieron como indicadores para identificar la contaminación por microplásticos en diferentes lugares.

Tabla 1: Información relevante de estudios de microplásticos en playas mexicanas y extranjeras

ID	Título del trabajo	Lugar	Playas muestreadas	Concentraciones	Tipo	Color	Tamaño
1	Contaminación por residuos marinos en tres zonas de una playa en Oaxaca, México (Martínez Toledo et al., 2023)	Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México	Tres zonas muestreadas de la playa Bamba, todas las zonas denominadas de alta afluencia	La zona 2 de la playa Bamba presentó una concentración mayor con 76.3 MP/m^2, seguido de la zona 3 con 63.4 MP/m^2 y finalmente la zona 1 con 59.9 MP/m^2	Zona 1: fragmentos (88%), fibras (6%) y quemados (6%); Zona 2: fragmentos (92%), fibras (8%); Zona 3: fragmentos (61%), espumado (33%), fibras (6%)	En las tres zonas, el color predominante fue el blanco (41%, 46%, 78%), seguido del azul (29%, 15%, 11%) y verde en zonas 1 (12%) y 2 (31%)	No se realizó clasificación por tamaño
2	Análisis de la presencia de microplásticos en una playa y marisma en Zipolite, Oaxaca (Moctezuma Parra et al., 2022)	San Pedro Pochutla, Oaxaca, México	Una playa muestreada con dos zonas: Zona 1 en la pleamar y Zona 2 en una marisma frente a la playa (afluencia alta)	La marisma presentó una concentración promedio de 20.1 MP/kg, mayor que la playa con 15.35 MP/kg	Los espumados fueron los más abundantes en ambas zonas, con 93% para las marismas y 96% en playas	Predomina el blanco: 94% en la marisma y 93% en la playa	Intervalo de 1.0 a 5.0 mm

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Información relevante de estudios de microplásticos en playas mexicanas y extranjeras (continuación)

ID	Título del trabajo	Lugar	Playas muestreadas	Concentraciones	Tipo	Color	Tamaño
3	Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México (Peralta Pelaez et al., 2023)	Veracruz, en el PNSAV, Golfo de México, México	Cuatro playas: La Mancha, Chachalacas, Chalchihuecan, Antón Lizardo y Sendero	Promedio de 4.5 MP/m^2, Chalchihuecan con 6 MP/m^2, Sendero con 6 MP/m^2, Chachalacas con 6.5 MP/m^2, Antón Lizardo con 3.7 MP/m^2 y La Mancha con 1.3 MP/m^2	92.35% irregulares, 4.12% fibras, 1.76% pellets, 1.76% películas	Colores: verde (13.89%), rojo (8.33%), azul (14.44%), amarillo (3.89%), blanco (31.11%), gris (2.22%), negro (1.12%), café (2.22%), y transparente (22.78%)	Tamaños entre 1.0 a 5.0 mm
4	Clasificación de Microplásticos en Playas urbanas, suburbanas, rurales y naturales de Colima y Jalisco, México (Torrez Pérez et al., 2021)	Colima y Jalisco, México	12 playas en Manzanillo, Cihuatlán y La Huerta	Suburbana (3.619 MP/kg), urbana (3.188 MP/kg), rural (2.107 MP/kg), natural (1.824 MP/kg)	Fragmento (3.820 MP/kg), fibra (2.880 MP/kg), gránulo (400 MP/kg), película (60 MP/kg)	Fibras en azul y gris, películas en negro, blanco y gris	MP entre 0.1 a 5.0 mm
5	Micro plástico: una amenaza imperceptible en la Playa Agua Dulce, distrito de Chorrillos (Sánchez Contreras et al., 2022)	Distrito de Chorrillos, Lima, Perú	Dos zonas en Playa Agua Dulce: supra litoral y línea de alta marea	Supra litoral: 43 piezas/m^2, alta marea: 25 piezas/m^2	29.4% poliestireno expandido, 23.3% fragmentos, 20.9% pellets, 20.4% otros	No se realizó clasificación por color	Entre 1.0 y 5.0 mm

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Información relevante de estudios de microplásticos en playas mexicanas y extranjeras (continuación)

ID	Título del trabajo	Lugar	Playas muestreadas	Concentraciones	Tipo	Color	Tamaño
6	Contaminación por microplásticos en playas de un área natural protegida mexicana (Cruz Salas et al., 2023)	Isla Lobos, Veracruz, México	Cuatro zonas (alimentación de tortugas, uso público, contigua a uso público, helipuerto)	Zona 1: 35.00-1,260.00 pieza/m, Zona 2: 10.00-230.00 pieza/m, Zona 3: 5.00-132.00 pieza/m, Zona 4: 0.00-1,055.00 pieza/m	Fibras (78.20%), espumados (2.36%)	No se realizó clasificación por color	Fibras (0.03 a 1.90 mm), fragmentos (0.06 a 4.72 mm), películas (0.0 y 4.44 mm), espumados (0.20 y 5.00 mm)

Comparando los estudios 1 y 3 mostrados con anterioridad, se muestra que la Z1 de la playa de Nuevo Vallarta, Nayarit presentó una mayor concentración de microplásticos comparada con las tres zonas de la playa Bamba ubicada en Oaxaca, al igual que con el promedio obtenido en las playas del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. La presencia de microplásticos en la zona de Nayarit puede deberse a las regiones críticas identificadas en las costas, ya que al ser influenciadas por la conectividad entre cuencas, reciben agua de cuencas adyacentes altamente urbanizadas; por otro lado, las costas de esta región reciben la desembocadura de ríos (río Ruiz y río San Pedro), estimados como fuentes de fuga de plásticos al océano (Vázquez-Morillas et al., 2022). Referente a las características de los microplásticos encontrados, éstas fueron similares, ya que se reportó en general la presencia de fibras, fragmentos y películas. En cuanto a los colores, también se presentan similitudes: el color predominante para los estudios 1, 2 y 3 fue el color blanco, seguido del azul, rojo y verde. En las zonas evaluadas de la playa Nuevo Vallarta, los colores predominantes en ambas zonas fueron el color azul, mientras que en la zona 1 también se encontraron piezas de color amarillo, naranja y café. Respecto al tamaño de los microplásticos en la Z1, los intervalos fueron los siguientes: 1.0 a 2.0 mm (41.7%), 2.1 a 3.0 mm (41.7%), y 4.1 a 5.0 mm (16.7%). En la Z2, el 100% de los microplásticos presentó un intervalo de 3.1 a 4.0 mm. Lo explicado con anterioridad sirve para conocer los niveles de concentración de microplásticos entre aquellas playas donde igualmente hay contaminación plástica.

En general, los factores que intervienen en cada zona dependen de diversas actividades. En el trabajo 1, su fuente de contaminación está derivada de fuentes antropogénicas y naturales, como el acceso, las actividades turístico-recreativas y el oleaje. En el caso del trabajo 2, la mayor concentración de microplásticos se atribuyó a una fuente natural; en el lugar se encuentra un pequeño riachuelo que, por las escorrentías pluviales, arrastra sedimentos y residuos, incluidos plásticos (Moctezuma Parra et al., 2022). Es importante tomar en cuenta aquellas zonas que son la desembocadura de otra región; tal es el caso del trabajo 3, que menciona que la región del PNSAV recibe la influencia de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado, lo cual podría ser un factor importante, así como los desechos provenientes del norte del estado de Veracruz. Por otro lado, los resultados del trabajo 4 confirman que la presencia de microplásticos en todas las tipologías de playa contribuye significativamente a la comprensión del alcance de la dispersión de desechos plásticos en el ambiente costero-marino (Torrez Pérez et al., 2021). Un aspecto importante del trabajo 5 es que, al ser la playa estudiada una de las más concurridas del país (Perú), se presenta un escenario donde agentes contaminantes impactan de manera silenciosa y negativa el medio ambiente.

El último estudio asoció la presencia de microplásticos a tres fuentes principales: gestión de residuos, descarga de aguas residuales y transporte de residuos por corrientes marinas (Cruz Salas et al., 2023). Esto indica que es fundamental evaluar las fuentes contaminantes y visualizar los factores que inciden en la presencia de contaminación en las playas.

Entre las dos zonas estudiadas, se observó una diferencia significativa en las concentraciones, siendo mayor en la Z1. En ambas zonas, el color predominante fue el azul. En cuanto a las medi-

das, los intervalos variaron entre zonas: el comportamiento en la zona 1 se atribuye a su ubicación frente al hotel, siendo una zona turística con presencia continua de personas. La alta concentración en esta zona podría deberse a pérdidas durante el transporte de artículos utilizados en el lugar o residuos plásticos olvidados que, por efectos ambientales, se fragmentan con el tiempo. En cambio, la zona 2, al estar frente a un terreno baldío, presentó una menor concentración. Esta presencia de microplásticos no se debe a procesos de degradación o fragmentación en el sitio, sino al movimiento y transporte de materiales provenientes de otros sitios.

4. Conclusiones

El presente trabajo tuvo como línea de investigación los microplásticos en dos zonas de la playa Nuevo Vallarta, Nayarit. En ambas zonas estudiadas se encontraron microplásticos; la zona 1 (enfrente del hotel) presentó mayor concentración de microplásticos (382.0 MP/m^2) respecto a la zona 2, ubicada lejos del hotel (31.8 MP/m^2). La comparación con otros estudios sirvió para conocer aquellas zonas donde existe una concentración de microplásticos, lo que permitió abrir un panorama acerca de la contaminación presente y de las causas que la ocasionan. En cada una de las zonas presentadas en cada estudio, se describen las diferentes condiciones que ocasionan su contaminación, las cuales pueden ser una mala gestión de residuos, actividades turístico-recreativas o diversas fuentes antropogénicas y naturales. Con esto, es importante tener en cuenta el alcance que tienen los desechos plásticos, ya que una vez fragmentados logran transportarse.

Es importante que la población de la región cercana a la playa de estudio tome diferentes medidas para evitar que la contaminación plástica vaya en incremento. Entre las sugerencias se incluye la realización de campañas de limpieza en las playas, y la concienciación constante a los turistas sobre los problemas actuales, invitándolos a contribuir a evitar el deterioro y contaminación en la zona. Se sugiere fomentar la conciencia sobre la problemática de la contaminación ocasionada por el uso del plástico, mediante la difusión de información sobre productos que contribuyen a la generación de microplásticos. Estos microplásticos, al llegar al sistema de drenaje, siguen su curso y terminan en ríos, lagos y océanos. Además, es importante manejar correctamente los residuos que se generen en la playa, estableciendo contenedores adecuados para los residuos en la zona y asegurando una buena recolección que considere el aprovechamiento y la valorización de los mismos. Lo anterior se puede realizar mediante voluntariados, proyectos y campañas.

Por último, se recomienda realizar estudios sobre la identificación de las diversas fuentes de contaminación, con el objetivo de proponer soluciones que eviten el incremento de estos problemas.

Referencias bibliográficas

[1] Álvarez Zeferino, J. C. (2020). Factores que inciden en la presencia de microplásticos en playas mexicanas. Universidad Autónoma de Baja California.

[2] Álvarez Zeferino, J. C., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A. A., Martínez-Salvador, C., & Vázquez-Morillas, A. (2020). Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104633. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104633

[3] Álvarez Zeferino, J. C., Ojeda Benítez, S., Cruz Salas, A. A., Vázquez Morillas, A., & Martínez Salvador, C. (2020). Dataset of quantification and classification of microplastics in Mexican sandy beaches. *Data in Brief*, 30, 105580.

[4] Cruz Salas, A. A., Ojeda Benítez, S., Vázquez Morillas, A., Álvarez Zeferino, J. C., Cruz Sotelo, S. E., & Moctezuma Parra, K. J. (2023). Contaminación por microplásticos en playas de un área natural protegida mexicana. *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, 97. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094828

[5] De la Sota Zubiliaga, A. (2017). Microplásticos: Incidencia, efectos y fuentes de emisión al medio ambiente acuático. *XXXIV Jornadas Técnicas de AEAS*, 553–562. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7189521

[6] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2020). Contaminación por microplásticos. Gobierno de La Ciudad de México. https://www.gob.mx/imta/articulos/contaminacion-por-microplasticos

[7] Moctezuma Parra, K. J., Cruz Salas, A. A., Álvarez Zeferino, J. C., Vázquez Morillas, A., & Vichido Medina, S. J. (2022). Análisis de la presencia de microplásticos en una playa y marisma en Zipolite, Oaxaca. *1er Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos*, octubre.

[8] Peralta Peláez, L. A., Peña Montes, C., Hermida Castellanos, L., Huerta Quero, O. de J., Hernández Álvarez, C., Mejía Estrella, I. A., & Sulbarán Rangel, B. (2023). Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Hidrobiológica*, 33(2), 231–242. https://doi.org/10.24275/khdd6042

[9] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2023). Microplásticos: Consecuencias históricas de la contaminación por plásticos. https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/microplasticos-consecuencias-historicas-de-la-contaminacion-por

[10] Sánchez Contreras, L. L., Huamán Quispe, A. L., & Ángeles Mendiola, O. J. (2022). Micro plástico: Una amenaza imperceptible en la Playa Agua Dulce, distrito de Chorrillos. *Revista del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 25(49), 303–311. https://doi.org/10.15381/IIGEO.V25I49.19219

[11] Torrez Pérez, K. A., Cervantes, O., Reys Gómez, J., & Olivos Ortiz, A. (2021). Clasificación de microplásticos en playas de Colima y Jalisco, México. *Revista Costas*, 2(3), 199–222. https://doi.org/10.25267/costas.2021.v2.i3.0903

[12] Vázquez Morillas, A., Cruz Salas, A. A., Álvarez Zeferino, J. C., Rosado Piña, V. L., Beltrán Villavicencio, M., Mendoza Sánchez, M., Espinosa Valdemar, R. M., & Velasco Pérez, M. (2020). Monitoreo de microplásticos en playas. *Universidad Autónoma Metropolitana*, julio, 1–28. https://www.researchgate.net/publication/343322519

Metodología para el estudio de microplásticos en aire exterior

Mariana Lizeth Galicia Piedra[1], Luisa Fernanda Rosales Salinas[1], Arely Areanely Cruz Salas[1], Griselda González Cardoso[1], Fernando Millán Vázquez[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[2], Alethia Vázquez Morillas[1]

[1] Área de Tecnologías Sustentables, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo Xalpa No. 420 Col. Nueva el Rosario C.P. 02128 Alcaldía Azcapotzalco, CDMX, México.

[2] Secretaría de la Defensa Nacional, Universidad del Ejército y Fuerza Aérea. Escuela Militar de Ingenieros. Av. Industria Militar No. 261 Col. Lomas de San Isidro, Naucalpan de Juárez Edo. Méx. C.P. 53960, México.

[*]Correo electrónico: a12183040602@azc.uam.mx

Resumen

Los microplásticos (MPs) son partículas menores o igual a 5 mm que están presentes en diferentes matrices ambientales. El estudio de MPs en aire es importante, debido a que el aire los transporta permitiendo que los humanos puedan inhalarlos, lo cual puede traer consigo distintas afectaciones a la salud. Este trabajo se enfoca en el desarrollo de una metodología para el muestreo y análisis de MPs presentes en el aire exterior. Se realizó una revisión bibliográfica de distintos artículos relacionados con la toma de muestra de MPs en aire y se extrajo la información relacionada con los equipos, el material filtrante, las condiciones de tiempo y flujo utilizados para los muestreos. Posteriormente se realizaron las pruebas para escoger el material filtrante, el tiempo y el flujo adecuados que permitieran muestrear y realizar el conteo de MPs. Con base en la investigación, se encontró que los filtros de ésteres de celulosa son los más adecuados para este tipo de muestreo, pues con ayuda de la luz UV se logra apreciar de manera sencilla los MPs presentes en los filtros; asimismo, se observó que el tiempo de muestreo adecuado por filtro es de 6 horas con un flujo de 5 L/min. La metodología propuesta es accesible y permite una identificación de MPs adecuada.

Palabras clave: *Material filtrante*, *microfibras*, *muestreo*, *tinción*

1. Introducción

A lo largo de los años, la producción de plásticos ha ido en aumento, ya que su demanda ha crecido debido a sus diferentes usos tanto en la industria como en la vida cotidiana. Este incremento en su producción ha generado distintos problemas, tales como la contaminación de los ecosistemas debido a la persistencia de los residuos plásticos en el ambiente, la cual puede deberse a la inadecuada disposición de estos residuos generados diariamente en distintos ámbitos como el hogar, diversas

industrias, comercios, entre otros. Dentro de los problemas que los plásticos y sus residuos pueden generar, se encuentra la formación de los microplásticos (MPs).

Los MPs son partículas de un tamaño menor o igual a 5 mm, que pueden tener distintas formas y tamaños; los más grandes se pueden apreciar a simple vista, mientras que para los más pequeños se utilizan técnicas de microscopía. Los MPs pueden clasificarse de acuerdo con su origen en dos grandes grupos: primarios y secundarios. Los MPs primarios son aquellos que se crean intencionalmente para utilizarse como materia prima en distintas industrias, como la producción de plásticos más grandes, en la industria cosmética como ingredientes de maquillaje, exfoliantes y bloqueadores solares. Por otra parte, los MPs secundarios son aquellos que se originan debido a la degradación y/o fragmentación que sufren los plásticos de mayor tamaño por distintos factores como la radiación UV, el viento, el oleaje, entre otros. Este tipo de MPs se emiten al ambiente con mayor facilidad; sin embargo, ambos tipos representan una importante fuente de contaminación dentro de los distintos ecosistemas (Huanaco et al., 2023). Así mismo, los MPs se pueden clasificar por su forma. Las formas más comunes son fragmentos, fibras, pellets, películas y microbeads, y dependen de las fuentes de generación (Crawford & Quinn, 2017; Honghao et al., 2024).

Con el paso de los años, el tema de los MPs ha tomado gran relevancia, debido a que se ha comprobado que son capaces de acumular distintas sustancias tóxicas que pueden afectar la salud. Además, dado que las fuentes de MPs son variadas, su presencia en el ambiente terrestre —incluyendo el aire y los sedimentos— y en el ambiente marino —incluyendo lagos, mares y océanos— es muy común. Asimismo, los MPs se pueden encontrar en la fauna y en los alimentos de consumo diario (Blackburn & Green, 2021).

1.1. Microplásticos en el aire

La presencia de MPs en el aire es un tema relativamente nuevo, pero de gran importancia para la investigación, ya que es una de las principales vías de exposición de los humanos a los MPs. Se ha comprobado que su presencia no se limita solo a zonas urbanas, sino que también abarca áreas remotas. La concentración de MPs en el aire está directamente influenciada por diversos factores ambientales, como la dirección y velocidad del viento, las corrientes y la turbulencia. Asimismo, influyen su tamaño y densidad; en comparación con otros ambientes, los MPs presentes en el aire tienden a ser de un tamaño inferior. De acuerdo con Marcos (2020), el tiempo en que los MPs permanecen en el ambiente se ve afectado por su tamaño: los MPs de aproximadamente 10 µm tienden a permanecer entre 5.5 y 11 días cerca de las fuentes de emisión, mientras que los MPs de tamaño menor o igual a 2.5 µm logran transportarse a mayores distancias, encontrándose en lugares remotos y permaneciendo suspendidos hasta 37 días (Pat-Vázquez et al., 2024).

Los MPs pueden ingresar al organismo humano a través de tres principales vías: ingesta, contacto dérmico e inhalación. Debido a que los MPs son capaces de absorber sustancias tóxicas, como los contaminantes orgánicos persistentes, pueden actuar como vectores de distintos contaminantes, dirigiéndolos hacia los tejidos. Además, pueden causar respuestas inflamatorias y daños en el

sistema inmunológico, desencadenando enfermedades crónicas y trastornos metabólicos. Aunque los efectos en la salud de las personas aún son poco conocidos, se ha identificado la presencia de MPs en los pulmones e incluso en la sangre (Huanaco et al., 2023; Khaleel et al., 2023; Pat-Vázquez et al., 2024).

1.2. Formas de muestreo en el aire

Existen dos maneras de muestrear partículas atmosféricas (PM por sus siglas en inglés) en el aire: muestreo pasivo y muestreo activo. En el muestreo pasivo, las micropartículas se recolectan por medio de adsorción y/o absorción, sin necesidad de bombas de succión o equipos activos. Para este muestreo se pueden utilizar membranas porosas que permitan la captura de partículas en suspensión. La tasa de captura depende de varios factores, como la velocidad del viento, la concentración de partículas en el aire y las características del material de captura (INE, 2017; Oporto et al., 2021).

Por otro lado, en el muestreo activo se emplean distintos equipos que pueden ser de alto o bajo volumen. Los equipos de alto volumen, denominados Hi Vol, se utilizan para muestrear grandes volúmenes de aire (1,100 L/min) durante períodos prolongados, como un día entero. Por su parte, los equipos de bajo volumen, conocidos como Mini Vol, se utilizan para medir volúmenes pequeños de aire (5 - 16.5 L/min). Ambos equipos sirven para medir partículas suspendidas totales (PST), así como materia particulada 10 y 2.5 (PM_{10} y $PM_{2,5}$ respectivamente), y por ende, microplásticos (INE, 2017; Oporto et al., 2021). En este tipo de muestreo también se emplean membranas como material filtrante para la captura de las partículas.

Es importante mencionar que el uso de un cierto tipo de membrana depende de varios factores, como el tamaño de partículas que se desea retener, la porosidad, la densidad y la velocidad de flujo. Además, existen distintos materiales para los filtros, como el papel, espuma, fibras sintéticas y algodón. La selección del tipo de filtro depende del tamaño de las partículas que se requieren muestrear, así como del flujo al que se realiza el muestreo (Dris et al., 2017). El objetivo de esta investigación es desarrollar una metodología adecuada para el estudio de MPs en aire exterior, incluyendo la etapa de muestreo y el procesamiento de las muestras.

2. Metodología

A continuación, se describen las etapas del estudio, comenzando por una revisión bibliográfica, seguida de las pruebas para el muestreo y análisis de MPs en aire.

2.1. Revisión bibliográfica

Se realizó la revisión bibliográfica de distintos artículos científicos, tesis de licenciatura y posgrado, y memorias de congresos nacionales e internacionales relacionados con el estudio de microplásticos en aire. Particularmente, se seleccionó la información relacionada con los equipos, el material

filtrante, las condiciones de tiempo y puntos de muestreo, así como las técnicas para el análisis en laboratorio.

2.2. Pruebas para el muestreo y análisis de microplásticos en aire

Se llevaron a cabo distintas pruebas para la selección adecuada del material filtrante, el flujo y el tiempo de muestreo, las cuales se explican a continuación.

Material filtrante y luz

Se seleccionaron los siguientes tipos de material filtrante para realizar las pruebas de filtración al vacío y observación al microscopio: fibra de vidrio, fibra de cuarzo, teflón, nitrocelulosa, papel filtro grado 41 y ésteres de celulosa. Los primeros cuatro materiales filtrantes contenían material particulado proveniente de muestreos realizados previamente en otros proyectos, mientras que los dos últimos contenían fibras provenientes de textiles sintéticos. En cada material filtrante se realizó una tinción mediante un sistema Millipore de filtración al vacío, en el cual se hicieron pasar 5 mL de agua desionizada con 1 gota de la solución de colorante Rojo Nilo, con una concentración de 500 µg/mL, para teñir los MPs presentes. Después del filtrado, las membranas se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24 horas en cajas Petri de vidrio. Posteriormente, se observaron bajo el microscopio óptico con los objetivos 4x y 10x, utilizando luz blanca y luz UV para analizar la distinción y conteo de MPs.

Flujo y tiempo de muestreo

Se utilizó un equipo Mini Vol Portable Air Sampler, el cual se colocó en la azotea del edificio W de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, a una altura aproximada de 9 metros y a 1.5 metros sobre la superficie de la azotea (ver Figura 1). El equipo se dejó muestreando durante 6, 8, 24 y 48 horas a flujos de 5 y 2 L/min. Con base en los hallazgos de la revisión bibliográfica, se eligió un flujo de muestreo de 5 L/min. Para el material filtrante, se utilizó el seleccionado en la prueba anterior. Después de cada muestreo, el material filtrante se guardó en cajas Petri de vidrio y se sometió a la prueba de tinción para evaluar la saturación del filtro en función del tiempo de muestreo. Esto incluyó la observación de la facilidad de filtrado del colorante y la apariencia de los MPs en las membranas bajo el microscopio óptico, con los objetivos 4x y 10x, para su conteo.

3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la presente investigación.



Figura 1: Equipo de muestreo Mini Vol Portable Air Sampler en la azotea del edificio W de la UAM-A

3.1. Estudios sobre el análisis de microplásticos en aire

En la Tabla 1 se presentan los estudios relacionados con los MPs en aire exterior. Los equipos utilizados son variados, con excepción de los estudios 5 y 8, donde se utiliza un Mini Vol Air Metrics con un flujo de 5 L/min en ambas investigaciones. Asimismo, en los estudios 2 y 8 se realizó un muestreo de partículas suspendidas totales (PST). El material filtrante más utilizado fue la fibra de cuarzo y microfibra de vidrio.

En cuanto al proceso de tinción e identificación, en los estudios 2 y 7 se realizó una tinción con Rojo Nilo para la identificación visual de MPs, mientras que en los estudios 3, 6 y 8 no se realizó ningún proceso previo a la identificación. La identificación se llevó a cabo de manera visual en ocho de los estudios.

Tabla 1: Información relevante de los estudios de la revisión bibliográfica

No.	Lugar	Equipo (marca y modelo)	Partículas muestreadas (PM10, PM2.5, PST)	Filtro	Tiempo de muestreo (horas)	Flujo de muestreo (L/min)	Tinción	Identificación	Referencia
1	Seúl, Corea del Sur	BMW-2500	NE	Nitrato de celulosa, Ap=5 µm, ø=47 mm	48	7	NE	NE	Choi et al. (2022)
2	Wenzhou, China	LB-120F	PST	Microfibra de vidrio, Ap=0.7 µm, ø=90 mm	6	100	3 gotas de Rojo Nilo (5 mg/mL), tiempo de reposo: 30 min a temperatura ambiente	Estereomicroscopio de fluorescencia	Liao et al. (2021)
3	Ciudad de México, México	BGI PQ200 FRM (low vol)	PM10 y PM2.5	PTFE, Ap=2 µm, ø=46.2 mm	24	16.67	NE	Cámara digital y microscopio de epifluorescencia	Shruti et al. (2022)
4	París, Francia	GH300	NE	Fibra de cuarzo, Ap=1.6 µm, ø=47 mm	10 - 40	8	NE	Estereomicroscopio	Dris et al. (2017)
5	Aveiro, Portugal	Air Metrics MinVolTM TAS	PM10	Fibra de cuarzo, Ap=2.2 µm	48	5	NE	Estereomicroscopio digital	Prata et al. (2020)
6	Nueva Jersey, Estados Unidos	Thermo Scientific™ Partisol™ 2000i-D Dichotomous	PM10 y PM2.5	Fibra de cuarzo, Ap=2.2 µm, ø=47 mm	NE	1.67 para PM10 y 15 para PM2.5	NE	Microscopio Raman	Yao et al. (2022)

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Información relevante de los estudios de la revisión bibliográfica (continuación)

No.	Lugar	Equipo (marca y modelo)	Partículas muestreadas (PM10, PM2.5, PST)	Filtro	Tiempo de muestreo (horas)	Flujo de muestreo (L/min)	Tinción	Identificación	Referencia
7	California, Estados Unidos	Sistema de filtración al vacío simple con una bomba de vacío Cole-Parmer Air Admiral y un totalizador de flujo de aire Alicat Scientific	NE	Microfibra de vidrio, Ap=1.6 µm, ø=47 mm	8	11.7	0.5-1mL de Rojo Nilo (10 mg/mL), tiempo de reposo: 10 min en campana extractora	Estereoscopio integrado con cámara digital	Gaston et al. (2020)
8	Beijing, China	MiniVol Air Metrics	PST	Membrana de ésteres de celulosa, Ap=0.8 µm, ø=47 mm	6 - 8	5	NE	NE	Li et al. (2020)
9	Shanghái, China	KB-120F	NE	Microfibra de vidrio, Ap=1.6 µm, ø=90 mm	1	100	NE	Estereoscopio integrado con cámara	Liu et al. (2019)

NE: No especificado, TM: Trade Mark, TAS: Tactical Air Sampler, PST: Partículas suspendidas totales, ø: Diámetro, Ap: Apertura de poro, PTFE: Politetrafluoroetileno

3.2. Selección del material filtrante y luz

La tinción se realizó de manera adecuada, es decir, la solución se filtró con facilidad (entre 1 y 3 minutos) en la mayoría del material filtrante, con excepción del teflón, para el cual, debido a su baja permeabilidad, no se logró la filtración de la solución con Rojo Nilo; además, al momento de retirarlo, el filtro se rompió. Asimismo, el filtro de nitrocelulosa presentó dificultades, ya que la solución no se filtraba correctamente. Se realizaron más pruebas de filtración con este material, pero solo en el primer filtro se logró la tinción y el filtrado de la solución.

Al realizar el conteo de MPs en el microscopio, se observó que, en general, la luz UV era la mejor opción para realizar el conteo de MPs. Aunque en algunos casos, como las membranas 2, 3 y 7, la cantidad de MPs contabilizados fue la misma con ambas luces, la luz blanca puede dificultar la visualización de aquellos MPs que sean de un color transparente o lo suficientemente claros para confundirse con las fibras del material de las membranas. Esto se resalta en los filtros 4, 5 y 6, donde las cantidades de MPs son mayores al visualizarlas con luz UV. En particular, en el caso del filtro 1, se encontró una mayor cantidad de MPs al utilizar la luz blanca; esto se debió a que la mayoría de los MPs presentes en el filtro eran de un color oscuro y, con la luz UV, se dificultaba su observación (ver Tabla 2).

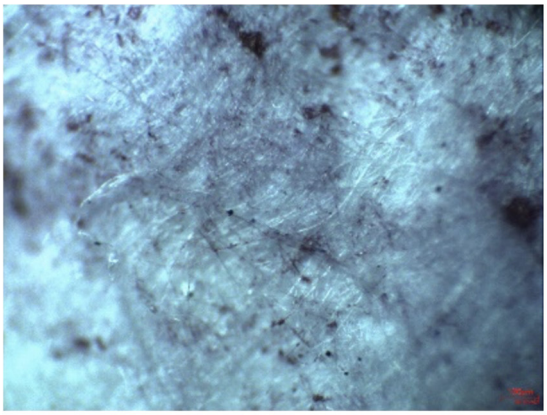
Tabla 2: Conteo de microplásticos en los diferentes materiales filtrantes con luz blanca y luz UV

No.	Material filtrante	Conteo con luz UV			Conteo con luz blanca		
		Fibras	Fragmentos	Películas	Fibras	Fragmentos	Películas
1	Fibra de cuarzo	288	96	7	390	102	13
2	Teflón	9	4	3	9	4	3
3	Nitrocelulosa	14	39	6	14	39	6
4	Papel filtro grado 41 (celulosa)	16	8	10	9	7	8
5	Fibra de vidrio	5	3	2	4	2	0
6	Fibra de vidrio	37	13	9	19	11	6
7	Mezcla de ésteres de celulosa	6	2	1	6	2	1

Durante la observación al microscopio, solo se contabilizaron aquellos MPs que adquirieron una coloración fluorescente bajo la luz UV debido al uso del colorante Rojo Nilo (ver Figura 2a), así como los observados bajo luz blanca, destacando la dificultad de la identificación de MPs con este tipo de luz (ver Figura 2b). Por lo anterior, se determinó que el material filtrante de mezcla de ésteres de celulosa es el más adecuado para el muestreo de MPs, ya que en este se visualizaron e identificaron con mayor facilidad los MPs presentes. Además, se estableció que el conteo de MPs



(a) Observación de MPs con luz UV



(b) Observación de MPs con luz blanca

Figura 2: Comparación de la observación de MPs utilizando diferentes fuentes de luz

es más eficaz con luz UV, mientras que la luz blanca solo se recomienda en casos donde exista dificultad para identificar si se trata de un MP o alguna otra partícula.

3.3. Selección del flujo y tiempo de muestreo

Durante los diferentes tiempos y flujos de muestreo se pudo observar que, para los tiempos de 24 y 48 horas, al utilizar un flujo de 5 L/min, la tinción presentó problemas, ya que el material filtrante se encontraba saturado de material particulado, ocasionando que la tinción no se realizara de manera uniforme y dificultando la identificación de MPs presentes. Al hacer las pruebas con un flujo de 2 L/min durante 24 horas, el filtro se observaba con menos saturación que en los primeros dos filtros; sin embargo, la alta presencia de material particulado dificultó la tinción y, por lo tanto, la identificación de MPs. En el caso del muestreo a 6 y 8 horas utilizando un flujo de 5 L/min, se obtuvo la mayor cantidad de MPs contabilizados en el material filtrante. Sin embargo, en el filtro correspondiente al muestreo de 8 horas, la filtración se complicó, ya que se formaron burbujas por debajo del filtro, lo que ocasionó que el colorante no impregnara por completo el filtro. Por otro lado, en el filtro correspondiente a las 6 horas de muestreo, la filtración se realizó de manera uniforme, lo cual facilitó la identificación de MPs, ver Tabla 3.

Tabla 3: Conteo de microplásticos por horas y flujos de muestreo

Filtro	Tiempo de muestreo (h)	Flujo de muestreo (L/min)	Conteo con luz UV		
			Fibras	Fragmentos	Películas
1	48	5	5	0	0
2	24	5	10	11	2

Continúa en la siguiente página

Tabla 3: Conteo de microplásticos por horas y flujos de muestreo (continuación)

Filtro	Tiempo de muestreo (h)	Flujo de muestreo (L/min)	Conteo con luz UV		
			Fibras	Fragmentos	Películas
3	24	2	11	1	1
4	8	5	16	0	1
5	6	5	24	1	1

Con base en estas observaciones, se determinó que el tiempo de muestreo ideal era de 6 horas con un flujo de 5 L/min (ver Figura 3). En caso de que se requiera monitorear la presencia de MPs en el aire por períodos mayores a 6 horas, se recomienda hacer un cambio del material filtrante cada 6 horas para evitar la saturación de partículas y con ello facilitar la tinción del material filtrante.

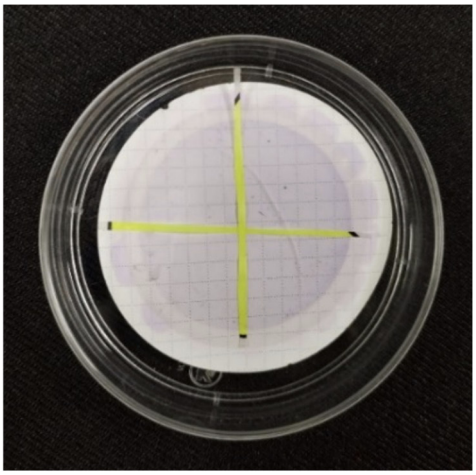


Figura 3: Tinción de filtro de 6 horas de muestreo

4. Conclusiones

Se desarrolló una metodología para el muestreo de microplásticos en aire exterior, destacando el material filtrante adecuado para evitar dificultades en la identificación de microplásticos; asimismo, se establece un tiempo de muestreo óptimo para evitar la saturación del material filtrante utilizado. De las pruebas realizadas se observó que la membrana de ésteres de celulosa es la más adecuada para el muestreo, ya que permite una identificación de microplásticos más clara. Además, el tiempo de muestreo óptimo es de 6 horas a un flujo de 5 L/min, dado que en este tiempo y flujo se logró la mejor tinción y una identificación adecuada de los microplásticos.

Para el muestreo, se recomienda que, en caso de requerir un tiempo mayor, se realice un cambio de filtro cada 6 horas, así como el uso de un volumen determinado de agua desionizada como blanco de campo durante la colocación del filtro en el equipo, con el fin de descartar la contaminación de microplásticos. Respecto a la tinción e identificación de microplásticos, se recomienda instalar mecheros alrededor del equipo de filtración para crear un ambiente más controlado o bien realizar la tinción en campanas de flujo laminar para evitar la contaminación cruzada.

Referencias bibliográficas

[1] Blackburn, K., & Green, D. (2021). The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. *Ambio*, 51(3), 518–530. https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9

[2] Choi, H., Lee, I., Kim, H., Park, J., Cho, S., Oh, S., Lee, M., & Kim, H. (2022). Comparison of Microplastic Characteristics in the Indoor and Outdoor Air of Urban Areas of South Korea. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(5), 1–10. https://doi.org/10.1007/s11270-022-05650-5

[3] Crawford, C., & Quinn, B. (2017). Microplastics standardisation and spatial distribution. In *Microplastic Pollutants* (pp. 101–120). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00005-4

[4] Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers including microplastics in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453–458. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013

[5] Gaston, E., Woo, M., Steele, C., Sukumaran, S., & Anderson, S. (2020). Microplastics Differ Between Indoor and Outdoor Air Masses: Insights from Multiple Microscopy Methodologies. *Applied Spectroscopy*, 74(9). https://doi.org/10.1177/0003702820920652

[6] Liu, H., Yang, J., Jiang, Y., Sun, R., Zhou, P., & Li, J. (2024). Behavior of Microplastics and Nanoplastics in Farmland Soil Environment and Mechanisms of Interaction with Plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(3), 2499–2513. https://doi.org/10.15244/pjoes/175021

[7] Huanaco Huamán, R., & Gamboa Fuentes, N. R. (2023). Microplásticos en Sedimentos Fluviales en la Cuenca Baja del Río Rímac, Perú. *Espacio y Desarrollo*, 40, 36–57. https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.2023.002

[8] Instituto Nacional de Ecología (INE). (2017). Manual 1. Principios de medición de la calidad del aire. *Principios de Medición de la Calidad del Aire*, 2, 16–22. https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-Principios_de_Medicion_de_la_Calidad_del_Aire.pdf

[9] Khaleel, R., Valsan, G., Rangel-Buitrago, N., & Warrier, A. K. (2023). Microplastics in the marine environment of St. Mary's Island: implications for human health and conservation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9). https://doi.org/10.1007/s10661-023-11651-6

[10] Li, Y., Shao, L., Wang, W., Zhang, M., Feng, X., Li, W., & Zhang, D. (2020). Airborne fiber particles: Types, size and concentration observed in Beijing. *Science of the Total Environment*, 705, 135967. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135967

[11] Liao, Z., Ji, X., Ma, Y., Lv, B., Huang, W., Zhu, X., Fang, M., Wang, Q., Wang, X., Dahlgren, R., & Shang, X. (2021). Airborne microplastics in indoor and outdoor environments of a coastal city in Eastern China. *Journal of Hazardous Materials*, 417. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126007

[12] Liu, K., Wang, X., Fang, T., Xu, P., Zhu, L., & Li, D. (2019). Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. *Science of the Total Environment*, 675, 462–471. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.110

[13] Marcos, A. (2020). Los microplásticos de las llantas de carros contaminan el océano y el Ártico. *El Espectador*. https://www.elespectador.com/ambiente/los-microplasticos-de-las-llantas-de-carros-estan-contaminando-el-oceano-y-el-artico-article/

[14] Oporto, V., Escóbar, I., Luján, M., & D'Abzac, P. (2021). Evaluación de la contaminación del aire por microplásticos suspendidos en la zona de La Maica (Cochabamba, Bolivia). *Acta Nova*, 10(2), 190–221. http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v10n2/1683-0789-ran-10-02-190.pdf

[15] Pat-Vázquez, N., Tirado-Mendoza, R., Manuel Cervantes-Uc, J., Leal-Bautista, R. M., Acosta-González, G., & Rodríguez-Fuentes, N. (2024). Efecto de los microplásticos de poliestireno sobre el citoesqueleto de células humanas. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 67(3), 8–21. https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2024.67.3.02

[16] Prata, J. C., Castro, J. L., da Costa, J. P., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T., & Cerqueira, M. (2020). The importance of contamination control in airborne fibers and microplastic sampling: Experiences from indoor and outdoor air sampling in Aveiro, Portugal. *Marine Pollution Bulletin*, 159. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111522

[17] Shruti, V. C., Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., & Elizalde Martínez, I. (2022). Occurrence and characteristics of atmospheric microplastics in Mexico City. *Science of the Total Environment*, 847. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.157601

[18] Yao, Y., Glamoclija, M., & Murphy, A. G. (2022). Characterization of microplastics in indoor and ambient air in northern New Jersey. *Environmental Research*, 207. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112142

Ocurrencia y distribución de microplásticos atmosféricos en Gutiérrez Zamora Veracruz

Mariana Lizeth Galicia Piedra[1], Luisa Fernanda Rosales Salinas[1], Arely Areanely Cruz Salas[1], Griselda González Cardoso[1], Fernando Millán Vázquez[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[2], Alethia Vázquez Morillas[1]

[1] Área de Tecnologías Sustentables, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 420 Col. Nueva el Rosario C.P. 02128 Alcaldía Azcapotzalco, CDMX, México.

[2] Secretaria de Defensa Nacional, Universidad del Ejército y Fuerza Aérea, Escuela Militar de Ingenieros. Av. Industria Militar No. 261 Col. Lomas de San Isidro, C.P. 53960 Naucalpan de Juárez, Edo. Méx., México.

*Correo electrónico: a12183040602@azc.uam.mx

Resumen

La producción masiva de plásticos se ha convertido en una problemática debido a que, a nivel mundial, no existe una correcta disposición del mismo al volverse residuo. Esto ha generado una nueva preocupación, ya que al pasar por procesos de degradación se fragmentan en pequeñas partículas conocidas como microplásticos (MPs). Principalmente se han estudiado en océanos y medios terrestres, aunque recientemente se han comenzado a estudiar en la atmósfera. Al hablar de contaminantes atmosféricos es necesario analizar aquellos factores que influyen en el transporte y deposición; no obstante, al tratarse de un contaminante emergente, este campo todavía es limitado. La presente investigación evaluó la presencia y posible distribución de MPs en el aire exterior de Gutiérrez Zamora, Veracruz. Se muestrearon partículas suspendidas totales (PST) con el equipo MiniVol Portable Air Sampler a un flujo de 5 L/min durante 12 horas por cinco días en la temporada seca. Para analizar las muestras se utilizó una técnica de tinción con Rojo Nilo, seguido de filtración al vacío para posteriormente identificar con un microscopio óptico aquellas partículas fluorescentes bajo luz UV y finalmente, se realizó un análisis de trayectoria inversa. Se obtuvo una concentración promedio de 3.47 ± 1.97 piezas/m^3, siendo las fibras el tipo de MPs encontrado con mayor abundancia (72%), mientras que las corrientes de aire provinieron de zonas urbanizadas y en una sola ocasión provinieron de la zona de playa y Golfo de México, lo cual permite aportar al análisis sobre posibles fuentes de MPs en la zona.

Palabras clave: *Fibras*, *contaminación atmosférica*, *residuos plásticos*, *trayectorias de aire*

1. Introducción

Hoy en día, la producción mundial de plásticos es mayor que la de otros materiales como el acero o aluminio (Baur et al., 2019). Su origen principalmente fósil los convierte en materiales que pueden persistir en el ambiente desde 50 hasta 200 años. Lo anterior, aunado a un manejo inadecuado al

convertirse en residuos, ha ocasionado su dispersión y acumulación en el ambiente. Anteriormente se creía que los plásticos desaparecían por procesos de fotodegradación y oxidación; sin embargo, actualmente se ha demostrado que, al degradarse, se fragmentan en pequeñas partículas conocidas como microplásticos (Álvarez-Lopeztello et al., 2021; Castells & Jurado, 2012).

Los microplásticos (MPs) son pequeñas partículas con un tamaño menor o igual a 5 mm; pueden fabricarse dentro de los procesos de producción (MPs primarios) o pueden generarse a partir de procesos de degradación química, física o biológica de plásticos más grandes (MPs secundarios) (Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016; SEMARNAT & INECC, 2020). Existen diferentes clasificaciones de MPs; sin embargo, en función de su forma pueden clasificarse principalmente en tres grupos: fibras, fragmentos y películas, aunque también se han encontrado microesferas (microbeads), pellets y espumas (Liao et al., 2021). Su morfología y densidad dependen del tipo de polímero y los efectos de meteorización en el ambiente en el que se encuentren (Gaston et al., 2020). Se ha evidenciado la presencia de MPs en gran variedad de ecosistemas, asentamientos urbanos e incluso en alimentos y agua potable, lo que genera preocupación acerca de los daños a la salud que puede generar su exposición. Diversas investigaciones han identificado MPs en muestras de pulmones, sangre, colon e hígado, descubriendo que estas partículas plásticas pueden ingresar al cuerpo por ingestión o inhalación e incluso, aquellas partículas menores a 5 µm, pueden terminar en el tejido pulmonar generando lesiones inflamatorias (Gaston et al., 2020; Jenner et al., 2022; Zhang et al., 2020).

Aunque principalmente se ha estudiado la presencia de este contaminante en océanos y superficies terrestres, su presencia dentro del medio atmosférico ha sido objeto de investigaciones recientes. Ha comenzado a estudiarse a los MPs como una fuente de contribución a la contaminación del aire, considerándolo dentro del material particulado (PM por sus siglas en inglés) en diversos estudios (Díaz, 2018; Oporto et al., 2021; Shruti et al., 2022). Asimismo, la dinámica de transporte y deposición son factores potenciales en la distribución de MPs en el ambiente; diversos estudios han comprobado que los parámetros meteorológicos como temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación pueden influir en la deposición de MPs en el aire, aunque este campo aún es limitado (Dris et al., 2017; Szewc et al., 2021).

En comparación con el medio acuático y terrestre, los MPs en el aire presentan tamaños mucho más pequeños. De hecho, se ha encontrado que su abundancia es mayor conforme disminuye el tamaño de las partículas (Zhang et al., 2020). Las formas que más dominan en la atmósfera son las fibras y fragmentos, presentando intervalos de tamaño de 100 – 500 µm para fibras y menores a 100 µm para fragmentos. Las fibras provienen de la ropa y textiles, siendo el poliéster la fibra sintética más común en el medio atmosférico. Por otro lado, se cree que los fragmentos se originan a partir de plásticos desechables generados a través de procesos de fragmentación (Prata et al., 2020).

En México solo se ha publicado un artículo sobre MPs en el aire en la Ciudad de México. Shruti et al. (2022) estudiaron su presencia en siete espacios de monitoreo, encontrando partículas con un intervalo de tamaño de 100 a 500 µm, siendo las fibras el tipo de plástico más común en

todas las muestras. Ampliar el campo de investigación acerca de la presencia de MPs atmosféricos permite explorar más sobre su abundancia y determinar amenazas potenciales a través de su presencia en el entorno aéreo. El objetivo de esta investigación fue analizar la presencia de MPs atmosféricos en una zona costera, aportando además a la dinámica de transporte al realizar un análisis de trayectoria inversa de los días monitoreados en la zona de estudio.

2. Metodología

La metodología utilizada consta de cuatro partes: descripción de la zona de estudio, muestreo de microplásticos (MPs), análisis de laboratorio y análisis de trayectoria inversa (ver Figura 1).

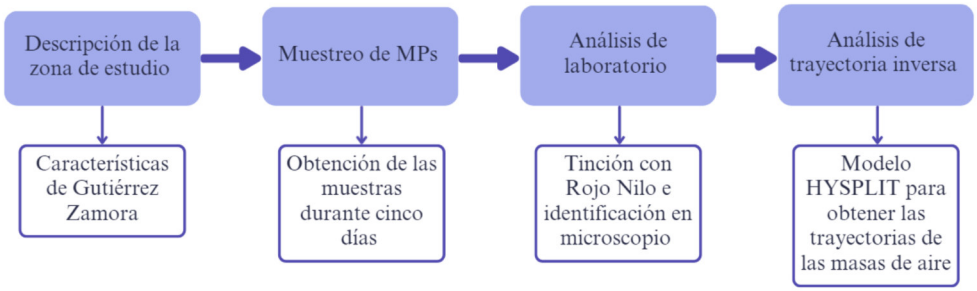


Figura 1: Diagrama de la metodología empleada

2.1. Descripción de la zona de estudio

Gutiérrez Zamora es una población ubicada en la zona costera veracruzana y es la ciudad cabecera del municipio con su mismo nombre. De acuerdo con datos del INEGI (2010), presenta un clima cálido tropical húmedo con precipitaciones abundantes en verano; la precipitación media anual es de 1500 mm y su promedio de temperatura oscila entre los 24 y 26 °C. El punto de muestreo dentro de la zona de estudio se localiza en las coordenadas 20°27'05.1"N, 97°05'03.3.º (ver Figura 2). Cabe resaltar que se ubica aproximadamente a 8 km de la población de Tecolutla, una zona reconocida por su atractivo turístico a nivel nacional.

2.2. Muestreo de microplásticos

Para la obtención de las muestras, se muestrearon partículas suspendidas totales (PST) con el equipo MiniVol Portable Air Sampler a través de la filtración de aire a un flujo de 5 L/min durante 12 horas por un periodo de 5 días dentro de la temporada seca. Se realizó un muestreo por duplicado (dos equipos al mismo tiempo), utilizando como material filtrante membranas de ésteres de celulosa (tamaño de poro de 0.45 µm, diámetro de 47 mm), las cuales se acondicionaron previamente en un desecador hasta obtener un peso constante. La altura de colocación de los equipos fue de 7 metros a nivel del suelo y cada equipo se colocó en una mesa para alcanzar una altura aproximada

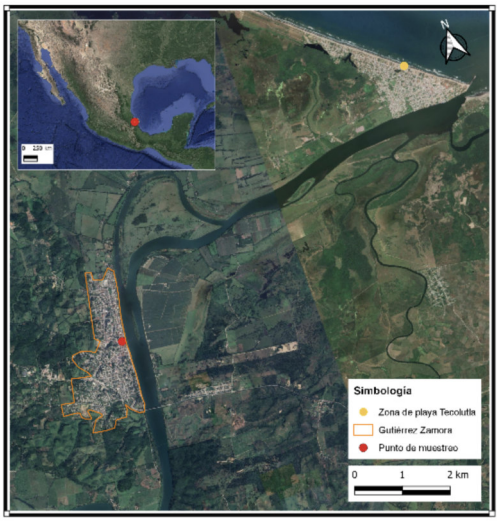


Figura 2: Localización de la zona de estudio

de 1.5 metros sobre el piso, simulando la altura media de la inhalación humana (Liao et al., 2021). Para evitar la contaminación cruzada, se utilizó ropa y bata de algodón, guantes, almacenamiento de filtros en cajas Petri de vidrio, pinzas de metal y limpieza del cabezal y portafiltros con papel adsorbente, así como el uso de blancos durante el muestreo. En cada colocación y retiro de filtros se registraron las condiciones de temperatura, presión, velocidad del viento y lluvia con ayuda de la aplicación móvil Windy.

2.3. Análisis de laboratorio

Posterior al muestreo, cada filtro se pesó tres veces para asegurar un peso constante. A cada uno se le realizó una tinción haciéndole pasar un volumen de 5 mL de agua desionizada con una gota de solución de colorante Rojo Nilo (500 µg/mL) a través de un sistema de filtración Millipore al vacío; antes de la filtración, la solución se dejó reposar aproximadamente 3 minutos. Una vez teñidos, cada filtro se almacenó nuevamente en cajas Petri y se dejó secar a temperatura ambiente por 24 horas. Posteriormente, los filtros se observaron con un microscopio óptico con objetivos 4x y 10x; el equipo fue adaptado con luz UV y una cámara externa para identificar aquellas partículas que se reflejaran con una coloración fluorescente. Además, se utilizó el software Image Focus para medir la longitud de los MPs y clasificar por tipo y tamaño.

2.4. Análisis de trayectoria inversa

Finalmente, se utilizó el modelo de dispersión HYSPLIT para obtener las trayectorias inversas de las masas de aire durante el muestreo (Rolph et al., 2017; Stein et al., 2015). Este análisis se realizó con el objetivo de estudiar a los MPs como parte del material particulado y analizar la dinámica de transporte y posibles fuentes de generación. Para ello, se obtuvieron las condiciones

meteorológicas y se introdujeron los datos del muestreo al software, corriendo el programa para cada uno de los días monitoreados. Se obtuvieron las trayectorias de aire y se recopilaron en cartas geográficas generadas mediante el software ArcGis.

3. Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en la investigación.

3.1. Concentraciones de MPs

Se obtuvieron las concentraciones totales de partículas suspendidas totales (PST) en µg/m^3 y de MPs en piezas/m^3 para los cinco días de muestreo, así como una concentración promedio, desviación estándar y varianza (ver Tabla 1). Se observa que los días con mayor y menor concentración de PST fueron el miércoles y sábado, 2 y 5 de agosto respectivamente, los cuales corresponden a los días 1 y 4 de muestreo. De manera inversa, el sábado 5 de agosto fue el día con mayor concentración de MPs, mientras que el miércoles 2 fue el día de menor concentración. Estos resultados sugieren que no existe una relación directa entre las concentraciones de PST y MPs, ya que una alta concentración de PST no necesariamente implica una alta concentración de MPs, pudiendo haber partículas de otro tipo como arena y polen. Además, se observa que las concentraciones más altas de MPs se dieron de viernes a domingo (del 4 al 6 de agosto), días que coinciden con mayor afluencia de visitantes. En este estudio no fue posible realizar una estimación de MPs en µg/m^3, debido al tamaño pequeño de las partículas, lo que impide aislarlas del resto de partículas para obtener su masa.

Tabla 1: Concentraciones diarias de PST y MPs a condiciones estándar (25°C y 1 atm)

Día de muestreo	Fecha	Día de la semana	PST (µg/m^3)	MPs (piezas/m^3)
1	02/08/2023	Miércoles	139.4518	0.6553
2	03/08/2023	Jueves	99.1367	2.3740
3	04/08/2023	Viernes	86.7142	3.8540
4	05/08/2023	Sábado	82.9467	5.2318
5	06/08/2023	Domingo	102.2955	5.2284
Promedio			102.1090	3.4687
Desviación estándar			22.4028	1.9664
Varianza			501.8864	3.8667

3.2. Caracterización de microplásticos

Como primera parte de la caracterización, se realizó una clasificación de MPs por día (ver Figura 3), encontrando que las fibras fueron el tipo de MPs de mayor abundancia, seguidas de los fragmentos, lo cual concuerda con lo reportado por Prata et al. (2020). En cuanto a las fibras, se contabilizó la mayor cantidad en el día 4, con más de 15 fibras identificadas, mientras que el día con menor cantidad fue el día 1, con solo cuatro fibras. Respecto a los fragmentos, el día con mayor abundancia fue el día 5, con cinco fragmentos, mientras que en el día 2 no se contabilizó ninguno. Finalmente, el día 5 también presentó la mayor cantidad de películas, con cuatro piezas identificadas, mientras que en el día 1 no se encontraron partículas de este tipo.

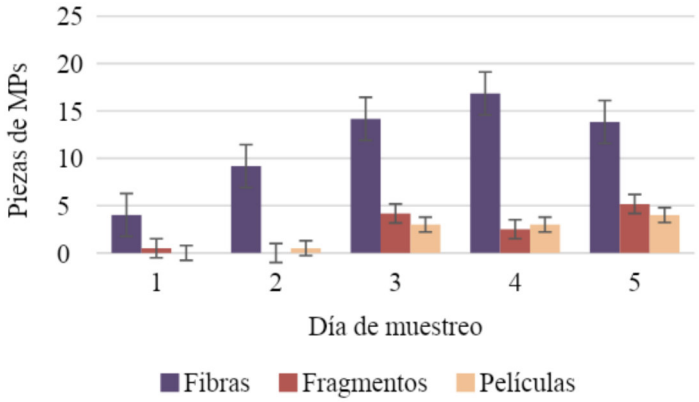


Figura 3: Cuantificación de los tipos de microplásticos

En cuanto a los porcentajes totales de los tres tipos de MPs, el 72% corresponde a fibras, el 15% a fragmentos y el 13% a películas (ver Figura 4). Investigaciones previas han señalado que las concentraciones y tipos de MPs pueden variar según la zona de estudio, ya que influyen factores como el tamaño de la población, las actividades económicas, las prácticas de gestión de residuos y condiciones meteorológicas, así como la vegetación en la zona (Shruti et al., 2022; Szewc et al., 2021; Zhang et al., 2020).

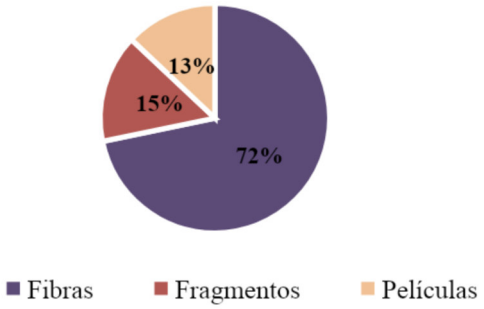


Figura 4: Porcentajes totales de microplásticos

Los intervalos de tamaño se clasificaron por día y tipo de MPs (ver Tabla 2). Además, se presenta un intervalo general para cada tipo (fibras, fragmentos y películas), mostrando que las fibras no solo son los MPs de mayor abundancia, sino también los de mayor tamaño. Las partículas de menor tamaño que pudieron identificarse fueron fragmentos de 0.02 mm, que, en comparación con otros MPs (ver Figura 5), apenas son visibles como un pequeño punto. Por lo anterior, es difícil identificar si se encuentran MPs de menor tamaño en la zona de estudio.

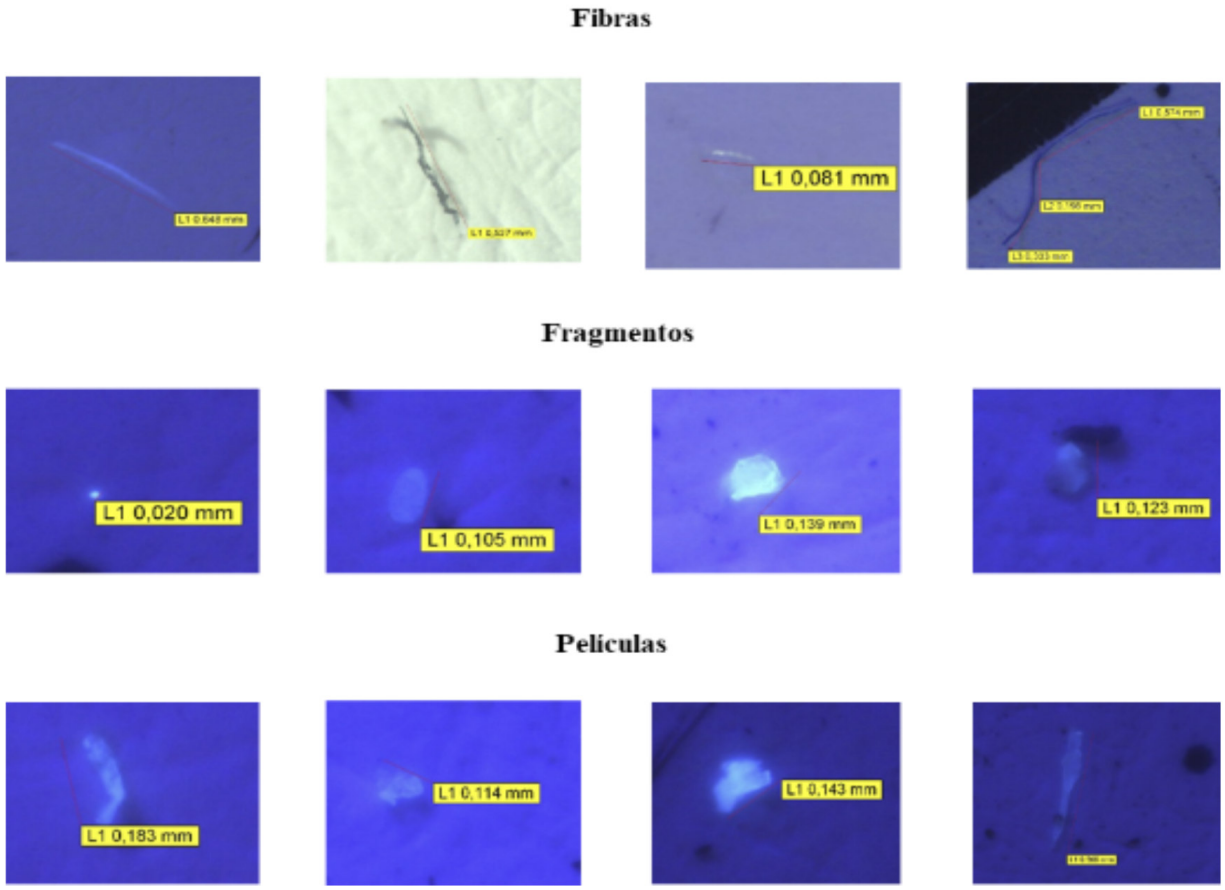


Figura 5: Ejemplos de fibras, fragmentos y películas identificados

Tabla 2: Intervalos de tamaño de microplásticos cuantificados

Día de muestreo	Fibras (mm)	Fragmentos (mm)	Películas (mm)
1	0.309-2.596	0.078	-
2	0.85-1.471	-	1.141
3	0.751-1.145	0.02-0.121	0.081-0.341
4	0.163-2.075	0.124-0.153	0.114-0.829

Continúa en la siguiente página

Día de muestreo	Fibras (mm)	Fragmentos (mm)	Películas (mm)
5	0.198-0.832	0.048-0.143	0.140-0.785
Intervalo general	0.309-2.596	0.02-0.153	0.081-0.829

3.3. Comparación con otros estudios

Actualmente, no se ha encontrado ningún estudio en México que reporte concentraciones de MPs atmosféricos en zonas costeras. Sin embargo, Szewc et al. (2021) llevaron a cabo una investigación sobre la deposición de estas partículas en la zona costera de Gdynia, Polonia. Aunque no es posible hacer una comparación directa, ya que en dicho estudio la deposición se expresa en piezas/m^2/día, se observó que el orden de abundancia fue similar, con predominancia de fibras (60%), seguido de películas (26%) y fragmentos (14%) en un intervalo de tamaño de 5 a 5000 µm. Comparando estos resultados con los del presente estudio, en ambos casos las fibras representan más del 50% del total, y el intervalo de tamaño (20-2596 µm) se encuentra dentro del rango reportado por Szewc et al. (2021).

Adicionalmente, se consultaron otras investigaciones que, aunque no incluyen monitoreos en zonas costeras, permiten dar una idea de las concentraciones de MPs obtenidas en otras áreas urbanas y rurales (ver Tabla 3). Respecto a Shruti et al. (2022), es difícil comparar los resultados, ya que reporta concentraciones por separado para PM10 (Partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 µm) y $PM_{2.5}$ (Partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 µm), por lo que se observa una notoria diferencia entre estos valores. Lo anterior concuerda con lo mencionado en su investigación, resaltando que se han encontrado mayores concentraciones de MPs en aquellos estudios donde se realiza un muestreo sin hacer la delimitación de PM_{10} y/o $PM_{2.5}$.

Tabla 3: Comparación de resultados con otros estudios

Lugar	Tipo de zona	Concentración promedio (piezas/m^3)	Intervalo de tamaño (µm)	Tipos de MPs encontrados	Referencia
Ciudad de México, México	Urbana	0.205 ± 0.061 (para PM10), 0.110 ± 0.055 (para PM2.5)	100 - 5000	79% fibras y 21% fragmentos para PM10, 77% fibras y 23% fragmentos para PM2.5	Shruti et al. (2022)

Continúa en la siguiente página

Tabla 3: Comparación de resultados con otros estudios (continuación)

Lugar	Tipo de zona	Concentración promedio (piezas/m^3)	Intervalo de tamaño (µm)	Tipos de MPs encontrados	Referencia
Wenzhou, China	Urbana	224 ± 70	5 - 5000	94.2% fragmentos y 5.8% fibras	Liao et al. (2021)
Wenzhou, China	Rural	101 ± 47	5 - 5000	94.2% fragmentos y 5.8% fibras	Liao et al. (2021)
París, Francia	Urbana	0.9	50 - 1650	100% fibras	Dris et al. (2017)
Gutiérrez Zamora, Veracruz, México	Zona de costa	3.469 ± 1.966	20 - 2596	72% fibras, 15% fragmentos y 13% películas	Actual

En el estudio presentado por Liao et al. (2021) se realizó un muestreo en zonal rural, la cual comprende tierras de cultivo, humedales y montañas, que aunque no son zonas costeras, coinciden en tener una baja actividad urbana. En este caso, los resultados obtenidos son notoriamente mayores respecto al estudio realizado en Gutiérrez Zamora, incluso, en dicha investigación se reporta a los fragmentos como MPs predominantes (94.2%). En caso contrario, el estudio presentado por Dris et al. (2017) reporta una concentración casi cuatro veces menor al presente estudio. La diferencia en resultados, de nuevo puede deberse a las características de cada zona de estudio, aunque también puede influir la temporada (seca o húmeda), tiempos de muestreo y técnicas analíticas utilizadas (Shruti et al., 2022).

3.4. Análisis de trayectoria inversa

Tras realizar las trayectorias de las masas de aire, se resaltaron las horas con los cambios más significativos para cada día. Para el 2 y 3 de agosto (Figura 6A) se observa una similitud en las trayectorias obtenidas, puesto que en ambos días las corrientes provinieron del noroeste con una ligera pendiente que fue disminuyendo durante las distintas horas del día. Respecto al 4 de agosto (Figura 6B) se observa un cambio significativo en comparación con los demás días monitoreados. Las masas de aire provinieron del noreste con cierta curvatura y durante algunas horas se observan trayectorias provenientes del Golfo de México. Durante el 5 y 6 de agosto (Figura 6C), las trayectorias nuevamente provinieron del noroeste; las primeras presentan cierta curvatura hacia el este, mientras que las segundas se formaron con una pendiente hacia el oeste, las cuales fueron disminuyendo conforme avanzaron las horas del día.

Presentado lo anterior, pueden resaltarse varios puntos. Durante la mayoría de los días, las corrientes provinieron del noroeste, pasando por zonas con cubierta media vegetal y zonas urbanizadas. Para tener una idea más acertada de las posibles fuentes de MPs es necesario conocer más acerca de la gestión de residuos sólidos y si existen rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto que puedan influir en la generación de dicho contaminante. No obstante, es resaltante el hecho de que durante el 2 y 3 de agosto (días 1 y 2 de muestreo) se dieron las concentraciones más bajas de MPs, aunque, por otro lado, el 5 y 6 de agosto (días 4 y 5 de muestreo) se dieron las concentraciones más altas. De este modo, es claro que existen otros factores que pudieran influir en la presencia de estas partículas, además de que se desconoce la distancia que pueden recorrer los MPs desde su punto de origen.

Respecto a las condiciones meteorológicas, se registraron temperaturas de 24 a 29 °C para los cuatro días mencionados, así como una velocidad de viento máxima de 20 y 9 km/h para el 3 y 6 de agosto, respectivamente. De acuerdo con Allen et al. (2019), la presencia de MPs puede estar influenciada por el movimiento del viento, por lo que dichas velocidades pudieron influir en los resultados. Finalmente, el 4 de agosto (día 3 de muestreo) la velocidad del viento máxima fue de 8 km/h y se dio una precipitación de 1 mm. Adicionalmente, dadas las trayectorias, pudo haber un arrastre de partículas provenientes del Golfo de México.

La problemática actual por residuos plásticos en océanos y mares no es un tema reciente. Ante eso, se han realizado diversas investigaciones acerca de la presencia de MPs en playas (Álvarez Zeferino et al., 2020). Además, Flores-Cortés y Armstrong-Altrin (2022) publicaron una investigación acerca de la presencia de MPs en sedimentos de playa en Tecolutla, Veracruz, identificando alrededor de 181 piezas, en las cuales predominaron las fibras (92%). Dicha investigación menciona que es posible encontrar altas cantidades de MPs en zonas costeras con alta influencia turística como lo es Tecolutla, siendo esta actividad una de las principales fuentes de generación. De este modo, una posible fuente para MPs atmosféricos pueden ser plásticos acumulados o desechados en zonas de playa a causa de dicha actividad turística. De hecho, Shruti et al. (2022) mencionan un caso similar en la Ciudad de México, encontrando como posible fuente, residuos plásticos amontonados a cielo abierto en la Merced.

4. Conclusiones

A partir del monitoreo de partículas se determinó la presencia de MPs en Gutiérrez Zamora, estimando una concentración promedio de 3.47 ± 1.97 piezas/m^3 y una concentración promedio de 102.11 ± 22.40 µg/m^3 para PST, indicando que no hay una relación directa entre ambas concentraciones, y el hecho de encontrar altas cantidades de PST no significa que habrá altas cantidades de MPs. Al caracterizar las muestras se determinó que las fibras predominan respecto a los fragmentos y películas, teniendo porcentajes de 72, 15 y 13%, respectivamente; el intervalo de tamaño de MPs fue de 20-2596 µm, encontrando que las partículas más pequeñas (20 µm) corresponden a fragmentos. Para analizar si existen partículas de menor tamaño es necesario complementar los

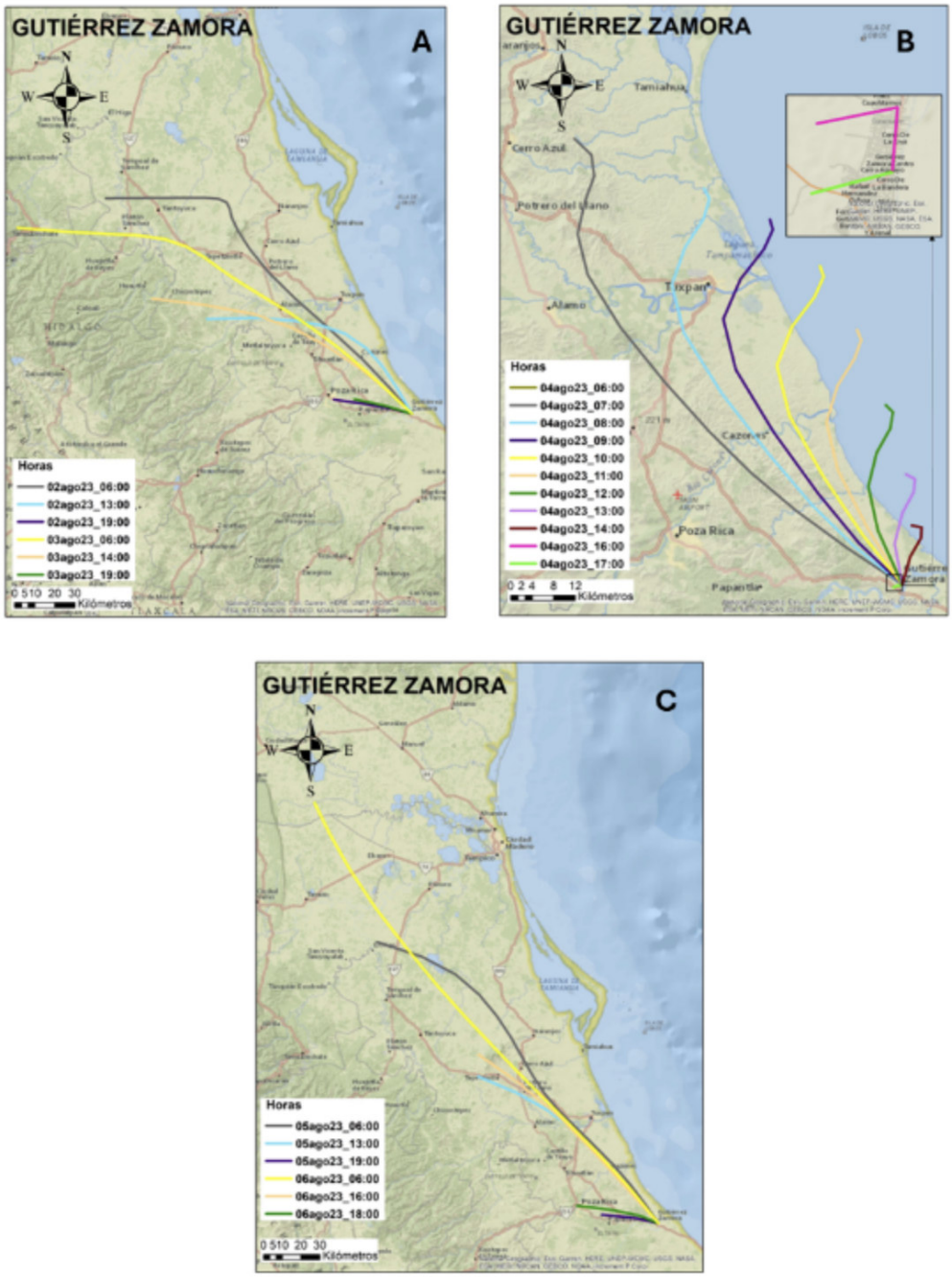


Figura 6: Trayectorias de aire. A: 2 y 3 de agosto; B: 4 de agosto; C: 5 y 6 de agosto

análisis con otras técnicas, puesto que, de haberlas, no es posible identificarlas bajo los límites de la visión humana. A partir del análisis de trayectoria inversa se encontró que la presencia de MPs puede verse influida por el arrastre de partículas provenientes de otras zonas como poblaciones del noroeste, zonas de playa y el Golfo de México, sin embargo, hace falta más información para determinar fuentes de generación más específicas. También, se recomienda realizar un segundo estudio durante la temporada húmeda para complementar el análisis respecto a las condiciones climatológicas como factores de influencia en la concentración de MPs atmosféricos. Finalmente, el hecho de encontrar MPs en sedimentos y ahora en el medio atmosférico de esta zona costera, deja en evidencia implicaciones acerca de la problemática de residuos plásticos que se ha generado.

Agradecimientos

Agradecemos a la Ing. Paola Luna Rivera y al Ing. Oscar Hernández Lagunes por su apoyo incondicional durante el muestreo realizado en Gutiérrez Zamora.

Referencias bibliográficas

[1] Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., Binet, S., & Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12(5), 339–344. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5

[2] Álvarez-Lopeztello, J., Robles, C., & del Castillo, R. F. (2021). Microplastic pollution in neotropical rainforest, savanna, pine plantations, and pasture soils in lowland areas of Oaxaca, Mexico: Preliminary results. *Ecological Indicators*, 121. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.107084

[3] Álvarez Zeferino, J. C., Ojeda Benítez, S., Cruz Salas, A. A., Martínez Salvador, C., & Vázquez Morillas, A. (2020). Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 155(January), 104633. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104633

[4] Baur, E., Osswald, T. A., & Rudolph, N. (2019). *Plastics handbook: the resource for plastics engineers*. https://doi.org/10.3139/9781569905609

[5] Castells, X. E., & Jurado, L. (2012). Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración. En *Reciclaje de residuos industriales*.

[6] Díaz, G. (2018). Evaluación del material particulado microplásticos y su relación con la calidad del aire en el interior de los hogares Comas 2018 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32304

[7] Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers including microplastics in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453–458. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013

[8] Flores-Cortés, M., & Armstrong-Altrin, J. S. (2022). Textural characteristics and abundance of microplastics in Tecolutla beach sediments, Gulf of Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), 1–15. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10447-4

[9] Gaston, E., Woo, M., Steele, C., Sukumaran, S., & Anderson, S. (2020). Microplastics Differ Between Indoor and Outdoor Air Masses: Insights from Multiple Microscopy Methodologies. *Applied Spectroscopy*, 74(9). https://doi.org/10.1177/0003702820920652

[10] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 - Gutiérrez Zamora, Veracruz de Ignacio de la Llave.

[11] Jenner, L. C., Kureshi, R. R., White, D., Chapman, E., Sadofsky, L. R., & Rotchell, J. M. (2022). Outdoor Microplastic Analysis Using Inlet Filters from an NOx Regulatory Air Quality Monitoring Device. *Atmosphere*, 13(12). https://doi.org/10.3390/atmos13122017

[12] Liao, Z., Ji, X., Ma, Y., Lv, B., Huang, W., Zhu, X., Fang, M., Wang, Q., Wang, X., Dahlgren, R., & Shang, X. (2021). Airborne microplastics in indoor and outdoor environments of a coastal city in Eastern China. *Journal of Hazardous Materials*, 417. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126007

[13] Oporto, V., Escóbar, I., Luján, M., & D'Abzac, P. (2021). Evaluación de la contaminación del aire por microplásticos suspendidos en la zona de La Maica (Cochabamba, Bolivia). *ACTA NOVA*, 10(2), 190–221. http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v10n2/1683-0789-ran-10-02-190.pdf

[14] Prata, J. C., Castro, J. L., da Costa, J. P., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T., & Cerqueira, M. (2020). The importance of contamination control in airborne fibers and microplastic sampling: Experiences from indoor and outdoor air sampling in Aveiro, Portugal. *Marine Pollution Bulletin*, 159. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111522

[15] Rolph, G., Stein, A., & Stunder, B. (2017). Real-time Environmental Applications and Display System: READY. *Environmental Modelling & Software*, 95, 210–228. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025

[16] Sarria-Villa, R., & Gallo-Corredor, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21–27. https://jci.uniautonoma.edu.co/2016/2016-3.pdf

[17] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2020). Panorama general de las tecnologías de el reciclaje de plásticos en México y en el mundo. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/608513/89_2020_Documento_Plastico.pdf

[18] Shruti, V. C., Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., & Elizalde Martínez, I. (2022). Occurrence and characteristics of atmospheric microplastics in Mexico City. *Science of the Total Environment*, 847. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.157601

[19] Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., & Ngan, F. (2015). NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), 2059–2077. https://doi.org/https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1

[20] Szewc, K., Graca, B., & Dołęga, A. (2021). Atmospheric deposition of microplastics in the coastal zone: Characteristics and relationship with meteorological factors. *Science of the Total Environment*, 761. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143272

[21] Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203. https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2020.103118

Presencia de residuos plásticos en sedimentos de una laguna costera en Salina Cruz, Oaxaca

Natalia Paulina Martínez Toledo[*,1], Arely Areanely Cruz Salas[2], Alethia Vázquez Morillas[1], Juan Carlos Álvarez Zeferino[3], Sara Ojeda Benítez[2]

[1] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, CDMX, México.

[2] Laboratorio de Residuos Sólidos, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Campus Mexicali, Calle Normal s/n Boulevard Benito Juárez. Col. Insurgentes Este, Mexicali 21280, B.C., México.

[3] Secretaría de la Defensa Nacional. Universidad del Ejército y Fuerza Aérea. Escuela Militar de Ingenieros, Av. Industrial Militar 261, Col. Lomas de San Isidro, C.P. 53960, Naucalpan de Juárez, Edo. Méx., México.

[*]Correo electrónico: martinez.toledo.natalia.paulin@gmail.com

Resumen

La contaminación plástica es un problema global que afecta a todos los ambientes marinos y está sujeta a las distintas actividades humanas. En este estudio se determinó la concentración de mesoplásticos (> 5 mm), microplásticos (≤ 5 mm) y sus características en un transecto de la laguna Ventosa ubicada en Salina Cruz, Oaxaca. Se seleccionó un transecto de 100 m de largo paralelo a la pleamar de la laguna y se recolectaron seis muestras aleatorias de sedimentos con ayuda de un muestreador cilíndrico de acero inoxidable, las cuales se almacenaron en doble bolsa de cierre hermético. Las muestras se transportaron al laboratorio donde se les aplicó una prueba de densidad con solución salina de NaCl (ρ = 1,16 g/mL) para posteriormente clasificar por tipo y color. Los resultados arrojaron concentraciones medias de 11.6 piezas/kg_{ss} para mesoplásticos y 23.7 piezas/kg_{ss} para microplásticos. Así mismo, la clasificación por tipo mostró que la mayor proporción correspondió a fragmentos mesoplásticos con 68% y microplásticos con 72%, presentando colores típicos como blanco, azul, amarillo y verde. El estudio de residuos plásticos en este tipo de lagunas es relevante debido a que estas pueden actuar como sumideros de residuos plásticos, los cuales, posteriormente, podrían llegar al mar ante la ocurrencia de eventos climatológicos de alta energía.

Palabras clave: *Fragmentos*, *mesoplásticos*, *microplásticos*, *playas*

1. Introducción

Se estima que cada año ingresan a los océanos 4.8–12.7 millones de residuos plásticos, debido a las condiciones de estos materiales, que facilitan su transporte a través de vientos, aguas residuales,

ríos o eliminación de desechos de forma inadecuada. En la actualidad, los residuos plásticos son omnipresentes en los diferentes ecosistemas (Schneider et al., 2018).

La degradación y fragmentación de desechos plásticos grandes produce la formación de partículas mayores a 5 mm denominadas mesoplásticos y partículas más pequeñas, menores a 5 mm, denominadas microplásticos (MP). En la actualidad, se ha atribuido el impacto ecológico principalmente a estos fragmentos plásticos; adicionalmente, su composición permite el transporte de sustancias mediante la adición o sorción (Esiukova et al., 2024; Goswami et al., 2023). Debido a su tamaño, estos fragmentos se encuentran disponibles para distintas especies, siendo propensos a la ingestión. Así, los contaminantes absorbidos por las partículas plásticas se liberan en los organismos, produciendo bioacumulación y/o biomagnificación en la cadena trófica (Alfonso et al., 2024; Sørensen et al., 2020). También son de gran importancia los mesoplásticos y microplásticos formados a partir de la combustión incompleta de residuos plásticos, los cuales liberan una variedad de sustancias químicas como el bisfenol, ácido clorhídrico y dióxido de azufre, generando una mezcla compleja incapaz de ser reciclada (Luo et al., 2023).

En la región de Oaxaca, Moctezuma y colaboradores (2022) determinaron la presencia de microplásticos en la marisma en playa Zipolite, con concentraciones de 20.1 piezas/kg_{ss}, obteniendo mayor porcentaje en microplásticos con morfologías como espumados, fragmentos y pellets. Así mismo, los colores predominantes fueron blanco, negro y rojo (Moctezuma et al., 2022). En otros países, se han estudiado la presencia de microplásticos, como en la marisma de Andong, Bahía de Hangzhou, China, donde se evidenció un total de 701 piezas de microplásticos en dos puntos de la marisma, predominando las fibras y fragmentos, y el color transparente (Li et al., 2020). Weitzel et al. (2021) estudiaron la presencia de microplásticos en tres marismas de la costa de Mississippi, Estados Unidos, cercanas a los ríos Pascagoula, Jourdan y Pearl, obteniendo fibras (98%) y fragmentos (2%) (Weitzel et al., 2021). En la laguna de Venecia analizada por Vianello et al. (2013), se determinó en 10 puntos la presencia de microplásticos (0.03–0.5 mm) y polímeros como el polipropileno y polietileno (Vianello et al., 2013).

La importancia del estudio de los mesoplásticos y microplásticos radica en que actúan como sumideros que, en eventos de alta energía, son dispersados, aumentando las concentraciones en ambientes aledaños, como playas, esteros o mares (Quesadas-Rojas et al., 2021). El presente estudio tuvo como objetivo determinar la concentración de mesoplásticos y microplásticos en la laguna Ventosa, en Salina Cruz, Oaxaca, México.

2. Metodología

La siguiente sección describe las etapas de la metodología empleada en el análisis de la presencia de contaminación plástica en la laguna en playa Ventosa, en la costa de Oaxaca, México. La zona de estudio fue Salina Cruz, Oaxaca, ubicada en el Golfo de Tehuantepec (Figura 1). Se encuentra situada geográficamente en la longitud 95° 9’ 26.55” O y latitud 16° 10’ 52.34” N.



Figura 1: Ubicación geográfica de Salina Cruz, Oaxaca, México

La zona de muestreo se localiza en medio de la playa Ventosa, con diámetro de aproximadamente 315 m, ubicada a 2.5 km de distancia de la descarga de aguas residuales de la Refinería Ingeniero Antonio Dovalí y a 1.42 km del tiradero a cielo abierto (Figura 2). La zona del tiradero presenta domicilios en los alrededores; los residentes son trabajadores recolectores de residuos valorizables, encargados de reducir el volumen del tiradero mediante la quema de dichos residuos. Los habitantes de esa zona cobran una cuota de entrada al tiradero para poder depositar los residuos, lo que permite que cualquier habitante de la ciudad o comunidades cercanas deposite residuos sin las medidas de control requeridas.

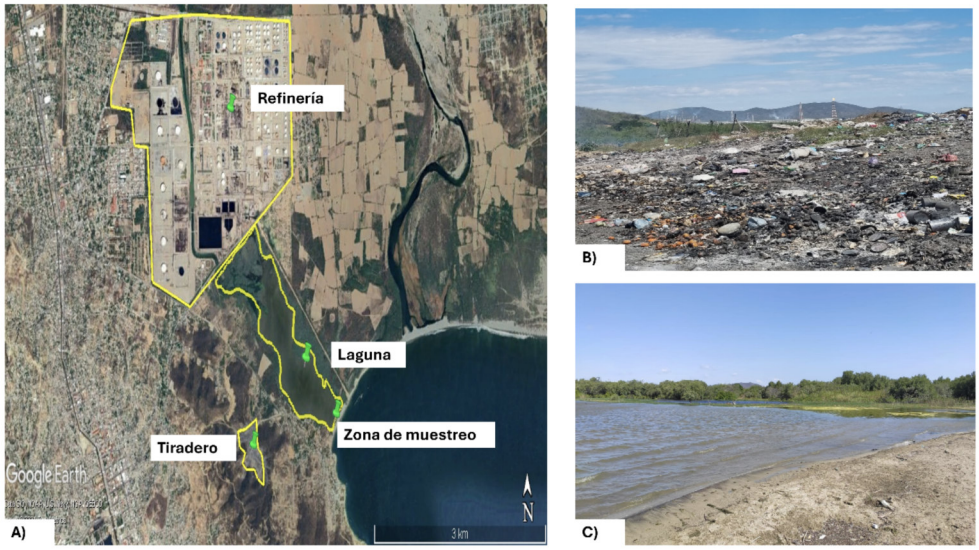


Figura 2: Zona de muestreo. A) Ubicación geográfica, B) Tiradero municipal y C) Laguna

La playa adyacente a la zona de muestreo presenta actividades recreativas y de pesca. A orillas de la laguna se encuentran instalados restaurantes de mariscos como menú principal. En temporada seca, se presenta una distancia de 50 m entre la laguna y el mar, y en eventos de alta energía, al subir la marea, esta alimenta la laguna. Al no contar con un servicio de recolección de residuos en la zona, se observan montículos de residuos quemados en los alrededores de la laguna; se tiene la hipótesis de que estos residuos provienen de los restaurantes aledaños.

2.1. Muestreo de mesoplásticos y microplásticos

La metodología empleada para la obtención, cuantificación y clasificación de los residuos plásticos se adaptó de lo propuesto por Vázquez et al. (2020). Inicialmente, se delimitó, con una cuerda y estacas, un transecto de 100 m paralelo a la línea de acumulación de residuos, donde se seleccionaron 6 puntos de manera aleatoria. Las muestras se obtuvieron utilizando un cilindro de acero inoxidable, de 20 cm de diámetro y 5 cm de profundidad, mediante su hundimiento en la arena hasta que el borde superior del cilindro alcanzó la superficie de la arena. Cada muestra se extrajo con ayuda de una lámina metálica. Todas las muestras obtenidas se guardaron en bolsas herméticas para su transporte al laboratorio.

2.2. Cuantificación y clasificación

Las muestras se transportaron al Laboratorio de Tecnologías Sustentables en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Inicialmente se realizó una homogenización de la muestra y posteriormente se obtuvo una muestra representativa de 0.09 kg mediante el método de cuarteo, indicado en la Norma NMX-AA-015-1985 (SCFI, 1985). Las muestras obtenidas se secaron en una estufa a 60 °C durante 24 horas para la determinación de la masa seca de las muestras. Consecutivamente, se realizaron pruebas de densidad mediante una solución saturada de NaCl (ρ = 1,16 g/mL). Las muestras se colocaron en matraces con la solución de NaCl y se agitaron a una velocidad constante durante un lapso de 5 minutos, dejándolas reposar posteriormente. Los mesoplásticos y microplásticos flotantes se extrajeron con unas pinzas metálicas, se enjuagaron con agua desionizada y se secaron con papel absorbente. Posteriormente, las partículas se contabilizaron para obtener las concentraciones en unidades de piezas por kg de sólido seco, y finalmente se clasificaron por color y tipo.

3. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación de mesoplásticos y microplásticos presentes en la laguna aledaña a la playa Ventosa en Salina Cruz, Oaxaca.

3.1. Mesoplásticos y Microplásticos

Se cuantificaron un total de 114 mesoplásticos, correspondientes a una concentración media de 11.6 piezas/kg_{ss} y una desviación estándar de 10.4 piezas/kg_{ss}. Los tipos de mesoplásticos más comunes fueron fragmentos (68%), fibras (19%), espumados (7%), quemados (4%) y películas (2%) (Figura **??**). En cuanto a los colores, se obtuvieron blanco (46%), azul (17%), amarillo (11%), verde (9%), rojo (6%) y, en menor concentración, transparente, gris y negro (3% cada uno) (Figura **??**).

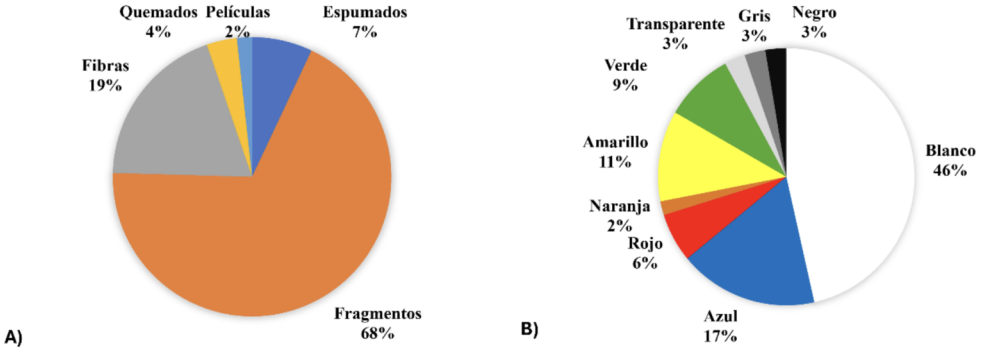


Figura 3: Clasificación de mesoplásticos por número de piezas. A) Tipo de mesoplásticos y B) Color de mesoplásticos

Para los microplásticos, se cuantificó un total de 232 piezas, con una concentración media de 23.7 piezas/kg_{ss} y una desviación estándar de 16 piezas/kg_{ss}. El tipo de microplásticos con mayor porcentaje fueron los fragmentos (72%), seguido de espumados (15%), fibras (7%), pellets (3%), películas (2%) y quemados (1%) (Figura **??**). En cuanto a los colores, los más comunes fueron el blanco (57%) y el azul (19%), con menor proporción de gris y negro (1% y 2%, respectivamente) (Figura **??**).

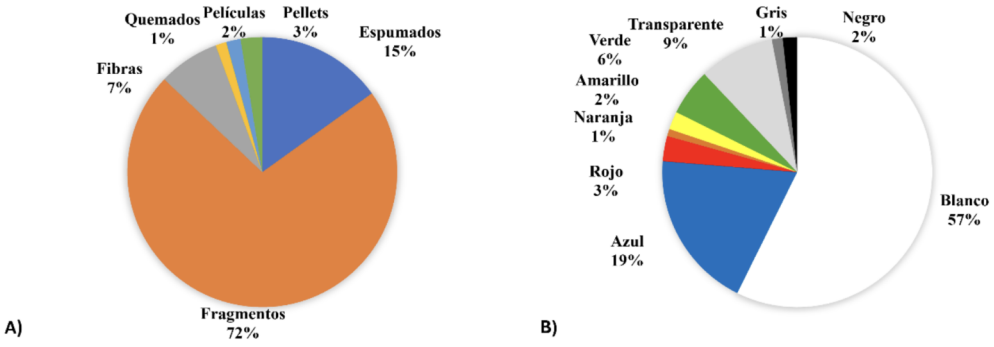


Figura 4: Clasificación de microplásticos por número de piezas. A) Tipo de microplásticos y B) Color de microplásticos

Se determinó que en ambos casos, la categoría con mayor proporción fue la de fragmentos, y en menor proporción se encontró la categoría de películas. En cuanto al color, el blanco y azul presentaron los mayores porcentajes.

Por otro lado, se realizó un análisis de correlación entre las concentraciones de mesoplásticos y microplásticos (Figura 5). Se observó una correlación del 93.92%, donde a mayor concentración de mesoplásticos, aumenta a su vez la concentración de microplásticos.

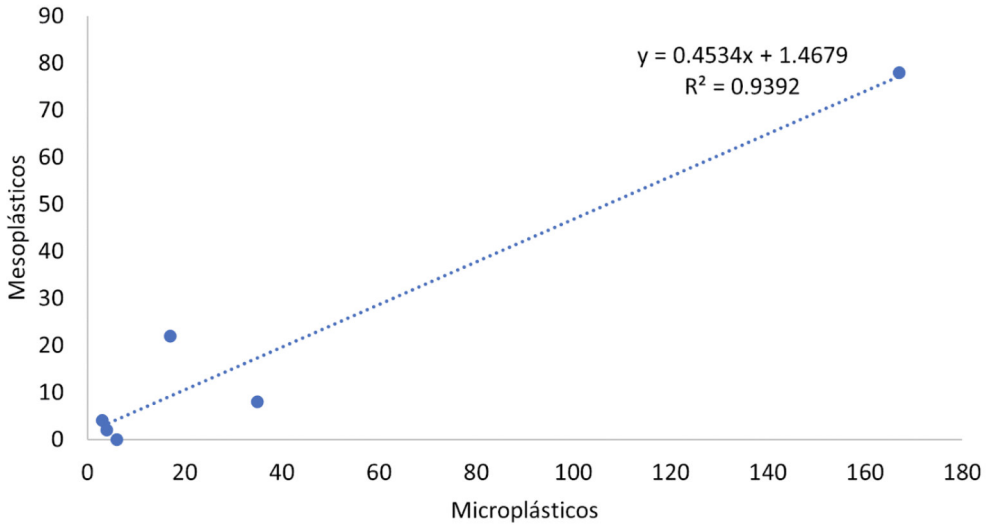


Figura 5: Gráfica de correlación de mesoplásticos y microplásticos

En la Tabla 1 se presentan diferentes estudios relacionados con la presencia de microplásticos en sedimentos de distintos cuerpos de agua.

Tabla 1: Estudios sobre la presencia de microplásticos

Ubicación	Concentración (piezas/kg_{ss})	Referencia
Playa Zipolite	20.1	(Moctezuma et al., 2022)
Bahía de Hangzhou	4,000–21,000	(Li et al., 2020)
Bahía de Hangzhou	2,000 – 24,000	(Li et al., 2020)
Río Pearl, Mississippi	28,000	(Weitzel et al., 2021)
Río Jourdan, Mississippi	5,500	(Weitzel et al., 2021)
Río Pascagoula, Mississippi	4,250	(Weitzel et al., 2021)
Lago de Venecia	2,175–672	(Vianello et al., 2013)

Moctezuma et al. (2022) estudiaron la presencia de microplásticos en la marisma formada en la playa Zipolite, obteniendo una concentración media de 20.1 piezas/kg_{ss} y una desviación estándar de 6.1 piezas/kg_{ss}. Predominaron los microplásticos tipo espumados (93%), seguidos de fragmentos (4%), con un predominio del color blanco (94%). Los microplásticos presentes se atribuyen a

la constante alimentación por un riachuelo y escorrentías pluviales que arrastran sedimentos y residuos.

En la marisma de Andong, Bahía de Hangzhou, China, se determinaron concentraciones de 4,000–21,000 piezas/kg_{ss} para un punto de muestreo y de 2,000–24,000 piezas/kg_{ss} para otro, con predominancia de fibras (63%), fragmentos (16%), pellets (15%) y películas (6%). El color más común fue el transparente (84%), atribuido a la alta densidad de población en zonas costeras y actividades como la pesca.

En las marismas cercanas a los ríos Pearl, Jourdan y Pascagoula en Mississippi, se evidenciaron concentraciones de 28,000, 5,500 y 4,250 piezas/kg_{ss}, respectivamente. La presencia de microplásticos se atribuye a la proximidad de áreas urbanas y agrícolas, así como a áreas federales utilizadas para pruebas. En el lago de Venecia, se reportó una concentración de entre 2,175 y 672 piezas/kg_{ss}, atribuida a escorrentías de agua dulce, vertidos industriales y fuentes urbanas.

Se observa que las concentraciones obtenidas en la laguna de playa Ventosa son mayores que en la playa Zipolite, pero menores que en la Bahía de Hangzhou, las tres marismas de Mississippi y el lago de Venecia. Esta diferencia puede deberse a factores cercanos a la zona de muestreo, como actividades antropogénicas, la acumulación y quema de residuos en las orillas de la laguna y la proximidad del tiradero a cielo abierto. En eventos de alta energía, se observa la fuga de residuos y su acumulación en la zona costera y en la vegetación de áreas elevadas.

4. Conclusiones

La presente investigación es el inicio de la evaluación de mesoplásticos y microplásticos en la laguna Ventosa de Salina Cruz, Oaxaca, evidenciando concentraciones promedio de 11.6 y 23.7 piezas/kg_{ss} para mesoplásticos y microplásticos, respectivamente, y un total de 346 piezas. Los fragmentos plásticos se encuentran en un porcentaje mayor al 67% para ambos casos, evidenciando una relación proporcional, considerando la fragmentación de los mesoplásticos y el aumento de microplásticos.

La presencia de residuos plásticos se debe a las distintas actividades antropogénicas realizadas en los alrededores. De igual manera, se considera un factor de impacto la cercanía del basurero debido a que se encuentra a cielo abierto y presenta fugas de residuos. Es indispensable el análisis del agua de la laguna en las diversas temporadas con la finalidad de identificar los diferentes factores que pudieran alterar los resultados; asimismo, es fundamental concientizar a la población adyacente para evitar un aumento de concentraciones por partículas plásticas en las orillas de la laguna.

Referencias bibliográficas

[1] Alfonso, M. B., Nakano, H., Jandang, S., Tanaka, M., Viyakarn, V., Chavanich, S., & Isobe, A. (2024). Small microplastic ingestion by the calanoid Centropages furcatus in the Gulf of

Thailand. *Science of the Total Environment*, 930. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172837

[2] Esiukova, E., Lobchuk, O., Fetisov, S., Bocherikova, I., Kantakov, G., & Chubarenko, I. (2024). Baltic plastic soup recipe: Presence of paraffin increases micro- and mesoplastic contamination. *Regional Studies in Marine Science*, 74, 103554. https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2024.103554

[3] Goswami, P., Ohura, T., Subasinghe, S., Wickrama-Arachchige, A. U. K., Takeuchi, S., Imaki, M., Niizuma, Y., Watanabe, M., & Guruge, K. S. (2023). Voyaging of halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons, an emerging group of pollutants, on micro-mesoplastics in the marine environment. *Journal of Hazardous Materials*, 460, 132502. https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2023.132502

[4] Li, J., Huang, W., Xu, Y., Jin, A., Zhang, D., & Zhang, C. (2020). Microplastics in sediment cores as indicators of temporal trends in microplastic pollution in Andong salt marsh, Hangzhou Bay, China. *Regional Studies in Marine Science*, 35. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101149

[5] Luo, Y., Naidu, R., & Fang, C. (2023). Accelerated transformation of plastic furniture into microplastics and nanoplastics by fire. *Environmental Pollution*, 317, 1–24. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120737

[6] Moctezuma, P. K. Y., Cruz, S. A. A., Alvarez, Z. J. C., Vázquez, M. A., & Vichido, M. S. J. (2022). Análisis de la presencia de microplásticos en una playa y marisma en Zipolite, Oaxaca. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C. (SOMERS)*, 260–266.

[7] Quesadas-Rojas, M., Enriquez, C., & Valle-Levinson, A. (2021). Natural and anthropogenic effects on microplastic distribution in a hypersaline lagoon. *Science of the Total Environment*, 776, 145803. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145803

[8] SCFI. (1985). Norma Mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo. *Secretaría de Comercio y Fomento Industrial*, Diario Oficial de La Federación, 1–8.

[9] Schneider, F., Parsons, S., Clift, S., Stolte, A., & McManus, M. C. (2018). Collected marine litter — A growing waste challenge. *Marine Pollution Bulletin*, 128, 162–174. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.011

[10] Sørensen, L., Rogers, E., Altin, D., Salaberria, I., & Booth, A. M. (2020). Sorption of PAHs to microplastic and their bioavailability and toxicity to marine copepods under co-exposure conditions. *Environmental Pollution*, 258. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113844

[11] Vázquez, M. A., Cruz, S. A. A., Alvarez, Z. J. C., Rosado, P. V. L., Beltrán, V. M., Mendoza, S. M., Espinosa, V. R. M., & Velasco, P. M. (2020). Monitoreo de microplásticos en playas.

[12] Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., & Da Ros, L. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54–61. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.022

[13] Weitzel, S. L., Feura, J. M., Rush, S. A., Iglay, R. B., & Woodrey, M. S. (2021). Availability and assessment of microplastic ingestion by marsh birds in Mississippi Gulf Coast tidal marshes. *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112187. https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112187

Presencia de cobre como contaminante en microplásticos sometidos a condiciones marinas simuladas

Yaret Gabriela Torres-Hernández[*,1], Juan Carlos Álvarez[1], Alejandro Altamirano Torres[1], Heberto Balmori Ramírez[2], Alethia Vázquez Morillas[1]

[1] Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Materiales. Área de Ciencia de Materiales. Av. San Pablo No. 420, C.P. 02128 Alcaldia Azcapotzalco, CDMX, México.

[2] Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE), Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Adolfo López Mateos (UPALM), Av. Instituto Politécnico Nacional S/N, C.P. 07738, CDMX, México.

[*]Correo electrónico: ygth@azc.uam.mx

Resumen

Los metales pesados y su interacción con otros contaminantes presentes como los microplásticos es de interés relevante por la abundancia de ambos en los ecosistemas acuáticos, por ello en la presente investigación se reporta la adsorción de cobre en cuatro tipos de microplásticos provenientes de productos comerciales (polietileno de baja densidad-PEBD, policloruro de vinilo-PVC, polipropileno- PP y poliestireno-PS), tras someterse a un tratamiento simulando condiciones marinas con dos con concentraciones de cobre (10 y 20 mg/L) por siete días. Una vez transcurrido este tiempo, se extrajeron los microplásticos y se analizaron mediante difracción de Rayos X para determinar de forma cualitativa el cobre adsorbido. Los patrones de difracción mostraron ligeros cambios en la estructura de los materiales, siendo el PVC el que mostró mayor alteración, mientras que PS no mostró ningún cambio, dichos resultados se atribuyen a la fuerte interacción electrostática que existe entre el ión metálico y el grupo cloruro. Por otra parte, a la concentración de 10 mg/L se evidenció una mayor adsorción que a 20 mg/L lo cual se atribuye a que se alcanza el equilibrio en el proceso de adsorción. Los microplásticos que actualmente se encuentran presentes ya en seres vivos de consumo humano e incluso en la sangre podrían constituir otra fuente de metales pesados y comprometer la salud humana.

Palabras clave: *adsorción*, *difracción de rayos X*, *PVC*, *metales pesados*, *microplásticos*

1. Introducción

El aumento de la población conlleva al crecimiento de las zonas urbanas y la actividad antrópica va modificando su entorno, sin embargo, no todos los cambios son favorables. La actividad industrial tal como la minería, la siderurgia, aguas residuales y lixiviados de vertederos son fuentes

importantes de contaminación, especialmente de metales pesados, tales como cadmio, cobre, mercurio, arsénico, plomo y cromo, que dada su abundancia y toxicidad han cobrado relevancia sobre todo en años recientes (Mitra et al. 2022). El cobre es considerado un elemento esencial, ya que se requiere en pequeñas cantidades (5-20 μg/g) en humanos y otros mamíferos (Bost et al., 2016), es indispensable para la formación de hemoglobina (vertebrados) y hemocianina (crustáceos), ambas sustancias transportadoras de oxígeno y esencial para el correcto funcionamiento biológico de algunas microalgas, sin embargo, en concentraciones altas, puede ser tóxico para organismos acuáticos y el ecosistema. Se han reportado concentraciones de cobre en la columna de agua de lagunas costeras del Golfo de México son más elevadas que las permitidas (1.0 mg/L), (Botello et al, 2005).

Autores han reportado que los peces y crustáceos son de 10 a 100 veces más sensibles a los efectos tóxicos del cobre y algunas especies de algas hasta 1000 veces más (Wright y Welbourn, 2002). Algunas fuentes de cobre como contaminante son los calentadores de agua, equipos para producir bebidas alcohólicas, en la industria alimenticia se emplea para dar un color ultra verde a las verduras congeladas y conservas, se utiliza en la elaboración de pesticidas, insecticidas, y utensilios de cocina fabricados de este metal. Dentro de los daños a la salud para los humanos, se han identificado trastornos mentales, anemia, artritis reumatoide, hipertensión, fibrosis quística, problemas cardiacos, entre otros (Franco et al., 2016).

El ión cúprico Cu+2 es la forma más biodisponible y, por tanto la más tóxica, que es capaz de llegar a los diferentes ambientes acuáticos, debido a la facilidad con que al no degradarse, está presente en forma de cationes en el agua, pudiendo adherirse a superficies como los microplásticos por fuerzas electrostáticas. Los microplásticos son aquellos plásticos cuyo tamaño es igual o menor a 5 mm y se clasifican en primarios y secundarios de acuerdo con su origen. Los primarios son aquellos microplásticos que se fabrican a propósito con dicho tamaño para su uso ya sea como materia prima en la fabricación de otros productos (pellets), o bien para su inclusión en productos de cuidado personal como los exfoliantes. Los secundarios son aquellos generados como resultado de la degradación ambiental de artículos plásticos de mayor tamaño que son desechados en ambientes como playas, ríos y otros cuerpos acuáticos.

La interacción de metales pesados con otros contaminantes marinos, tales como los microplásticos ha generado interés, ya que estos pueden fácilmente adsorber contaminantes como los metales pesados, debido a cualidades como tamaño, y amplia dispersión en los medios marinos. El contacto de los seres vivos con los microplásticos, permite que éstos puedan ser ingeridos y por medio de las branquias bioacumular los metales pesados u otros contaminantes. Diversos estudios (Franchini y Mutti, 1988), se han enfocado a la evaluación de los efectos adversos en organismos vivos por la presencia de dichos contaminantes, así como las concentraciones en que se presentan.

Por las razones enunciadas, la presente investigación tiene como fin analizar la interacción de microplásticos y el metal pesado cobre (Cu) en diferentes concentraciones (10 y 20 mg/L), si bien estás concentraciones son mayores a las que se han detectado en los ecosistemas marinos, permiten su detección mediante la técnica de Difracción de Rayos X. Se consideraron para ello, cuatro tipos

de plástico abundantes como residuos en playas y zonas costeras (PP, PS, PEBD y PVC), simulando las condiciones propias de un ambiente marino (agua de mar sintética y aireación constante), con la finalidad de determinar si el cobre efectivamente es adsorbido por los microplásticos.

2. Metodología

2.1. Selección de microplásticos

Los diferentes plásticos provenientes de productos comerciales seleccionados para este estudio fueron: polietileno de baja densidad (PEBD), de bolsas para basura (BIOFLEX®), polipropileno (PP) de popotes (Neón Biodegradables REYMA®), poliestireno (PS) de envases de YAKULT® y policloruro de vinilo (PVC) de inflable BESTWAY®, estos plásticos fueron seleccionados por su abundancia de acuerdo con Lindeque et al. (2020), (Figura 1):



Figura 1: Muestras de los diferentes plásticos

A partir de dichos productos, se cortaron 60 g de cada plástico con un tamaño de 5 mm o menor para ser considerados microplásticos, posteriormente fueron tamizados con número de malla 4, correspondiente a 4.75 mm.

2.2. Microplásticos en condiciones marinas simuladas.

Se realizó el montaje del experimento de tal forma que simulara las condiciones del mar (agua de mar sintética y aireación). Los microplásticos se pusieron en contacto, por separado, con una solución simulada de agua de mar sintética (Cifuentes et al., 1997). Las pruebas se llevaron a cabo en reactores de 500 mL que contienen 150 mL de agua de mar sintética contaminada con cobre (Figura 2a, el cual proviene de la sal de sulfato de cobre ($CuSO_4$), y fue preparada en dos niveles de concentración (10 y 20 mg/L), se mantuvieron en contacto con aireación constante por siete días para simular las condiciones presentes en el mar, como se ilustra en la Figura 2b.

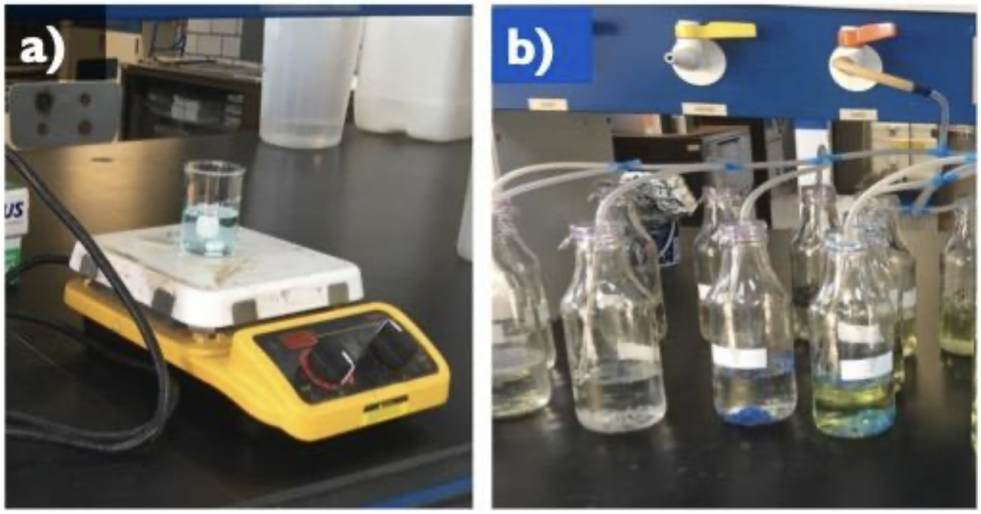


Figura 2: a) preparación de solución de sulfato de cobre, b) sistema de aireación.

Después de siete días se separaron los plásticos y se evaluó la adsorción del contaminante en cada uno de los diferentes microplásticos de forma cualitativa, mediante difracción de rayos X (DRX).

2.3. Difracción de rayos X

La cristalinidad de los distintos materiales fue analizada empleando un difractómetro semiautomático Focus, D-8, Bruker (Billerica, MA, USA), mostrado en la Figura 3a, usando Cu-kα radiación (λ = 0,15147 nm). Los parámetros de análisis fueron: 2θ de 5 a 80° en pasos de 0.05°. No se requirió ninguna preparación de la muestra, los microplásticos analizados se muestran en la Figura 3b.

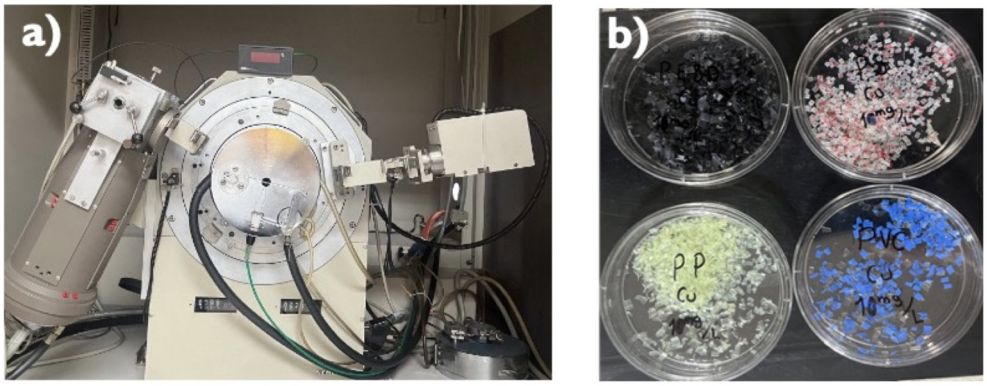


Figura 3: a) Difractómetro Focus D-8 Bruker, b) microplásticos tras siete días de exposición.

3. Resultados y discusión

3.1. Adsorción de cobre en los microplásticos

Con el fin de analizar los cambios en la cristalinidad de los polímeros estudiados, se realizó Difracción de rayos X en los microplásticos tras ser sometidos a condiciones marinas simuladas con la sal de cobre como contaminante. A continuación se presentan los patrones de difracción de cada microplástico, en las dos diferentes concentraciones 10 mg/L y 20 mg/L, en la Figura 4 para PEBD, en la Figura 5 para PVC, en la Figura 6 para PS y en la Figura 7 para PP.

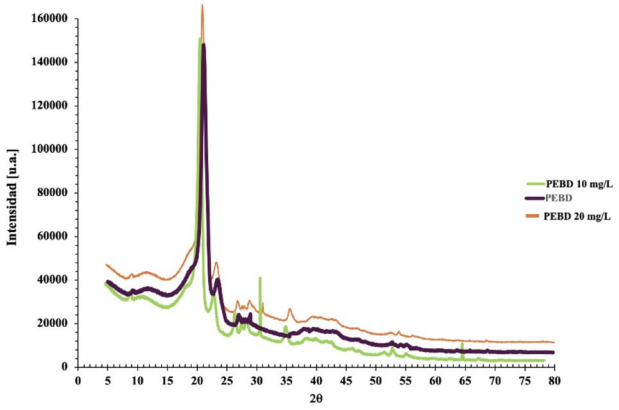


Figura 4: Patrones de difracción de los microplásticos de PEBD tras ser sometidos a contaminación con cobre en condiciones marinas simuladas durante siete días.

La posición, la forma y la intensidad de los nuevos picos revelan la interacción del cobre con los microplásticos. Se ha reportado (Moura et al., 2023) que el PP y PEBD muestran picos agudos debido a la presencia de zonas cristalinas en los materiales, en tanto para PS y PVC, la ausencia de picos agudos de altas intensidades revela la estructura amorfa de los mismos, cuando no han estado en contacto con el medio contaminado con cobre, los picos característicos se presentan en la Tabla 1 para cada tipo de microplástico. La cristalinidad de los microplásticos refleja de manera

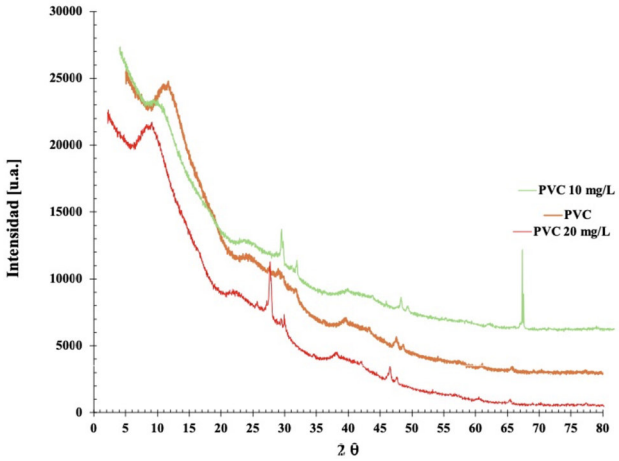


Figura 5: Patrones de difracción de los microplásticos de PVC tras ser sometidos a contaminación con cobre en condiciones marinas simuladas durante siete días.

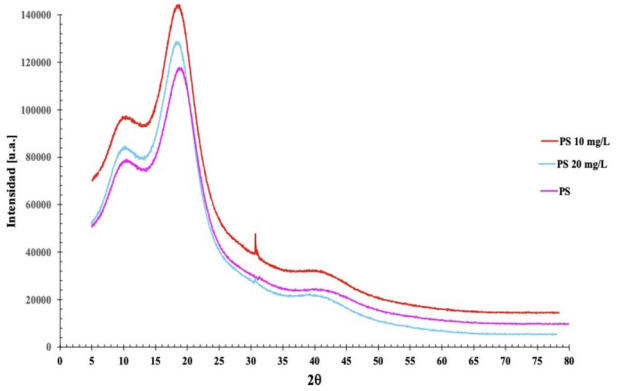


Figura 6: Patrones de difracción de los microplásticos de PS tras ser sometidos a contaminación con cobre en condiciones marinas simuladas durante siete días.

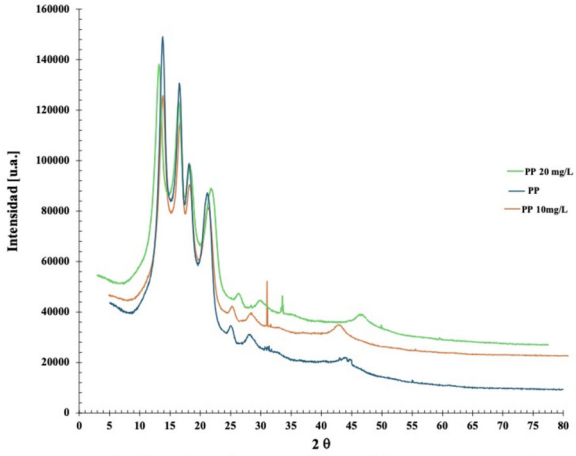


Figura 7: Patrones de difracción de los microplásticos del PP tras ser sometidos a contaminación con cobre en condiciones marinas simuladas durante siete días.

Tabla 1: Picos de difracción característicos para los distintos microplásticos.

Polímero	**Picos de Difracción (2θ)**	**Referencia**
PEBD	22.5 y 24.2	He et al. (2013)
PP	13.99, 16.81, 18.46, 21.03	Ariyoshi et al. (2021)
PS	9.5 y 19.4	Chen et al. (2022)
PVC	18 y 25	Abdelghany et al. (2018)

indirecta si existió adsorción de cobre, debido a que se presentan picos de difracción adicionales a los característicos, como es posible observar en los difractogramas correspondientes.

La adsorción de metales difiere para cada tipo de microplástico debido a propiedades físicas, químicas, porosidad, poloridad, entre otras (Goh et al., 2022). Analizando los patrones de difracción es posible observar que en general los microplásticos adsorbieron más el metal para la concentración de 10 mg/L que a 20 mg/L, lo cual se atribuye a que en la estructura interna del material en un momento dado se genera resistencia a la difusión, alcanzando el equilibrio en el proceso de adsorción, impidiendo que más iones se adhieran a la superficie.

El comportamiento de adsorción de los microplásticos fue PVC>PEBD>PP>PS, lo cual concuerda con la investigación de Zhu et al. (2023) en donde los autores reportan la capacidad de adsorción de diferentes microplásticos en distintos medios de adsorción tales como agua de mar y aguas residuales. El fenómeno de adsorción se atribuye a distintos factores, tales como interacciones electrostáticas entre los grupos funcionales que se encuentran en la superficie de los microplásticos. Así mismo los iones provenientes de la solución salina afectan la capacidad de adsorción, debido a que el pH del agua de mar es mayormente básico (oscila entre 7.5 y 8.4), aumenta la adsorción de cobre ya que a pH superiores a 4 la electronegatividad de los microplásticos aumenta, lo cual favorece una interacción electrostática importante para la adsorción de iones metálicos, de acuerdo con (He et al., 2012). El PVC en este estudio fue el que presentó mayores cambios estructurales, lo cual se atribuye a interacciones entre el ión metálico y los grupos cloruro, de acuerdo con Zou et al. (2020), además de reportar comportamientos similares, con otros iones metálicos bivalentes, tales como Cd+2 y Pb+2, en donde se concluye que características físicas de los microplásticos, tales como tipo de superficie, porosidad y la polaridad de los mismos, tienen gran influencia en la adsorción de dichos iones en la superficie de los microplásticos.

4. Conclusiones

El cobre fue adsorbido por los microplásticos, a la concentración de 10 mg/L se presentó la mayor adsorción. La capacidad de adsorción depende de la naturaleza del microplástico, el orden de adsorción para los diferentes microplásticos fue PVC>PEBD>PP>PS, en este caso fue casi nula para el PS y el PVC presentó los cambios más significativos en su patrón de difracción, adjudicándose una mayor adsorción del cobre, por la presencia del grupo cloruro en su estructura química, fac-

tores como la porosidad, polaridad, y pH son determinantes para la adsorción de distintos iones, como en este caso para el Cu+2.

La técnica de Difracción de rayos X, permitió visualizar la presencia del cobre en la superficie de los microplásticos de una forma cualitativa, sin embargo, es un tanto limitada para su uso sobre todo si se trabaja con concentraciones menores a 10 mg/L. Y representa una alternativa a técnicas como Espectrofotometría de absorción atómica que se emplea comúnmente en este tipo de estudios. Sería importante emplear otra técnica para determinar en forma cuantitativa la cantidad de cobre adsorbido.

Esta investigación es importante ya que los microplásticos que actualmente se encuentran presentes en seres vivos de consumo humano, como ostiones, camarones y otros bivalvos. Incluso en la sangre humana, representan otra fuente de metales pesados en general y otros contaminantes, que pueden comprometer la salud humana.

Referencias bibliográficas

[1] Abdelghany, A. M., Meikhail, M. S., & Hamdy, R. (2018). Enrichment of Poly Vinyl Chloride (PVC) biological uses through sodium chloride filler density functional theory (DFT) supported experimental study. *Journal of Advances in Physics*, 14(3), 5682–5692. https://doi.org/10.24297/jap.v14i3.7744

[2] Ahmad, N., Kausar, A., & Muhammad, B. (2015). Structure and properties of 4-aminobenzoic acid-modified polyvinyl chloride and functionalized graphite-based membranes. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 24(2), 75–87. https://doi.org/10.1080/1536383x.2015.1118620

[3] Almayyahi, B. (2023). *Heavy Metals - Recent advances: Recent Advances*. BoD – Books on Demand.

[4] Alnaimi, S., Elouadi, B., & Kamal, I. (2015). Structural, thermal and morphology characteristics of low density polyethylene produced by QAPCO. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/281818492_Structural_Thermal_and_Morphology_Characteristics_of_Low_Density_Polyethylene_Produced_by_QAPCO

[5] Ariyoshi, S., Hashimoto, S., Ohnishi, S., Negishi, S., Mikami, H., Hayashi, K., Tanaka, S., & Hiroshiba, N. (2021). Broadband terahertz spectroscopy of cellulose nanofiber-reinforced polypropylenes. *Materials Science and Engineering: B Solid-State Materials for Advanced Technology*, 265, 115000. https://doi.org/10.1016/j.mseb.2020.115000

[6] Bost, M., Houdart, S., Oberli, M., Kalonji, E., Huneau, J., & Margaritis, I. (2016). Dietary copper and human health: Current evidence and unresolved issues. *Journal Of Trace Elements In Medicine And Biology*, 35, 107–115. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.02.006

[7] Botello, A. V. (2005). *Golfo de México: Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*. Univ. J. Autónoma de Tabasco.

[8] Bradney, L., Wijesekara, H., Palansooriya, K. N., Obadamudalige, N., Bolan, N. S., Ok, Y. S., Rinklebe, J., Kim, K., & Kirkham, M. (2019). Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. *Environment International*, 131, 104937. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104937

[9] Chen, C., Wei, F., Ye, L., Wang, Y., Long, L., Xu, C., Xiao, Y., Wu, J., Xu, M., He, J., & Yang, G. (2022). Adsorption of Cu^2+ by UV aged polystyrene in aqueous solution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 232, 113292. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113292

[10] Franchini, I., & Mutti, A. (1988). Selected toxicological aspects of chromium(VI) compounds. *Science of the Total Environment*, 71(3), 379–387. https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90210-0

[11] Franco, L. F. L., Muñoz, P. T. L., & Garcia, F. G. M. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153

[12] Goh, P. B., Pradit, S., Towatana, P., Khokkiatiwong, S., & Ong, M. C. (2022). Laboratory experiment on copper and lead adsorption ability of microplastics. *Sains Malaysiana*, 51(4), 993–1004. https://doi.org/10.17576/jsm-2022-5104-04

[13] He, X., Zheng, S., Huang, G., & Rong, Y. (2013). Solution grafting of maleic anhydride on low-density polyethylene: Effect on crystallization behavior. *Journal of Macromolecular Science, Physics*, 52(9), 1265–1282. https://doi.org/10.1080/00222348.2013.764217

[14] Lemus, J. L. C., Del Pilar Torres García, M., & Mondragón, M. F. (2002). *El océano y sus recursos*. Fondo de Cultura Económica USA.

[15] Lindeque, P. K., Cole, M., Coppock, R. L., Lewis, C. N., Miller, R. Z., Watts, A. J. R., Wilson-McNeal, A., Wright, S. L., & Galloway, T. S. (2020). Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment? A comparison of microplastic capture with nets of different mesh size. *Environmental Pollution*, 265, 114721. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114721

[16] Mitra, S., Chakraborty, A. J., Tareq, A. M., Emran, T. B., Nainu, F., Khusro, A., Idris, A. M., Khandaker, M. U., Osman, H., Alhumaydhi, F. A., & Simal-Gandara, J. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science*, 34(3), 101865. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865

[17] Moura, D. S., Pestana, C. J., Moffat, C. F., Hui, J., Irvine, J. T., & Lawton, L. A. (2023). Characterisation of microplastics is key for reliable data interpretation. *Chemosphere*, 331, 138691. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138691

[18] Wright, D. A., & Welbourn, P. (2002). *Environmental toxicology*. https://doi.org/10.1017/cbo9780511805998

[19] Zhu, G., Yue, K., Ni, X., Yuan, C., & Wu, F. (2023). The types of microplastics, heavy metals, and adsorption environments control the microplastic adsorption capacity of heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(33), 80807–80816. https://doi.org/10.1007/s11356-023-28131-6

[20] Zou, J., Liu, X., Zhang, D., & Yuan, X. (2020). Adsorption of three bivalent metals by four chemically distinct microplastics. *Chemosphere*, 248, 126064. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126064

Parte X

Geociencia y percepción remota

Monitoreo de cultivos de Agave tequilana Weber variedad azul usando técnicas de percepción remota y procesamiento de imágenes del satélite Sentinel-2

Enrique Ponce Corona[1, 2, *], Miguel De-la-Torre[3, 4], Himer Avila-George[3]

[1]Departamento de Ciencias Computacionales e Innovación Tecnológica, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara.
[2]Doctorado en Ciencias Físico-Matemáticas, Centro Universitario de Los Valles, Universidad de Guadalajara.
[3]Departamento de Ciencias Computacionales e Ingenierías, Centro Universitario de Los Valles, Universidad de Guadalajara.
[4]Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

[*]Correo electrónico: jesus.ponce@cusur.udg.mx

Resumen

Las técnicas de percepción remota por satélite han cambiado radicalmente la forma de supervisar y estudiar los cultivos. Uno de dichos cultivos que se puede beneficiar enormemente de esta tecnología es el de *Agave tequilana Weber var. Azul*, utilizada para producir tequila. Sentinel-2, el satélite de la Agencia Espacial Europea, está equipado con sensores que brindan la capacidad de obtener información relacionada con la vegetación y cultivos mediante técnicas de percepción remota. De esta manera, la percepción remota también ayuda específicamente a reducir los costos asociados con el monitoreo de los cultivos de agave. Los métodos tradicionales como inspecciones físicas o sensores terrestres suelen ser lentos y costosos. Con el uso de imágenes de la misión Sentinel-2, podrían supervisarse amplias áreas rápida y eficazmente, ahorrando tiempo y dinero a los agricultores. Este trabajo presenta un análisis en la interpretación de imágenes multiespectrales y procesamiento de imágenes basadas en pixel para la detección de cultivos de agave. Se discuten ejemplos de su aplicación práctica y los desafíos para implementar un sistema de percepción remota eficaz. El objetivo es difundir el potencial de estas tecnologías modernas para mejorar la productividad del sector agavero.

Palabras clave: *agave*, *detección de cultivos*, *procesamiento de imágenes multiespectrales*, *clasificación*, *Sentinel-2*

1. Introducción

El cultivo del *Agave tequilana Weber var. Azul* es uno de los principales productos económicos en México, ya que la producción del tequila se basa en esta planta como materia prima. Lo que ha resultado en un aumento significativo en el cultivo y producción en los últimos años y por ende ha crecido la demanda en el uso de suelo y crecimiento de terrenos para cultivos, de acuerdo a estadísticas del INEGI (2023).

La implementación de nuevas tecnologías en la percepción remota y toma de imágenes aéreas ya sea por medio de vehículos aéreos no tripulados o plataformas satelitales, han abierto nuevos paradigmas en la agricultura que mejoran en precisión y tiempo de respuesta en la toma de decisiones ante la presencia de plagas, enfermedades o bien el monitoreo del cultivo desde la siembra hasta la jima o cosecha, conociendo esta disciplina como la agricultura de precisión (Ceja Ramírez et al., 2017).

La investigación reportada en este capítulo, tiene por objeto buscar y analizar la correlación de los cultivos de agaves en tres de sus estados o etapas de crecimiento con las bandas espectrales de los sensores del satélite en la detección de superficies de este cultivo. Para así determinar las condiciones ideales en la detección remota que requiere un cultivo de agave con respecto a su estado de crecimiento, así como aquellas bandas que propician información relevante.

2. Metodología

2.1. Plataforma satelital

Para esta investigación se ha utilizado la Misión Coppernicus Sentinel-2 perteneciente a la Agencia Espacial Europea, este cuenta con diversos sensores de características multiespectrales que permiten brindar acceso preciso, actualizado y rápido a la información geográfica como se muestra en la Tabla 1. Se ha utilizado los niveles de procesamiento tipo “L2A” donde los datos de reflectancia se encuentran en la superficie de la atmosfera denominado “BOA” y se han aplicado la corrección atmosférica, ideal para el estudio y análisis de suelo con fines de agricultura (Coppernicus n.d). Como herramienta de trabajo se utilizó para la descarga de imágenes Creodias Data Explorer, que cuenta con una base de datos para imágenes multitemporales y mejora en la disponibilidad de los productos y mejora la velocidad en las descargas de las mismas.

Tabla 1: Bandas espectrales y resoluciones en sensores de Sentinel-2

Sensor	Resolución espectral	Resolución espacial	Descripción
Banda 1	443 nm	60 mts	Ultra azul (Costera y aerosol)
Banda 2	490 nm	10 mts	Azul
Banda 3	560 nm	10 mts	Verde

Continúa en la siguiente página

Tabla 1: Bandas espectrales y resoluciones en sensores de Sentinel-2 (*continuación*)

Sensor	Resolución espectral	Resolución espacial	Descripción
Banda 4	665 nm	10 mts	Rojo
Banda 5	705 nm	20 mts	Visible Infrarrojo cercano (VNIR)
Banda 6	740 nm	20 mts	Visible Infrarrojo cercano (VNIR)
Banda 7	783 nm	20 mts	Visible Infrarrojo cercano (VNIR)
Banda 8	842 nm	10 mts	Visible Infrarrojo cercano (VNIR)
Banda 8A	865 nm	20 mts	Visible Infrarrojo cercano (VNIR)
Banda 9	940 nm	60 mts	Infrarrojo de onda corta (SWIR)
Banda 10	1375 nm	60 mts	Infrarrojo de onda corta (SWIR)
Banda 11	1610 nm	20 mts	Infrarrojo de onda corta (SWIR)
Banda 12	2190 nm	20 mts	Infrarrojo de onda corta (SWIR)

Fuente: Elaboración propia basada en los datos de Sentinel-2

2.2. Selección de Zonas

El estado de Jalisco, México cuenta con la mayor superficie en terrenos y cultivos de agaves para la producción de Tequila (Secretaría de Cultura, s.f.), también llamado "Paisaje agavero" este es el lugar más representativo del agave y el tequila respectivamente. (Arriola Gómez, 2018.). Este paisaje se ubica en tres núcleos:

- Zona núcleo 1: Alrededor del volcán Tequila y los municipios de "Magdalena", "Tequila" y "El Arenal".
- Zona núcleo 2: Alrededores del municipio de "Teuchitlán" y zona arqueológica de "Guachimontones".
- Zona Núcleo 3: En el monte denominado "Cerro Grande" ubicado al sur del "Cañón Río Grande de Santiago".

La región de interés y zona de estudio se encuentra dentro de la Zona 1 y Zona 2, esto debido a la variedad de cultivos de agave de distintos tamaños, así como la constante siembra y cuidado de los mismos, de acuerdo con una previa observación realizada. Se han seleccionado diversos terrenos de acuerdos a tres características del cultivo: Agave chico, Agave Mediano y Agave grande o adulto. Estos terrenos han sido también seleccionados tomando en cuenta la limpieza del suelo, nula presencia de árboles u objetos ajenos al agave. La Figura 1 muestra la extensión del paisaje agavero en el estado de Jalisco, así como la zona dedicada al estudio, en la Figura 2 se aprecia la selección del cultivo de acuerdo con la etapa de crecimiento del agave y que cumpla con los criterios y cuidados en el terreno.

Figura 1: Paisaje Agavero y Zonas de estudio

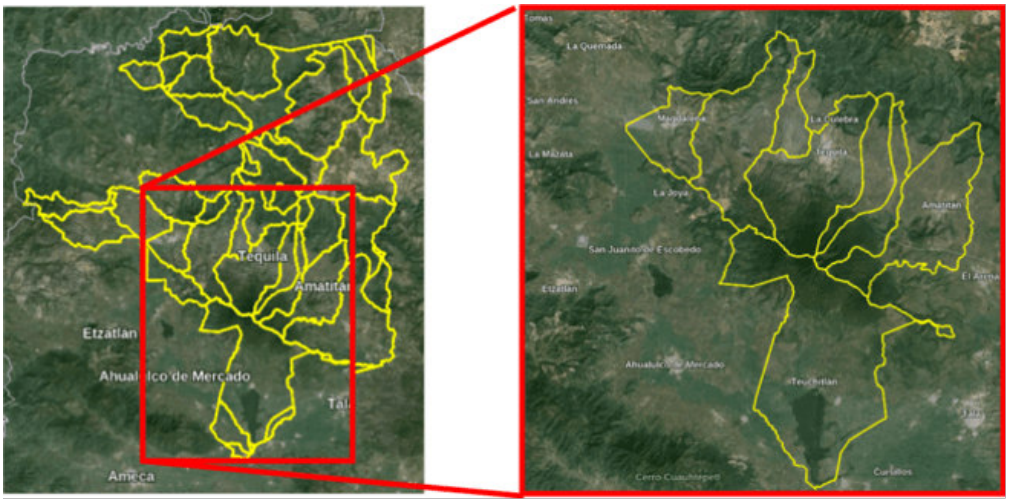
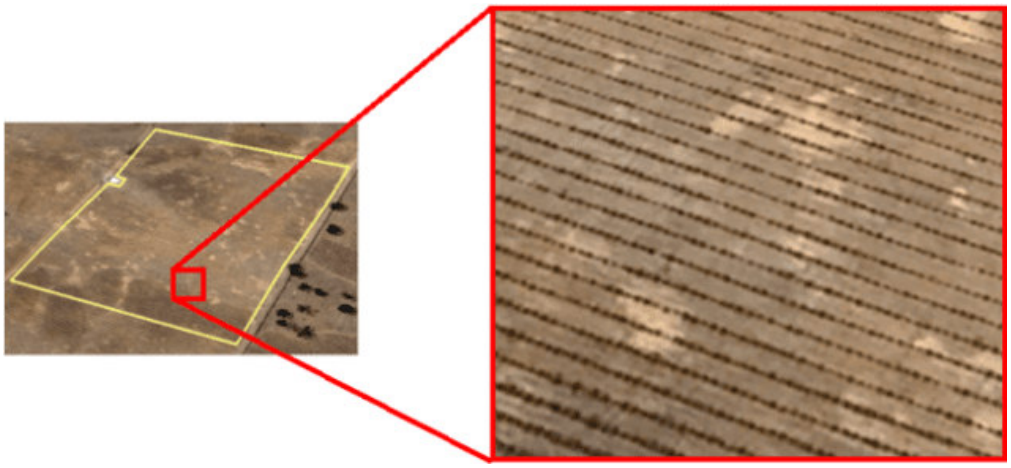


Figura 2: Selección de cultivos de agave



2.3. Creación de Dataset

Con las imágenes obtenidas, se ha llevado a cabo la extracción de valores espectrales por cada pixel para la construcción de un Dataset con respecto a cada tamaño de agave en el cultivo, se ha optado también con tener valores espectrales de zonas donde no haya presencia de agave para así tener una mejor apreciación y contraste con los mismos. En la Tabla 2 se muestran la configuración de los paramétros utilizados en el Dataset.

Tabla 2: Columnas de valores en el Dataset

Nombre de columna	Tipo de valor	Descripción
Imagen	Cadena	Establece un identificador por cada imagen capturada de acuerdo con la zona agavera y tamaño de agave
Coordenada X, Y	Numérico	Ubicación del pixel dentro de la imagen satelital
Bandas Espectrales	Flotantes	Valor de las bandas espectrales de Sentinel 2 para la coordenada de un pixel en particular
Etiqueta	Binario	Señala si el pixel analizado pertenece a un terreno de agave o no

El estudio y análisis de los terrenos de acuerdo con la información obtenida por el Dataset se basa en los valores espectrales de cada pixel de la imagen obtenida solamente sobre la región de interés o "ROI" y en regiones donde no existe presencia de agave se ha realizado el mismo proceso para fines de análisis de contraste. Esta información está balanceada para ambos tipos de datos: Agaves y No agaves. En la Tabla 3 se muestra las principales características de los datos obtenidos.

Tabla 3: Valores y clases en el Dataset

Clasificación de valores	Pixeles totales analizados
Pixeles totales analizados	3600
Pixeles con presencia de agave chico o joven	900
Pixeles con presencia de agave mediano	900
Pixeles con presencia de agave grande	900
Pixeles No agave (Urbano)	298

Continúa en la siguiente página

Tabla 3: Valores y clases en el Dataset (*continuación*)

Clasificación de valores	Pixeles totales analizados
Pixeles No agave (Vegetación)	302
Pixeles No agave (Agua)	300

2.4. Análisis exploratorio

Para comprender mejor la estructura de los datos trabajados y sus características se requiere de una limpieza y tratamiento de datos (Chen 2022, p. 31), para ello se ha utilizado la herramienta "Pandas Profiling" obteniendo un resultado que favorece la identificación del agave, ya que existe una correlación con estos y algunas bandas espectrales, no se han detectado valores vacíos y tampoco valores y estos ha sido normalizados. Las Figuras 3 y 4 muestran respectivamente que hay una variación de resultados entre distintas bandas espectrales y la interacción de los valores de estas con los terrenos de agave y sus tamaños.

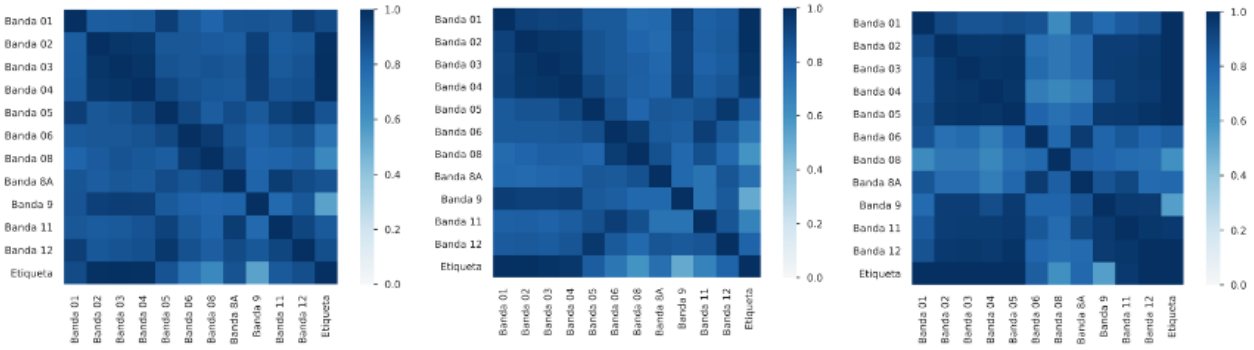


Figura 3: Correlación de bandas de agave (chico, mediano, grande)

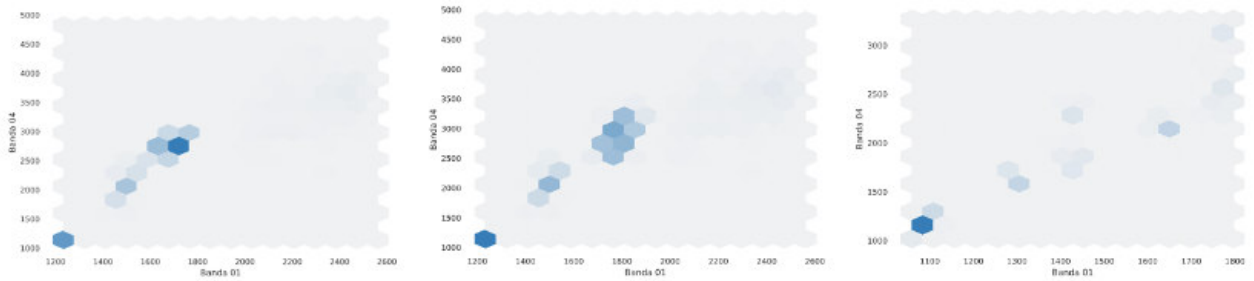


Figura 4: Interacción entre bandas de agave (chico, mediano, grande)

2.5. Creación de histogramas

Basándose en el análisis exploratorio de los datos y la estructura de estos, se han realizado los histogramas de cada clase de agave sobre las doce bandas trabajadas con el fin de verificar la distribución de los datos con respecto a la radiancia y reflectancia capturada en cada banda, para lograr así una mejor apreciación en el comportamiento de los datos (Burger & Burge, 2022). En la Figura 4 se puede apreciar una separación en proporción a los datos obtenidos, tanto para zonas de agave como zonas de no agave. Para ejemplo práctico la imagen muestra en fila las bandas 4, 8 y 11 respectivamente y cada columna forma refiere al tamaño chico, mediano y grande

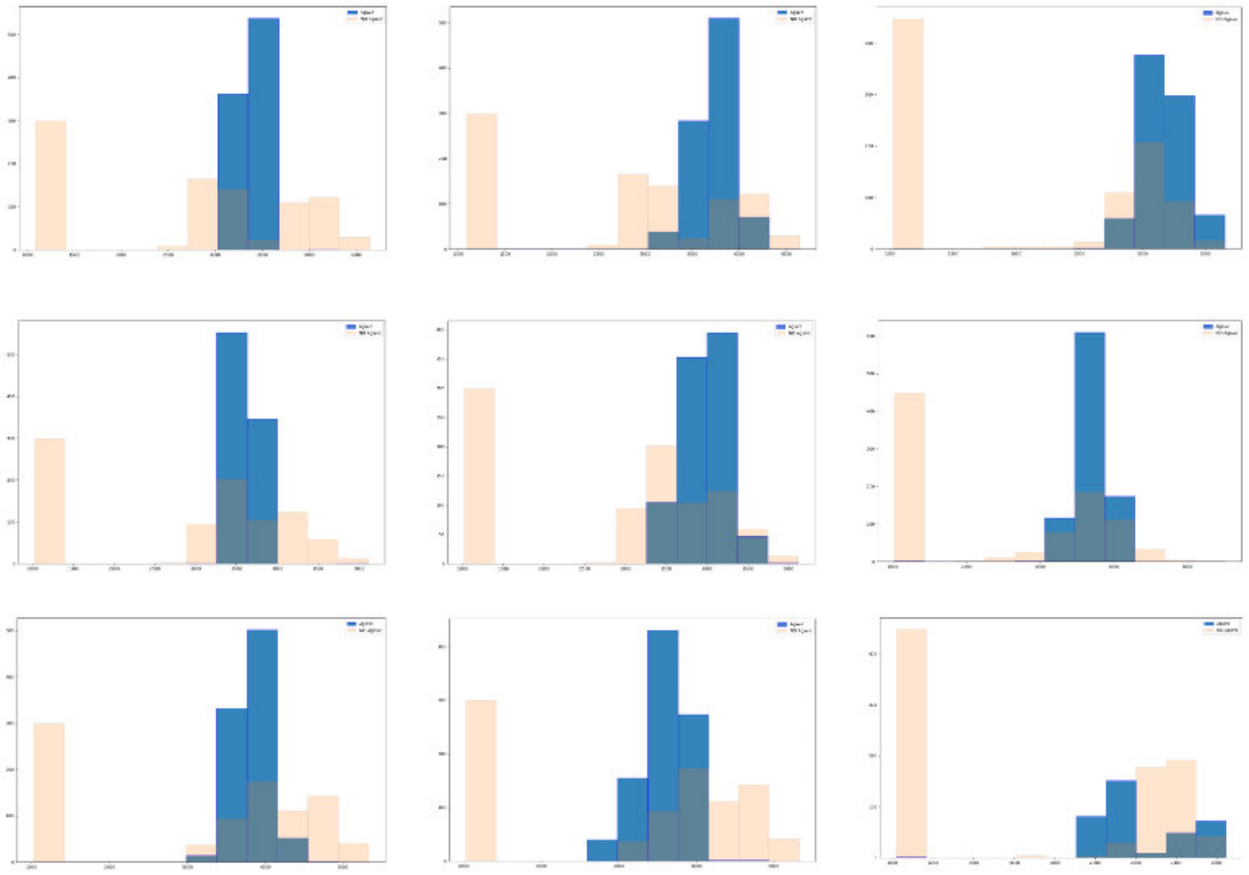


Figura 5: Histogramas de tres bandas (filas) para 3 tipos de terrenos (columnas)

3. Resultados

De acuerdo con la información obtenida durante el análisis exploratorio y la generación de histogramas, se han obtenido indicadores favorables para la separación entre pixeles con presencia de agave de aquellos que no tienen presencia de estos. Bajo esta información, el dataset ha sido trabajado bajo un modelo de clasificación basado en Maquinas de Vector de Soporte o SVM debido

a su eficacia en modelos de clasificación binaria y consumo de recursos bajos de procesamiento (Medjahed, 2015) en un marco de clasificación binaria y separación de datos “80/20” para el entrenamiento y prueba. Este modelo fue sometido en los tres diferentes escenarios de cultivo de agave con relación a su crecimiento.

Para el caso de los cultivos de agaves chicos, la clasificación en la detección de agaves ha demostrado tener una precisión en la clasificación de "0.99” de acuerdo con la matriz de confusión mostrada en la 6.

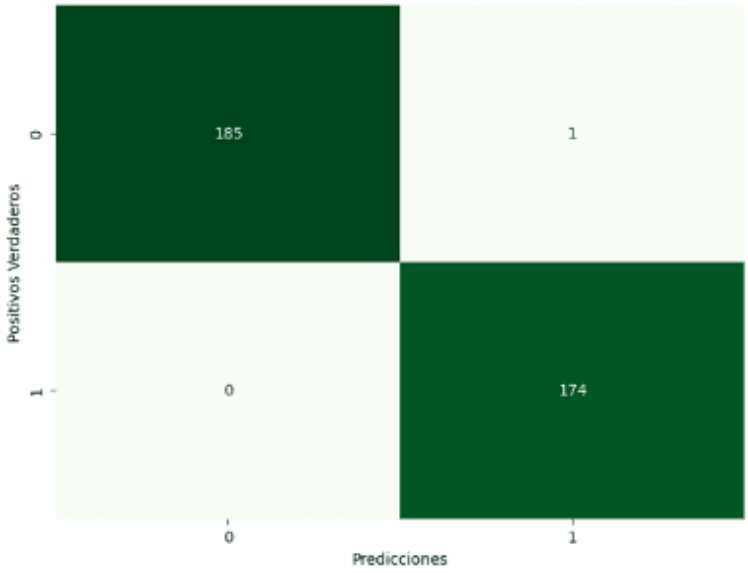


Figura 6: Predicción en agaves chicos

El segundo caso sobre los cultivos de agaves medianos la clasificación en la detección de agaves ha demostrado tener una precisión en la clasificación de "1.0” de acuerdo con la matriz de confusión mostrada en la 7.

Finalmente, el tercer caso sobre los cultivos de agaves grandes, la clasificación en la detección de agaves ha demostrado tener una precisión en la clasificación de “1.0” de acuerdo con la matriz de confusión mostrada en la 8.

4. Discusión

El análisis exploratorio y la generación de histogramas revelaron una separación clara entre las bandas espectrales que favorecen la detección de la presencia de agave y aquellas que no. Esta información permitió entrenar un modelo de clasificación binaria basado en Máquinas de Vectores de Soporte, logrando una precisión en la clasificación de 0.99 para los agaves pequeños y de 1.0 para los agaves medianos y grandes, como se muestra en las matrices de confusión en las Figuras 6, 7 y 8. Estos resultados destacan la efectividad del modelo para la identificación de agaves en terrenos controlados.

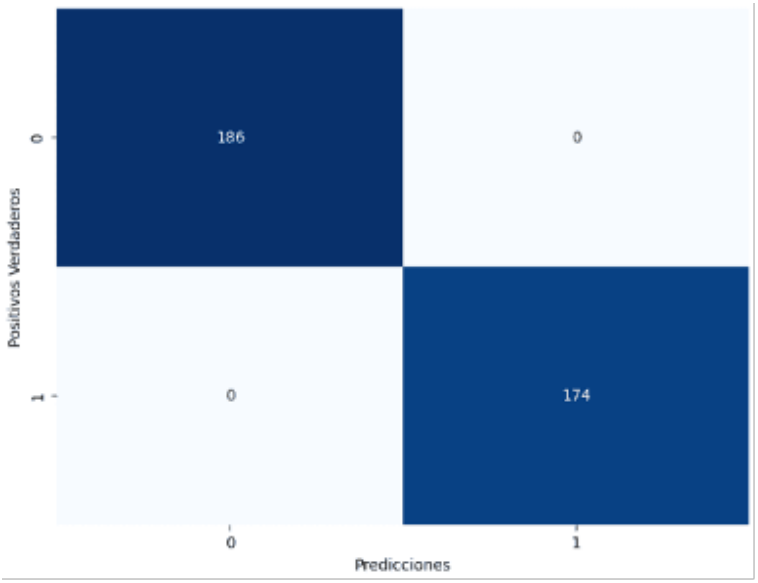


Figura 7: Predicción en agaves medianos

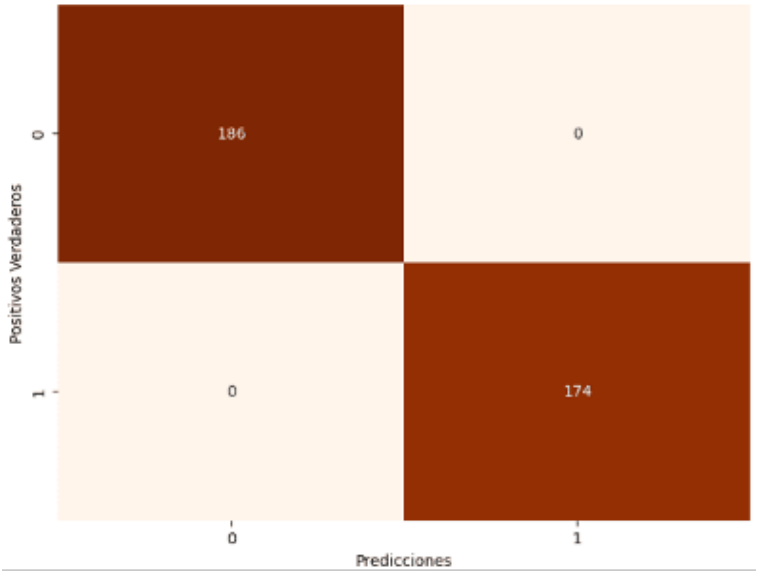


Figura 8: Predicción en agaves grandes

La precisión en la detección se beneficia significativamente cuando se consideran las etapas de crecimiento del agave. Como sugieren estudios previos, mejorar la detección de cultivos observando su curva de crecimiento puede ser útil para identificar las etapas óptimas para la jima y la siembra. Yuan et al. (2019) aplicaron este enfoque en el monitoreo de caña de azúcar y lograron identificar los meses ideales para siembra y cosecha en función de los patrones de crecimiento. Aunque el ciclo de crecimiento de la caña es mucho más corto que el del agave, que puede tardar más de seis años en madurar, el uso de curvas de crecimiento específicas para el agave permitiría ajustar las estrategias de monitoreo y detección.

Además, el rendimiento del modelo se ve afectado en condiciones de terreno mixto. Si bien el análisis exploratorio y los histogramas, representados en la Figura 5, muestran una clara separación entre las bandas que favorecen la detección de agave y aquellas que no, es importante señalar que la selección del cultivo y el estado del terreno son factores cruciales para mejorar la precisión del modelo clasificador. En terrenos con presencia de maleza, árboles o incluso agaves de diferentes tamaños (como se observa en la Figura 9), la detección de agaves se ve afectada, generando falsos positivos. Estos problemas son particularmente notorios en terrenos con agaves pequeños, donde la predominancia de suelo y piedra puede conducir a interpretaciones erróneas.

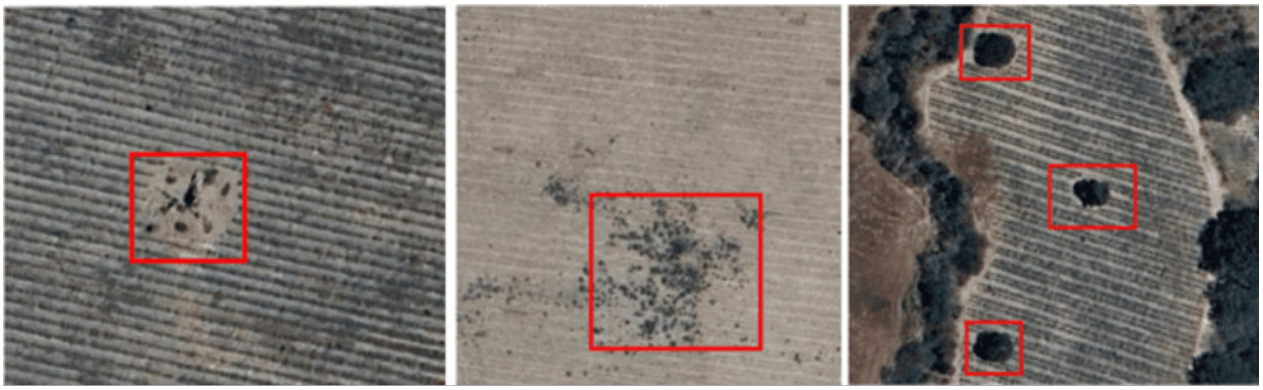


Figura 9: Presencia de maleza, árboles y otros elementos en cultivos de agave

Este fenómeno de falsos positivos es consistente con estudios previos, como el de Ceja Ramírez et al. (2017), que también reportaron dificultades en la detección en terrenos heterogéneos. Detectar agaves en terrenos mixtos con vegetación diversa o en coexistencia con otros cultivos continúa siendo un desafío para el modelo clasificador, lo que subraya la relevancia de realizar una selección cuidadosa del terreno y aplicar técnicas adicionales para optimizar la precisión.

5. Conclusión

En conclusión, esta investigación confirma que la percepción remota mediante imágenes multiespectrales de Sentinel-2 es una herramienta eficaz para la detección y monitoreo de cultivos de agave en distintas etapas de crecimiento, particularmente en terrenos homogéneos y bien defi-

nidos. La precisión alcanzada por el modelo de clasificación SVM demuestra su efectividad en la identificación de agaves, siempre y cuando las condiciones del terreno sean óptimas, es decir, despejadas y sin interferencias de vegetación adicional o estructuras externas.

Sin embargo, en terrenos mixtos, la precisión del modelo disminuye debido a la presencia de elementos como maleza, árboles u otros cultivos, lo cual genera falsos positivos, especialmente en áreas con agaves pequeños. Este hallazgo subraya la importancia de desarrollar métodos complementarios y realizar ajustes en el modelo para mejorar la precisión en entornos de mayor complejidad. La integración de datos de mayor resolución, como los obtenidos mediante vehículos aéreos no tripulados, puede representar una solución viable, permitiendo una detección más precisa al captar detalles espaciales más finos.

Futuros estudios pueden explorar también el uso de modelos de aprendizaje profundo, los cuales podrían ofrecer una mayor capacidad para diferenciar patrones espectrales en terrenos mixtos y vegetación diversa. Esta línea de investigación promete ampliar significativamente las aplicaciones de la agricultura de precisión en el sector del agave, optimizando la gestión de los cultivos, reduciendo costos de monitoreo y promoviendo la sostenibilidad en su producción a largo plazo.

Referencias bibliográficas

[1] INEGI. (2023). Estadísticas definitivas de defunciones registradas en 2022. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022.pdf

[2] Ceja Ramírez, R., González Eguiarte, D. R., Ruiz Corral, J. A., Rendón Salcido, L. A., y Flores Garnica, J. G. (2017). Detección de restricciones en la producción de agave azul (Agave tequilana Weber var. azul) mediante percepción remota. Terra Latinoamericana, 35(3), 259-268.

[3] Copernicus. (n.d.). Sentinel-2 data. Recuperado el 19 de Julio, 2024, de https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2

[4] Secretaría de Cultura. (n.d.). Guía del agave [PDF]. Recuperado el 19 de julio del 2024, de: https://www.cultura.gob.mx/turismocultural/guias/pdf/guia_agave.pdf

[5] Arriola Gómez, I. (Coord.). (2018). El paisaje agavero y las antiguas instalaciones industriales de Tequila. CONACULTA-INAH.

[6] Chen, D. Y. (2022). Pandas for everyone: Python data analysis (2nd ed.). Addison-Wesley Professional.

[7] Burger, W., y Burge, M. J. (2022). Digital image processing: An algorithmic introduction (3rd ed.). Springer.

[8] Medjahed, S. A. (2015). A comparative study of feature extraction methods in images classification. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, 7(3), 16.

[9] Casiano Domínguez, M., y Paz Pellat, F. (2018). Patrones espectrales de la fenología del desarrollo vegetativo y reproductivo de árboles de huizache (Acacia farnesiana (L.) Willd.). Terra Latinoamericana, 36(4), 393-409.

[10] Ceja Ramírez, R., González Eguiarte, D. R., Ruiz Corral, J. A., Rendón Salcido, L. A., y Flores Garnica, J. G. (2017). Detección de restricciones en la producción de agave azul (Agave tequilana Weber var. azul) mediante percepción remota. Terra Latinoamericana, 35(3), 259-268.

[11] Yuan, X., Li, H., Han, Y., Chen, J., & Chen, X. (2019, julio). Monitoring of sugarcane crop based on time series of Sentinel-1 data: A case study of Fusui, Guangxi. En 2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics) (pp. 1-5). IEEE. Recuperado de https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820500

Estimación de variables agrícolas mediante la combinación de métodos Geofísicos e imágenes satelitales

Nestor Fernando Delgadillo Jáuregui[1, 2, *], Miguel De-la-Torre[2, 3], Quiriat Jearim Gutiérrez Peña[2], Ivan E. Villalón Turrubiates[4], Juan Pablo Rivera Caicedo[5]

[1]Doctorado en Ciencias Físico-Matemáticas,
Centro Universitario de Los Valles, Universidad de Guadalajara
[2]Departamento de Ciencias Naturales y Exactas
Centro Universitario de Los Valles, Universidad de Guadalajara
[3]Departamento de Ciencias Computacionales e Ingenierías,
Centro Universitario de Los Valles, Universidad de Guadalajara.
[4]Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática,
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)
[5]CONAHCyT-UAN, Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit

[*]Correo electrónico: nestor.delgadillo@academicos.udg.mx

Resumen
Las observaciones de la Tierra implican el análisis de imágenes satelitales y aéreas, observaciones *in-situ*, modelos matemáticos y otras fuentes. Entre la variedad de fuentes de datos, se han empleado métodos geofísicos para comprender las características del suelo subterráneo. En particular, en la agricultura de precisión, la tomografía de resistividad eléctrica es uno de los métodos más populares debido a sus ventajas en términos de no invasivos, adquisición de datos, facilidades de procesamiento y mediciones multiescala. Por otro lado, las imágenes satelitales son una herramienta muy popular para estudiar el uso del suelo en los territorios agrícolas, con la ventaja de su amplio campo de visión, resolución temporal relativamente grande y facilidad para obtener datos de observación de la superficie. En este capítulo, se presenta la estimación de las variables agrícolas Brix y tamaño, para el cultivo *Agave tequilana Weber var. Azul*, utilizando la estrategia de mezcla de expertos para la combinación de tomografía de resistividad eléctrica e imágenes satelitales.

Palabras clave: *Observación de la Tierra*, *Agave tequilana Weber*, *fusión de información*, *imagen satelital*, *tomografía de resistividad eléctrica.*

1. Introducción

El incremento en la producción agrícola, implica el uso de una cantidad cada vez mayor de tecnologías para mejorar la calidad del producto y satisfacer una demanda creciente en las sociedades industrializadas. Entre las tecnologías más sólidas, la hidroponia, la acuaponia y las tecnologías

agrícolas de precisión generan los avances más relevantes (Hemathilake y Gunathilake, 2022). El objetivo principal de la *agricultura de precisión* es aumentar la rentabilidad, al tiempo que se cuida la sostenibilidad y el medio ambiente. Para ello, en el caso de los cultivos a cielo abierto, la información oportuna sobre el suelo, la humedad y el estado del cultivo es de particular interés para la adecuada toma de decisiones. En este sentido, dos de las áreas de conocimiento más relevantes que aportan tecnologías y metodologías para el estudio de suelos en campo abierto son la Geofísica (Allred et al., 2010) y la Teledetección (Khanal et al., 2020).

Entre los métodos de geofísica empleados para la agricultura, los más relevantes incluyen la tomografía de resistividad eléctrica (TRE), la inducción electromagnética y el radar de penetración terrestre (Allred et al., 2010). Estas tecnologías generalmente se combinan con sistemas de navegación satelital global para establecer la ubicación precisa y oportuna de las mediciones. De estos tres métodos, la TRE es de especial interés, ya que proporciona estudios unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales del subsuelo (Samouelian et al., 2005). Además, existe una variedad de aplicaciones de software que se pueden utilizar para el análisis automático de mediciones, ya sea con licencia de código abierto (Doyoro et al., 2022) o software comercial (Ducut et al., 2022).

Por otro lado, la Teledetección para la agricultura es un área de investigación en crecimiento que proporciona soluciones ya sea con imágenes aéreas de alta resolución espacial (por ejemplo, alrededor de 3 cm^2 por píxel, utilizando cámaras en un vehículo aéreo no tripulado, UAV), o con imágenes satelitales de resolución media o baja (por ejemplo, alrededor de 10 m^2 por píxel con el satélite Sentinel 2). De la amplia gama de opciones, los datos satelitales de baja resolución son relevantes para una gran variedad de aplicaciones, ya que se pueden descargar gratuitamente a través de las plataformas de instituciones gubernamentales. Las agencias que proporcionan tales datos incluyen la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), la Agencia Espacial Europea (ESA), la Administración Espacial Nacional de China (CNSA) y la Agencia Espacial Italiana (ASI), solo por mencionar algunas de ellas. Además, la disponibilidad de datos hiperespectrales históricos de todo el mundo hace que las imágenes satelitales sean especialmente interesantes para el análisis basado en el tiempo, así como para la predicción de fenómenos. Un ejemplo relevante es el proyecto THERA, fundado por la ASI, para estimar las propiedades de la capa superior del suelo para la agricultura (Casa et al., 2023), entre otros.

En el ámbito agrícola, específicamente en lo que respecta a los cultivos de agave, se considera su capacidad de acumular metales en sus tejidos. A esta capacidad se le llama bioacumulación y su comportamiento es diferente dependiendo de la especie, así como la capacidad de retención de metales en el suelo y la interacción planta-raíz (Bañuelos et al., 1997). El uso más extendido del agave es la producción de tequila, para lo que es relevante que la planta contenga la mayor cantidad de azúcares que, al fermentarse, dan origen al destilado. En este sentido, los llamados grados Brix representan una escala arbitraria para medir densidades de soluciones de azúcares y equivalen al porcentaje en peso de sólidos solubles de una muestra, que principalmente son azúcares. Su determinación se realiza con un refractómetro o con un hidrómetro (Considine & Considine, 1982).

De esta manera, cada método presenta ventajas complementarias: las ventajas de la tomografía de resistividad eléctrica (TRE) para caracterizar el subsuelo, y las técnicas de teledetección basadas en satélites para analizar la reflectancia producida por los elementos superficiales. Así, al combinar los resultados de ambos métodos para caracterizar el suelo, y los cultivos resultantes, se toman las ventajas de ambos en una sola fuente de información. La caracterización de esta combinación de la reflectancia de la superficie con la resistividad subterránea es un elemento para encontrar mejores campos de cultivo, dados los requisitos del cultivo para crecer, como para las características del suelo. Además, con el historial disponible en los datos satelitales, se puede recuperar información relevante sobre ciclo de cultivo, y la posibilidad de predecir el mejor momento para regar, fertilizar, cosechar, etc.

En este capítulo se resumen las principales características de la TRE y las imágenes satelitales, y se presentan algunas de sus principales aplicaciones. De igual forma, se mencionan algunos de los métodos de fusión propuestos en la literatura para uno u otro, así como sus potenciales aplicaciones. El análisis destaca las variables que pueden monitorearse con cada método y las posibilidades de combinar información de ambos métodos para mejorar el análisis del crecimiento del cultivo con las características del suelo recuperadas del análisis de TRE. El análisis se complementa con una prueba que ejemplifica la predicción del grado Brix y el tamaño del *Agave tequilana Weber var. Azul*. Finalmente, las conclusiones y principales direcciones de investigación futura se resumen en la última sección.

2. Tomografía de resistividad eléctrica en agricultura de precisión

La agricultura de precisión aprovecha los estudios de TRE para caracterizar el suelo, generalmente antes de la siembra, con el objetivo de estimar si es apropiado para el cultivo que se va a sembrar. Las profundidades típicas del subsuelo caracterizadas por la TRE varían entre 0.3m y 2m, dependiendo de la profundidad de las raíces de las plantas que se estudian. Los principios básicos que sustentan la TRE, consideran que la distribución del flujo de corriente eléctrica depende de los materiales del suelo monitoreado, aprovechando la ley de Ohm, así como el conocimiento previo de la geología. Las mediciones generalmente emplean cuatro electrodos enterrados a distancias controladas: dos de ellos inyectan la corriente y los otros dos se utilizan para medir la diferencia de potencial. De este modo, la variación de la resistividad se relaciona con propiedades del suelo como la porosidad, el contenido de agua o la concentración de solutos [4]. Dependiendo de la ubicación de los electrodos, los estudios pueden proporcionar estimaciones unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales, que se seleccionan según el terreno y el objetivo de la aplicación.

Ejemplos de aplicaciones de TRE incluyen estudios de características del suelo, como la salinidad del agua subterránea (Adhikary et al., 2014), o estudios del contenido de humedad y salinidad para monitorear la estructura del suelo (Rasul et al., 2018). En tierras costeras, la TRE se ha empleado también para visualizar la infiltración de agua salada en el suelo de la reserva natural, con

el fin de determinar la extensión y profundidad de la pluma de agua y regular la actividad humana (Hermans et al., 2012). Otros ejemplos incluyen la interacción con plantas que crecen en el terreno de estudio. Por ejemplo, se empleó TRE para predecir el contenido de agua en suelos de huertos frutales (Acosta et al., 2022), y estudiar la interacción planta-suelo en entornos de marismas (Boaga et al., 2014). Estudios recientes de creciente relevancia para la agricultura de precisión investigan las respuestas de las plantas al déficit de agua en el suelo (Rao et al., 2020), y la distribución de las raíces de las plantas tanto en entornos urbanos como boscosos (Giambastiani et al., 2022).

En resumen, las principales variables que se pueden medir y/o monitorear con TRE. Estas variables están relacionadas con la resistividad del suelo, e incluyen la salinidad del agua subterránea, la humedad, la porosidad y la detección de cavidades u objetos subterráneos (por ejemplo, rocas grandes). Dichas variables pueden estudiarse de forma aislada solo para la caracterización del suelo, o los estudios pueden incluir su interacción con plantas cultivadas en el área de estudio. Dependiendo de la aplicación, la TRE puede proporcionar información sobre el estado subterráneo de las plantas, así como los cambios del suelo a lo largo del tiempo durante el crecimiento de las plantas. Finalmente, aunque la resistividad es propensa a variaciones debido a las condiciones del suelo, los estudios suelen complementarse con mediciones de humedad y temperatura, así como con observaciones geológicas.

3. Imágenes satelitales en agricultura de precisión

La superficie terrestre refleja y emite radiación continuamente, tanto si es suelo descubierto, o tiene cultivos, bosques o escenarios urbanos. La radiación reflejada que proviene del sol generalmente se captura mediante dispositivos de detección proximal o remota con sensores pasivos, y los satélites constituyen una solución popular para estudiar la superficie terrestre y acuática en todo el mundo. A diferencia de la detección proximal, la teledetección a través de satélites proporciona resoluciones temporales, espaciales y espectrales fijas que dependen de la misión satelital particular. Las misiones abiertas más relevantes, según las publicaciones relacionadas, proporcionan tres categorías de datos de teledetección. Para empezar, los sensores multiespectrales incluyen bandas de ondas de luz visible, así como infrarrojas, pancromáticas y otras. Ejemplos de estas misiones son Landsat, Sentinel-2 y MODIS. Un ejemplo de datos de radar abiertos es Sentinel-1, y los modelos de elevación digitales se pueden recuperar de las misiones SRTM y ASTER (Radocaj et al., 2020). Otros esfuerzos para mejorar la cobertura de la tierra monitoreada son los trabajos recientes en grandes constelaciones de satélites pequeños, que aprovechan la miniaturización de la tecnología para mejorar la resolución temporal y espacial. Sin embargo, hasta el momento no ha sido posible establecer una constelación rentable que supere las limitaciones de los satélites tradicionales (Curzi et al., 2020).

Muchos esfuerzos en agricultura de precisión se basan en mediciones multiespectrales de plantas y suelo, ya sea utilizando una banda particular relacionada con la aplicación, o combinando

información de distintas bandas a través de diferentes índices espectrales específicos de la aplicación. Ejemplos de índices relevantes son el índice de vegetación de diferencia normalizada o (NDVI), el índice de estrés hídrico de los cultivos (CSWI) y el índice de estrés del dosel (CSI). Estos índices se utilizan en una variedad de aplicaciones que incluyen la estimación del estrés de las plantas y el fenotipado (Pineda et al., 2020), el monitoreo de incendios forestales a gran escala (Lee, 2021) y la estimación de las propiedades de la capa superior del suelo para la agricultura (Casa et al., 2023). Además de los índices, existen productos que se pueden emplear directamente dependiendo de la aplicación, como los productos de humedad del suelo SMAP, SMOS y AMSR2, utilizados en la observación terrestre en regiones frías y áridas de China (Wang et al., 2024).

Además de las ventajas de las técnicas de teledetección multiespectral, quedan diversas cuestiones abiertas a la investigación. Una de las principales dificultades es encontrar un equilibrio entre las resoluciones temporales, espectrales y espaciales, así como el costo computacional y el costo monetario de las imágenes privadas. Además, la información de superficie recuperada de la reflectancia representa solo una caracterización parcial del suelo en estudio, y los estudios pueden complementarse con otros métodos que consideren mediciones *in-situ*.

4. Metodología

4.1. Aprendizaje automático para la fusión de información

En la literatura, se ha estudiado la fusión de múltiples fuentes de datos de observación de la Tierra (Salcedo-Sanz et al., 2020), y se han propuesto marcos generales para combinar información heterogénea (Das et al., 2021). En particular, la implementación de sistemas de aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés), generalmente involucra cuatro bloques conceptuales diferentes que pueden superponerse según la aplicación y los métodos empleados para resolver el problema a abordar. Primero, un bloque de preprocesamiento prepara las señales medidas (por ejemplo, corrección radiométrica, eliminación de ruido, etc.) El bloque de extracción o selección de características prepara las subcaracterísticas resultantes para ser la entrada del modelo matemático (por ejemplo, transformadores profundos, PCA, LDA, etc.) Luego, se aplican los algoritmos de clasificación, regresión o agrupamiento de acuerdo con la información de salida deseada. Finalmente, se toma la decisión específica de la aplicación, que puede incluir una categoría para la clasificación, una predicción, resultados de segmentación, la estimación de una variable biológica o geológica, entre otros resultados.

La Figura 1 presenta la estructura conceptual propuesta de los niveles para la fusión en la observación de la Tierra, inspirada en los trabajos de (Salcedo-Sanz et al., 2020) y (Das et al., 2021), así como en la literatura general de ML. A nivel de sensor, la fusión se da con las mediciones directas, con aplicaciones como la reducción de errores o el aumento de la precisión. Por ejemplo, la combinación de mediciones de reflectancia repetidas de la misma coordenada puede aumentar la precisión del valor combinado (Bartminski & Siłuch, 2020). A nivel de subcaracterísticas, la

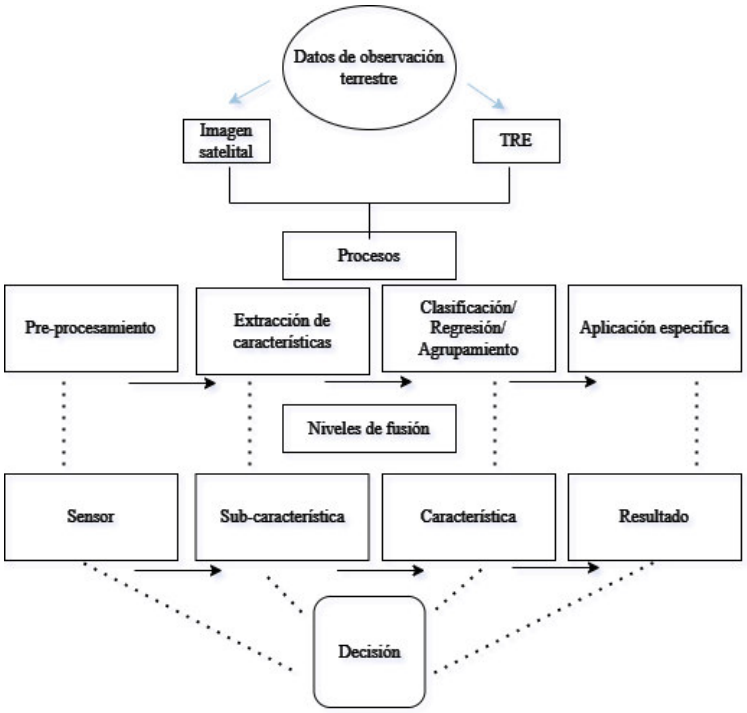


Figura 1: Estructura de fusión de datos de observación de la Tierra: imágenes satelitales y TRE

fusión se da con datos que se van a armonizar, incluidas las estrategias típicas de normalización de datos (Salcedo-Sanz et al., 2020). A nivel de característica, se emplean técnicas de extracción o selección de características para recuperar la información más relevante de las características brutas, incluidos métodos como PCA o Wavelets (Mishra et al., 2023), así como los índices múltiples comúnmente empleados en la literatura. A nivel de resultado, la salida de los algoritmos de ML (por ejemplo, clasificadores o conjuntos de clasificadores) se combinan a través de promedios, productos de probabilidad u otros enfoques más sofisticados (Tombe & Viriri, 2021). Finalmente, en el nivel de decisión, las decisiones específicas de la aplicación de los clasificadores (o estimaciones de regresión) se combinan para generar una decisión única a través de votación por mayoría, máximo, promedio u otras funciones más sofisticadas (Shen et al., 2021).

4.2. Caso de estudio: *Agave tequilana Weber var. azul*

Como prueba de concepto, se preparó un caso de ejemplo para ilustrar el desempeño en el nivel de fusión de *score* o resultado, tomando en cuenta lo obtenido por (Delgadillo Jauregui et al., 2024), donde muestran que la fusión de TRE e imágenes satelitales es adecuada para ejecutarse en los niveles de resultado o decisión, dada la heterogeneidad de ambas fuentes de información. Para la experimentación, se recuperaron las mediciones de TRE de una parcela de *Agave tequilana Weber var. azul* y se descargaron imágenes de color verdadero RGB de la plataforma Sentinel-2 para la misma región de interés. Se alinearon un total de 168 píxeles con su resistividad correspondiente

y se midieron los grados Brix *in-situ* para las plantas de agave correspondientes a la ubicación de cada píxel. Para el presente caso de estudio se utilizó un refractómetro, el cual determina el índice de refracción de un haz de luz que atraviesa el medio en el cual se encuentran los azúcares (Bautista-Justo et al., 2001). Así mismo se midieron los tamaños de los agaves en su sección transversal correspondientes a la ubicación de cada píxel mediante un flexómetro. Luego, se empleó un regresor de vector de soporte separado para construir y entrenar un sistema de fusión a nivel resultado, con los grados Brix como estimación esperada. Se realizó el mismo procedimiento para la estimación esperada del tamaño del agave.

5. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos muestran una correlación moderada entre la resistividad del suelo y el grado Brix del agave. La Figura 2 muestra las regresiones lineales relacionadas con la medición de grado Brix. En el inciso a) y b) se muestran las regresiones lineales respecto a los valores estimados después de realizar una validación a nivel de resultado, utilizando partes iguales de los datos de entrenamiento/ensayo en cada uno de los casos. En ellas se muestra que para la segunda sección de los datos es la que mejor ajuste presenta a los valores estimados a ese nivel con un valor de $R^2 = 0{,}09577$ a diferencia del inciso a) con un $R^2 = 0{,}009679$. En el inciso c), la regresión lineal es respecto a los valores de resistividad medidos en campo; se observa una moderada relación entre ellas con $R^2 = 0{,}2878$. En el inciso d), la cual es respecto a los valores de la banda azul, existe una poca o nula relación entre ellas con valores de $R^2 = 0{,}001316$.

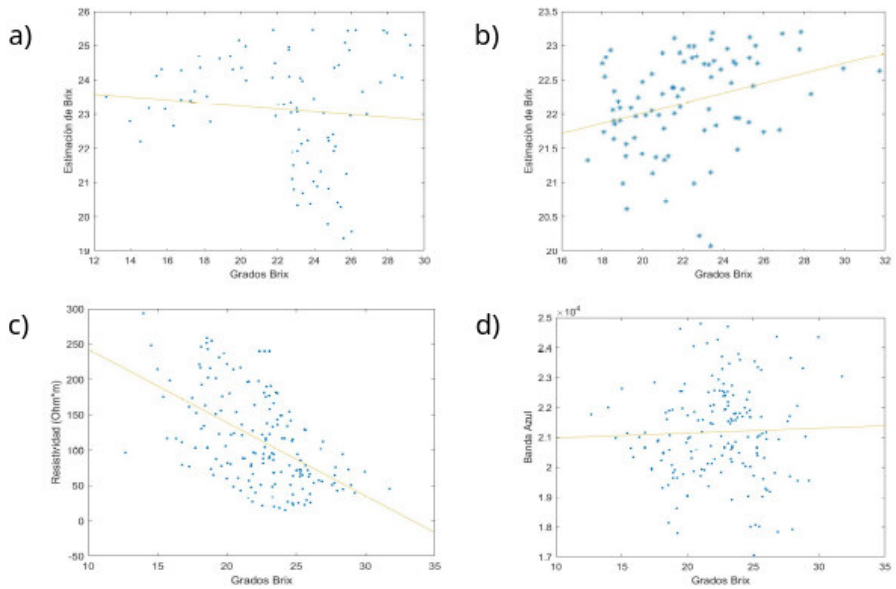


Figura 2: Regresión lineal del grado Brix.

En cuanto al tamaño del agave, los resultados también indican una moderada relación entre las variables. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos utilizando el tamaño del agave como la variable a predecir. En este caso, tanto para el inciso a) donde se muestra el ajuste para la primera parte de los datos al nivel de resultado, como para el inciso b), la segunda parte de los datos, el ajuste arroja coeficientes de correlación similares con R^2 = 0,03022 y R^2 = 0,01365 respectivamente. En el inciso c) y d) se observa un comportamiento similar a la variable de grados Brix, donde el mejor ajuste se observa para la resistividad, R^2 = 0,005654. Las observaciones en los resultados se pueden explicar dada la heterogeneidad de los datos proporcionados por la TRE e imágenes satelitales. Desde esa perspectiva, es adecuado diseñar un sistema de ML específico de la aplicación para cada método, y las respuestas del sistema se pueden fusionar en un solo valor siguiendo la estrategia de mezcla de expertos. Tal estrategia se emplea comúnmente en sistemas generativos recientes, para proporcionar respuestas más altas y precisas en comparación con los enfoques monolíticos.

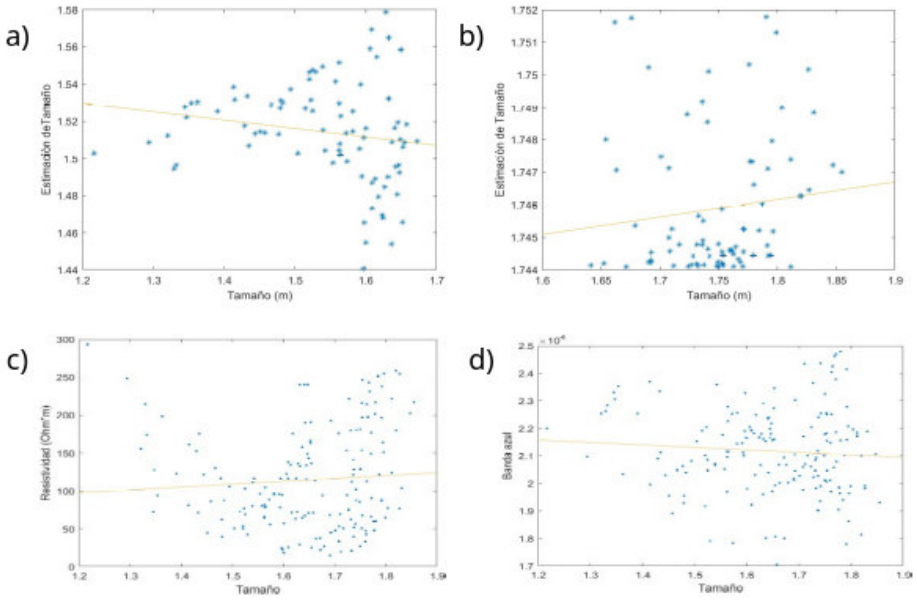


Figura 3: Regresión lineal del tamaño. a) Nivel score (resultado), de la primera mitad de los datos, b) Nivel score (resultado) de la segunda mitad de los datos, c) resistividad medida en el pixel, d) reflectancia en la banda azul.

6. Conclusiones

En este capítulo se evalúa la efectividad de la fusión de datos utilizando una estructura de fusión de datos de observación de la Tierra, basada en las técnicas de ML. Con ello se pretende estimar las variables agrícolas de grado Brix y tamaño para el *Agave tequilana Weber var. Azul*. Se visualizan los valores obtenidos a nivel resultado en una regresión lineal para cada una de las variables, al

igual para los valores de resistividad y banda azul. Los resultados obtenidos muestran la relación existente entre las variables agrícolas y los valores obtenidos *in-situ*. En este caso, es evidente que tanto para la variable de grado Brix, como para el Tamaño, es necesario una mejor aproximación, que podría corresponder a una mayor cantidad de datos, de manera que los hiperparámetros de los estimadores y la función de fusión en nivel de score (resultado), resulte en un mayor coeficiente de correlación. De igual manera para el caso de la resistividad y la banda azul.

De este trabajo se derivan diferentes enfoques de investigación para diferentes niveles de fusión. Entre los elementos a considerar, se incluye el utilizar datos de varias imágenes satelitales correspondientes a distintas parcelas, que confirmen o aporten mayor información al análisis estadístico. Dado el caso agrícola en el que se enfoca este trabajo, otro enfoque es utilizar diversas variables agrícolas y/o diferentes bandas de las imágenes utilizadas. La utilización de mezcla de expertos resulta útil en la fusión de datos de observación de la Tierra para la toma de decisiones futuras en campo, con el objetivo de un mejor aprovechamiento agrícola.

Referencias bibliográficas

[1] Acosta, J. A., Gabarrón, M., Martínez-Segura, M., Martínez-Martínez, S., Faz, A., Pérez-Pastor, A., Gómez-López, M. D., & Zornoza, R. (2022). Soil water content prediction using electrical resistivity tomography (ERT) in Mediterranean tree orchard soils. *Sensors*, 22(4), 1365. https://doi.org/10.3390/s22041365

[2] Adhikary, P. P., Chandrasekharan, H., Dubey, S. K., Trivedi, S. M., & Dash, C. J. (2014). Electrical resistivity tomography for assessment of groundwater salinity in west Delhi, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(5), 2687–2698. https://doi.org/10.1007/s12517-014-1303-3

[3] Allred, B. J., Freeland, R. S., Farahani, H. J., & Collins, M. E. (2010). Agricultural geophysics: Past, present, and future. En *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems* (pp. 190–202).

[4] Bañuelos, G. S., Ajwa, H. A., Mackey, B., Wu, L., Cook, C., Akohoue, S., & Zambruzuski, S. (1997). Evaluation of Different Plant Species Used for Phytoremediation of High Soil Selenium. *Journal of Environmental Quality*, 26(3), 639–646. https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600030020x

[5] Bartminski, P., & Siłuch, M. (2020). Spatial resampling of remote sensing data accuracy vs. redundancy. *Polish Journal of Soil*.

[6] Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R., & Parra-Negrete, L. A. (2001). Azúcares en agaves (Agave tequilana Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(001), 33-38.

[7] Boaga, J., D'Alpaos, A., Cassiani, G., Marani, M., & Putti, M. (2014). Plant-soil interactions in salt marsh environments: Experimental evidence from electrical resistivity tomography in the Venice Lagoon. *Geophysical Research Letters*, 41(17), 6160–6166. https://doi.org/10.1002/2014GL061190

[8] Casa, R., Bruno, R., Falcioni, V., Marrone, L., Pascucci, S., Pignatti, S., Priori, S., Rossi, F., Tricomi, A., & Guarini, R. (2023). Top soil properties estimation for agriculture from prisma: the tehra project. En *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 3209–3212).

[9] Considine, M. D., & Considine, G. D. (1982). *Foods and Food Production Encyclopedia*. Van Nostrand Reinhold Company, Inc.

[10] Curzi, G., Modenini, D., & Tortora, P. (2020). Large constellations of small satellites: A survey of near future challenges and missions. *Aerospace*, 7(9), 133. https://doi.org/10.3390/aerospace7090133

[11] Das, K., Twarakavi, N., Khiripet, N., Chattanrassamee, P., & Kijkullert, C. (2021). A machine learning framework for mapping soil nutrients with multi-source data fusion. En *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 3705–3708).

[12] Delgadillo Jauregui, N. F., De-la-Torre, M., Gutiérrez Peña, Q. J., Villalon-Turrubiates, I. E., & Rivera-Caicedo, J. P. (2024). Fusion of electrical resistivity tomography and satellite imagery for precision agriculture. En *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*.

[13] Doyoro, Y. G., Chang, P.-Y., Puntu, J. M., Lin, D.-J., Huu, T. V., Rahmalia, D. A., & Shie, M.-S. (2022). A review of open software resources in python for electrical resistivity modelling. *Geoscience Letters*, 9(1). https://doi.org/10.1186/s40562-021-00206-3

[14] Ducut, J. D., Alipio, M., Go, P. J., Concepcion, R. II, Vicerra, R. R., Bandala, A., & Dadios, E. (2022). A review of electrical resistivity tomography applications in underground imaging and object detection. *Displays*, 73, 102208. https://doi.org/10.1016/j.displa.2022.102208

[15] Giambastiani, Y., Errico, A., Preti, F., Guastini, E., & Censini, G. (2022). Indirect root distribution characterization using electrical resistivity tomography in different soil conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 67, 127442. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127442

[16] Gulseven, O. (2020). Measuring achievements towards SDG 14 life below water in the United Arab Emirates. *Marine Policy*, 117, 103972.

[17] Hemathilake, D. M. K. S., & Gunathilake, D. M. C. C. (2022). High productive agricultural technologies to fulfill future food demands: Hydroponics, aquaponics, and precision/smart agriculture. En R. Bhat (Ed.), *Future Foods* (pp. 555–567). Academic Press.

[18] Hermans, T., Vandenbohede, A., Lebbe, L., Martin, R., Kemna, A., Beaujean, J., & Nguyen, F. (2012). Imaging artificial salt water infiltration using electrical resistivity tomography constrained by geostatistical data. *Journal of Hydrology*, 438–439, 168–180. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.022

[19] Khanal, S., KC, K., Fulton, J. P., Shearer, S., & Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote Sensing*, 12(22). https://doi.org/10.3390/rs12223810

[20] Lee, J. H. (2021). Prediction of large-scale wildfires with the canopy stress index derived from soil moisture active passive. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 2096–2102. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3059937

[21] Mishra, R., Bhateja, V., Banerjee, R., Lay-Ekuakille, A., & Senkerik, R. (2023). Remote Sensing Image Fusion Based on PCA and Wavelets. En *Springer Nature Singapore* (pp. 25–33).

[22] Pineda, M., Barón, M., & Pérez-Bueno, M.-L. (2020). Thermal imaging for plant stress detection and phenotyping. *Remote Sensing*, 13(1), 68. https://doi.org/10.3390/rs13010068

[23] Radocaj, D., Obhoas, J., Jurisic, M., & Gasparovic, M. (2020). Global open data remote sensing satellite missions for land monitoring and conservation: A review. *Land*, 9(11), 402. https://doi.org/10.3390/land9110402

[24] Rao, S., Lesparre, N., Flores-Orozco, A., Wagner, F., Kemna, A., & Javaux, M. (2020). Imaging plant responses to water deficit using electrical resistivity tomography. *Plant and Soil*, 454(1–2), 261–281. https://doi.org/10.1007/s11104-020-04589-9

[25] Rasul, H., Zou, L., & Olofsson, B. (2018). Monitoring of moisture and salinity content in an operational road structure by electrical resistivity tomography. *Near Surface Geophysics*, 16(4), 423–444. https://doi.org/10.1002/nsg.12006

[26] Salcedo-Sanz, S., Ghamisi, P., Piles, M., Werner, M., Cuadra, L., Moreno-Martínez, A., Izquierdo-Verdiguier, E., Muñoz-Marí, J., Mosavi, A., & Camps-Valls, G. (2020). Machine learning information fusion in earth observation: A comprehensive review of methods, applications and data sources. *Information Fusion*, 63, 256–272. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.07.017

[27] Samouelian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., & Richard, G. (2005). Electrical resistivity survey in soil science: A review. *Soil and Tillage Research*, 83(2), 173–193. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004

[28] Shen, J., Zhang, C., Zheng, Y., & Wang, R. (2021). Decision level fusion with a pluginable importance factor generator for remote sensing image scene classification. *Remote Sensing*, 13(18), 3579. https://doi.org/10.3390/rs13183579

[29] Tombe, R., & Viriri, S. (2021). Adaptive deep co-occurrence feature learning based on classifier-fusion for remote sensing scene classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 155–164.

[30] Wang, Q., Ji, P., & Atkinson, P. M. (2024). Fusion of surface soil moisture data for spatial downscaling of daily satellite precipitation data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 1053–1065.

Doce Años del Capítulo IEEE de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota Sección Guadalajara: Un Análisis de su Trayectoria y Contribuciones

Ivan E. Villalon-Turrubiates[1], Alejandro Monsiváis-Huertero[2], Miguel De-la-Torre[1, 2, *]

[1]Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)

[2]Laboratorio de Investigación y Aplicaciones en Percepción Remota Espacial (LIAPRE), Instituto Politécnico Nacional

[3]Departamento de Ciencias Computacionales e Ingenierías, Centro Universitario de Los Valles, Universidad de Guadalajara.

[*]Correo electrónico: miguel.dgomora@academicos.udg.mx

Resumen

El capítulo de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota (GRSS, por sus siglas en inglés) del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) Sección Guadalajara celebra en este año su duodécimo aniversario, consolidándose como una entidad clave en el desarrollo y promoción de las ciencias geoespaciales y la percepción remota en México. A través de su función, se han tenido diversos eventos y ha impulsado la colaboración de investigadores, estudiantes, organizaciones gubernamentales, así como empresas de diversas índoles. En este artículo, se describe un análisis detallado de la trayectoria del capítulo, sus principales contribuciones y el impacto que ha tenido en la comunidad científica y tecnológica de la región. Finalmente, se resaltan algunas oportunidades de colaboración con los miembros de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología aplicada Residuos Sólidos A.C.

Palabras clave: *percepción remota*, *GRSS*, *IEEE*, *IGARSS*, *Capítulo México*, *Sección Guadalajara*, *SOMERS*.

1. Introducción

Al finalizar la Conferencia Internacional titulada "2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Beyond the Frontiers: Expanding our Knowledge of the World" (IEEEXplore, 2011) llevada a cabo en el mes de julio de 2011 en la ciudad de Vancouver Canadá, la cual es el evento más importante realizado anualmente por la Sociedad de Geociencia y Percepción

Remota (GRSS, por sus siglas en inglés), (IEEE-GRSS, 2024), del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés), (IEEE, 2024), se llevó a cabo una discusión entre colegas del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). En tal discusión, se analizó la necesidad de desarrollar una vinculación adecuada entre académicos, centros de investigación y empresas enfocadas al desarrollo de tópicos de percepción remota a lo largo del territorio nacional.

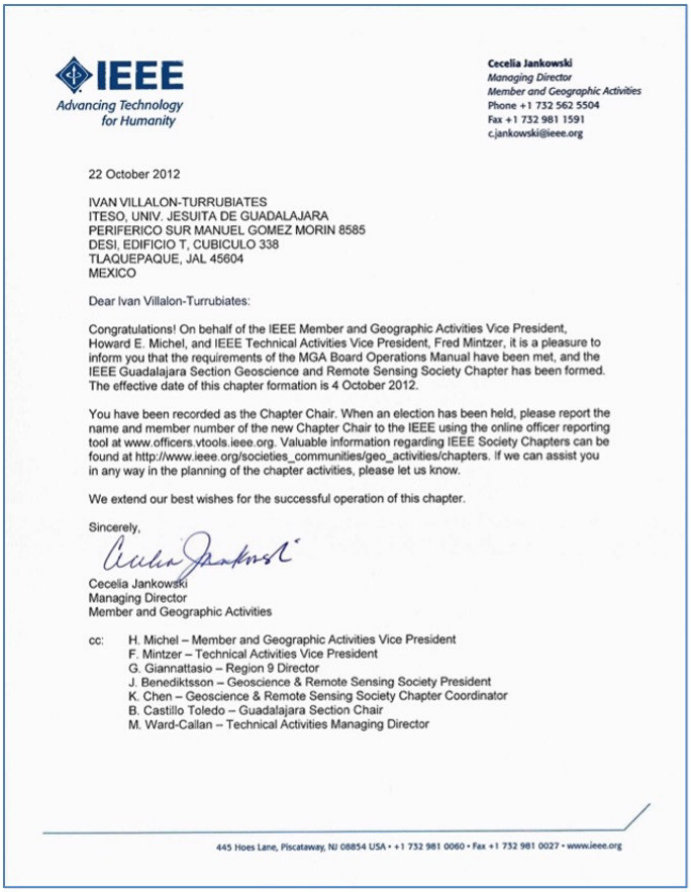
La creación de un Capítulo de GRSS en México ofrecería la oportunidad de colaborar entre distintos proyectos de investigación y desarrollo enfocados a la percepción remota, esto bajo el liderazgo de un grupo de profesionales en crecimiento que incluiría tanto miembros de la academia como de la industria. Bajo este objetivo en mente, se comenzó con la búsqueda de diversos actores a través de distintas universidades, centros de investigación y empresas, tanto de carácter público como privado, los cuales que estuvieran desarrollando estudios e innovaciones en dicha área de conocimiento en México. A partir de ello fue posible juntar a un grupo que incluía el mínimo requerido por IEEE para la formación de un Capítulo profesional (IEEE Member and Geographic Activities, 2024), y la solicitud formal se realizó. Uno de los requisitos es que la formación de un Capítulo profesional vaya respaldado por una Sección en el país que lo solicita, en este caso la Sección Guadalajara de IEEE estuvo a disposición para formalizar la solicitud.

El 22 de octubre de 2012 se recibió la carta de Cecelia Jankowski, Directora General de Actividades Geográficas y de Miembros (Managing Director of Member and Geographic Activities) de IEEE, quien informaba que los requerimientos indicados por el Manual de Operaciones de Actividades Geográficas y Miembros (MGA, por sus siglas en inglés) habían sido cumplidos, y de manera formal se autorizaba la formación del Capítulo de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota Sección Guadalajara (IEEE Guadalajara Section Geoscience and Remote Sensing Society Chapter). La fecha oficial de formación fue designada como el *4 de octubre de 2012*, con la denominación *GRS29* y el geocódigo *CH09422*. La Figura 1(a) muestra la carta recibida de parte de las autoridades del IEEE la cual llegó de manera digital, así como impresa por correo tradicional.

La visión que definieron los integrantes del Capítulo GRSS Sección Guadalajara, fue la de ofrecer la oportunidad de propiciar la colaboración entre la Industria, las Universidades y los Centros de Investigación dentro del territorio mexicano, que estén enfocados a los temas relacionados con las geociencias y la percepción remota. Durante el 2013 que se realizaron las primeras reuniones se alcanzó una cifra de 65 miembros (tanto de IEEE como de GRSS), localizados geográficamente en diversas zonas y, por consiguiente, pertenecientes a diversas Secciones de IEEE en México, desde el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) del IPN ubicado en la ciudad de La Paz (Baja California), hasta la Universidad Autónoma de Yucatán en Mérida.

2. Reunión inaugural

El 26 de febrero de 2013, la primera reunión oficial de los miembros del Capítulo GRSS se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Desarrollo Aeroespacial (CDA) del IPN ubicado en la



IEEE
Advancing Technology for Humanity

Cecelia Jankowski
Managing Director
Member and Geographic Activities
Phone +1 732 562 5504
Fax +1 732 981 1591
c.jankowski@ieee.org

22 October 2012

IVAN VILLALON-TURRUBIATES
ITESO, UNIV. JESUITA DE GUADALAJARA
PERIFERICO SUR MANUEL GOMEZ MORIN 8585
DESI, EDIFICIO T, CUBICULO 338
TLAQUEPAQUE, JAL 45604
MEXICO

Dear Ivan Villalon-Turrubiates:

Congratulations! On behalf of the IEEE Member and Geographic Activities Vice President, Howard E. Michel, and IEEE Technical Activities Vice President, Fred Mintzer, it is a pleasure to inform you that the requirements of the MGA Board Operations Manual have been met, and the IEEE Guadalajara Section Geoscience and Remote Sensing Society Chapter has been formed. The effective date of this chapter formation is 4 October 2012.

You have been recorded as the Chapter Chair. When an election has been held, please report the name and member number of the new Chapter Chair to the IEEE using the online officer reporting tool at www.officers.vtools.ieee.org. Valuable information regarding IEEE Society Chapters can be found at http://www.ieee.org/societies_communities/geo_activities/chapters. If we can assist you in any way in the planning of the chapter activities, please let us know.

We extend our best wishes for the successful operation of this chapter.

Sincerely,

Cecelia Jankowski
Managing Director
Member and Geographic Activities

cc: H. Michel – Member and Geographic Activities Vice President
F. Mintzer – Technical Activities Vice President
G. Giannattasio – Region 9 Director
J. Benediktsson – Geoscience & Remote Sensing Society President
K. Chen – Geoscience & Remote Sensing Society Chapter Coordinator
B. Castillo Toledo – Guadalajara Section Chair
M. Ward-Callan – Technical Activities Managing Director

445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854 USA • +1 732 981 0060 • Fax +1 732 981 0027 • www.ieee.org

(a)



(b)



(c)

Figura 1: (a) Carta de autorización de la formación del Capítulo GRSS Sección Guadalajara; (b) reunión de arranque del Capítulo GRSS; (c) Reunión con Melba Crawford, Presidenta Internacional de GRSS en 2013.

Delegación Cuauhtémoc de la ciudad de México. La lista de participantes en esta reunión incluyó a 22 miembros (IEEE y GRSS), todos ellos de diversas áreas del conocimiento (ingeniería, investigación, academia, social, entre otras) y de diversas partes del territorio mexicano. Durante esta sesión fue seleccionado el Comité Administrativo del Capíutlo, quedando conformado por el Dr. Iván Esteban Villalón Turrubiates (IEEE Senior Member, ITESO) como Presidente del Capítulo, el Dr. Alejandro Monsiváis Huertero (IEEE Senior Member, IPN) como Vicepresidente del Capítulo, el Dr. Ernesto Soto Galera (IEEE Member, Instituto Mexicano del Petróleo) como Secretario del Capítulo, y el Dr. Guillermo Martínez Flores (IEEE Member, IPN) como el Tesorero del Capítulo. La Figura 1(b) muestra una fotografía tomada durante la reunión.

3. Reuniones adicionales en 2013

Algunos miembros del Capítulo GRSS participaron en la Conferencia Internacional titulada "2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Building a Sustainable Earth through Remote Sensing" (IEEEXplore, 2013) llevada a cabo en el mes de julio de 2013, en la ciudad de Melbourne, Australia. En este simposium, tanto el Presidente como el Vicepresidente realizaron una presentación del Capítulo ante los representantes de todas las Secciones del mundo, quienes estuvieron presentes en el evento. Posteriormente, se reunieron con Melba Crawford, quien en ese momento fungía como Presidenta Internacional de GRSS.

La Figura 1(c) muestra una fotografía tomada durante la reunión, la cual constituyó una excelente oportunidad para presentar el trabajo que se estaba comenzando a desarrollar en México ante la comunidad científica internacional, reunida en esta conferencia. Asimismo, el foro sirvió para comenzar con diversas vinculaciones con los distintos Capítulos de diferentes países.

La segunda reunión formal del Capítulo, se llevó a cabo el 21 de agosto de 2013 en las instalaciones del Centro de Desarrollo Aeroespacial (CDA) del IPN, ubicado en la Delegación Cuauhtémoc de la ciudad de México. En esta ocasión la lista de participantes fue de 18 miembros, donde el tema central fue la definición del plan de trabajo para el resto del año 2013, así como para el 2014, donde se consideraron los puntos descritos a continuación.

a. La planeación de un curso enfocado en geomática y percepción remota, con la participación de oradores distinguidos del IEEE.

b. El arranque de la planeación del primer Foro Nacional de Investigación en Geomática y Percepción Remota, el cual aceptaría trabajos de diversos temas y tendría presentaciones tanto orales como en póster, y sería con el respaldo de GRSS para con ello poder publicar las memorias del evento en el portal IEEEXplore (IEEEXplore, 2024).

c. La propuesta de una sesión invitada para el IGARSS 2014 que se llevaría a cabo en la ciudad de Québec Canadá, y se enfocaría al desarrollo de investigación realizado en México.

La tercera reunión del año se llevó a cabo el 13 de noviembre de 2013, en las instalaciones del Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus Montecillo, ubicado en el municipio de Texcoco en el Estado de México, con la participación de 29 miembros. El objetivo de esta reunión fue la promoción de las actividades desarrolladas por el Capítulo, así como introducir el IEEE a un grupo de profesionales, académicos y estudiantes interesados en conocer más sobre el Instituto.

4. La investigación científica en México

Los Estados Unidos Mexicanos, comúnmente llamado México, está localizado en la parte sur de América del Norte, y es el sexto país más extenso territorialmente en el área continental de América, así como el dieciseisavo a nivel mundial. Para comprender la contribución que México realiza

a la comunidad científica internacional en relación con los tópicos de percepción remota, se contempla el estado actual de investigación y desarrollo realizado en el territorio mexicano.

4.1. Condiciones geográficas

México es un país de alrededor de dos millones de metros cuadrados de área con una población de más de 126 millones de personas, según el último censo (INEGI, 2020). Esto lo ubica en la posición 16 a nivel mundial en cuanto a área territorial. Desde el norte hasta el sur de su territorio es atravesado por dos áreas montañosas (Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental, respectivamente) cuyas extensiones son similares a las de las Montañas Rocosas de América del Norte. Desde el Este medio hasta el Oeste medio, el país es atravesado por un cinturón volcánico y una cuarta cadena montañosa se ubica hacia el suroeste. La mayor parte del territorio norte y central se localiza en grandes altitudes. El trópico de Cáncer divide de manera efectiva al país en dos zonas climáticas. La tierra ubicada al norte del paralelo 24 tiene condiciones climáticas más frescas durante los meses de invierno, sin embargo, al sur de ese paralelo la temperatura es más constante a lo largo del año y varía solamente dependiendo de la elevación correspondiente.

Todo ello hace que México sea uno de los países con mayor diversidad climática en el mundo, y además, es uno de los países con mayor biodiversidad (entre los primeros 18 del mundo), con alrededor de 200,000 especies. Todas estas cualidades sobre su geografía, topografía, clima, biodiversidad, y otras características físicas, presentan un enorme reto con una vasta diversidad en cuanto a temáticas de investigación que pueden ser desarrolladas a nivel industrial, en Universidades, o en Centros de Investigación presentes en el territorio mexicano.

4.2. Estadísticas de la investigación

De acuerdo con la información disponible a través del Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SIICYT, 2024) la cual es una herramienta de generación de reportes en línea desarrollada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT, 2024), la investigación científica desarrollada en México se ha incrementado en los últimos años, de un número aproximado de 7,000 publicaciones en total realizadas por investigadores mexicanos en revistas científicas indexadas en el 2005, a más de 14,000 en 2014 duplicando la cantidad y mostrando una tendencia a futuro. Los campos de investigación específicos que fueron considerados para este análisis son astrofísica, plantas y animales, ecología, agricultura, microbiología, física, geociencias, matemáticas, ingeniería, farmacología, inmunología, biología, materiales, química, biología molecular, neurociencias, ciencias de la computación, ciencias sociales, economía, psicología, medicina, y áreas multidisciplinarias como grupo. Para el área de las geociencias, ha habido un incremento en las publicaciones de 261 en 2005 a 375 en 2012, representando un incremento de 44% que sigue a la alza. Sin embargo, las cantidades de publicaciones son muy bajas en comparación con otras áreas, por ejemplo, las publicaciones en ingeniería han incrementado de 562 en 2005 a 836 en 2012. Los tópicos hacia los que se en-

focan las geociencias y la percepción remota han tenido un porcentaje bajo de participación en publicaciones en revistas indexadas. Durante el periodo de 2010 a 2014, la producción científica estuvo por debajo del 1.8% de las publicaciones totales. Sin embargo, el factor de impacto de las publicaciones en ese mismo periodo de tiempo fue en promedio de 5.01, lo cual está por encima del promedio del factor de impacto de todos los tópicos de investigación.

La participación de científicos mexicanos en la producción global para el área de geociencias es solo el 0.85% mientras que para el tópico de astrofísica se tuvo una participación del 1.97% lo que muestra que existe un área de oportunidad para incrementar los desarrollos científicos enfocados a las geociencias desarrollados dentro de la industria, las Universidades y los Centros de Investigación en el territorio nacional, aunque esto implica la necesidad de que estos centros de desarrollo tengan la disposición para que sus investigadores desarrollen temas relacionados con esta área del conocimiento ya que por el momento la oferta a nivel nacional es muy baja.

México está listado en el lugar número 22 de los países miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2024), en el tema de producción científica a nivel mundial se ubica con una participación 0.57% para el periodo de 2010 a 2014. En relación con los otros países de América Latina, México se ubica en segundo lugar de participación científica después de Brasil. El factor de impacto para ese periodo de tiempo es de 0.88 en promedio para todas las áreas de conocimiento, esto lo ubica en el lugar número 32 de los países miembros.

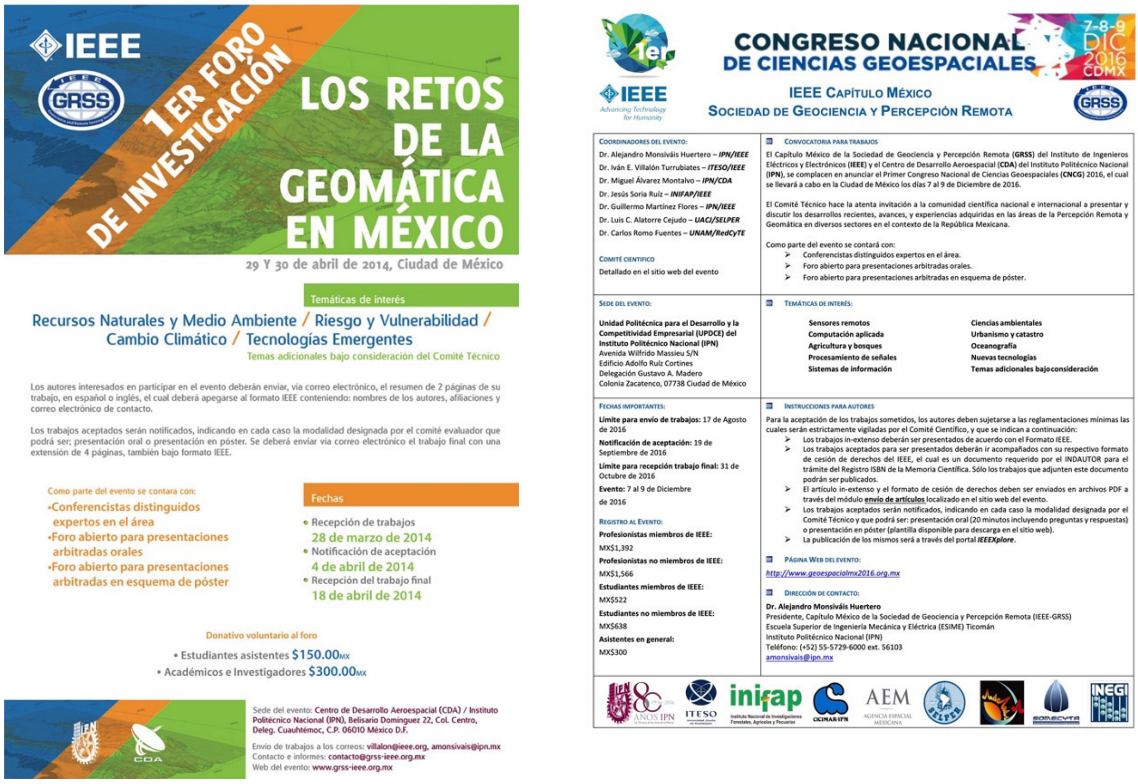
4.3. Visión a futuro

Realizando una búsqueda a través de la biblioteca digital de IEEE (IEEEXplore, 2024) usando las palabras clave “remote”, “sensing” y “Mexico”, y refinando la búsqueda para que solamente muestre las publicaciones en revistas científicas de los útlimos 5 años, los resultados muestran solamente 125 artículos publicados. Sin embargo, y como se mencionó anteriormente, el número de publicaciones científicas en este tópico del conocimiento se ha incrementado cada año para desarrollos realizados por mexicanos, debido a ello se puede ver un área de oportunidad que debe ser desarrollada para incrementar la participación del desarrollo científico en las geociencias y la percepción remota.

La colaboración entre investigadores mexicanos enfocados a las geociencias y a la percepción remota, y quienes trabajan en la industria o en la academia, ha sido un proceso complicado a lo largo de los años debido a la extensión territorial del país, la falta de comunicación y divulgación de la ciencia, la difusión de los resultados obtenidos por los proyectos de desarrollo, entre otras cosas. Sin embargo, la creación de grupos similares al Capítulo GRSS ha permitido una mayor vinculación así como la participación en diversos eventos como conferencias internacionales de alto impacto, publicaciones vinculadas en revistas indexadas, la creación de redes de investigación a lo largo del país, así como la colaboración en proyectos que son financiados por recursos federales del Gobierno.

4.4. Primeras actividades del capítulo

Desde el 2013 en el que comenzaron las actividades del Capítulo de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota de IEEE Sección Guadalajara, se han llevado a cabo un gran número de actividades, entre las que destacan las detalladas en las siguientes subsecciones.



(a) (b)

Figura 2: (a) Convocatoria para el 1er Foro de Investigación en 2014; (b) convocatoria para el Congreso Nacional de Ciencias Geoespaciales 2016

Eventos nacionales

Se realizaron dos eventos nacionales, los cuales son listados y comentados en la lista de abajo.

1. "1er Foro de Investigación: Los Retos de la Geomática en México", realizado el 29 y 30 de abril del 2014, en el Centro de Desarrollo Aeroespacial (CDA) del IPN, ubicado en la Delegación Cuauhtémoc de la ciudad de México, en el cual se realizaron presentaciones de diversos investigadores así como alumnos tanto de manera oral como a través de póster. La Figura 2(a) muestra la convocatoria que se distribuyó para este evento.

2. "2016 IEEE Congreso Nacional de Ciencias Geoespaciales", realizado del 7 al 9 de diciembre de 2016 en las instalaciones de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

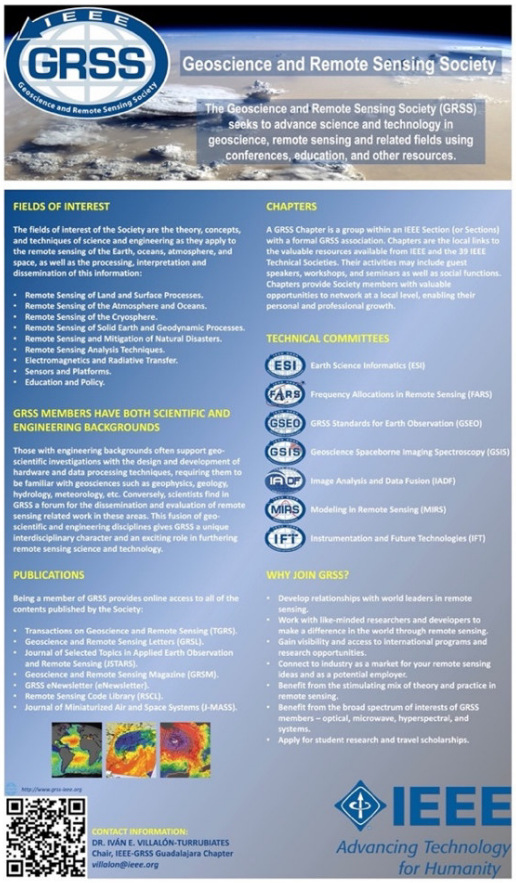
(ESIME) del IPN. Las memorias de este evento fueron publicadas por medio de 11 trabajos en la librería digital de IEEE con el ISBN 978-1-5386-1863-9 y el número de catálogo IEEE CFP16MWX-ART (CNCG, 2016). La Figura 2(b) muestra la convocatoria que se distribuyó para este evento, y la Figura 3(a) muestra una fotografía de la ceremonia de inauguración del evento con la presencia del Dr. Teófilo J. Ramos González (Presidente Regional Electo de IEEE para América Latina, 2016), el Dr. Enrique Fernández Faschnat (Director General del IPN, 2016), el Dr. Alejandro Monsiváis Huertero (Presidente del Congreso y Presidente de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota de la IEEE 2016), así como el Dr. Iván Esteban Villalón Turrubiates (Primer Presidente de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota de la IEEE 2016), entre otras autoridades.



(a)



(b)



(c)

Figura 3: (a) Ceremonia de inauguración del CNCG en 2016; (b) Placa otorgada al Capítulo por la IEEE-GRSS Internacional; (c) Póster de divulgación del Capítulo GRSS Sección Guadalajara.

Actividades de vinculación

La vinculación del Capítulo profesional, ha sido uno de los ejes principales en las actividades realizadas anualmente. Así, se ha fortalecido la colaboración entre universidades y empresas, lo cual ha convergido en reconocimientos por parte de la GRSS del IEEE. Muestra de ello es la placa que la IEEE Geoscience and Remote Sensing Society otorgó en julio de 2016 al Capítulo de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota de IEEE Sección Guadalajara por sus trabajos y la vinculación desarrollada durante sus primeros años de vida (ver la Figura 3(b)).

En la Figura 3(c), se muestra el póster que fue preparado con motivos de divulgación de la Sociedad, y que se ha empleado en diversas actividades desarrolladas por la Sección Guadalajara de IEEE, en colaboración con el Capítulo profesional.

Participaciones en IGARSS

El Capítulo de la Sociedad de Geociencia y Percepción Remota de IEEE Sección Guadalajara ha participado en la "IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)" de manera ininterrumpida desde su creación en 2012, por medio de las siguientes listadas a continuación.

1. "2012 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Remote Sensing for a Dynamic Earth", llevada a cabo en julio de 2012 en Múnich (Alemania) con la presentación de 5 trabajos de investigación. Se organizó una sesión invitada con el título "New Trends in Multimode and Multispectral Remote Sensing Data Processing" con la participación de diversos investigadores de América Latina.

2. "2013 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Building a Sustainable Earth through Remote Sensing", llevada a cabo en julio de 2013 en Melbourne (Australia) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

3. "2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Energy and our Changing Planet", llevada a cabo en julio de 2014 en Québec (Canadá) con la presentación de 5 trabajos de investigación. Se organizó una sesión invitada con el título "Emerging Trends and Challenges of Remote Sensing in Mexico" con la participación de diversos investigadores de México. La Figura4(a) muestra a algunos de los miembros del Capítulo durante la sesión invitada que se organizó en el evento. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

4. "2015 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Understanding the Earth for a Safer World", llevada a cabo en julio de 2015 en Milán (Italia) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4: (a) Participantes del Capítulo en la Sesión Invitada del IGARSS 2014; (b) participantes del Capítulo en la Sesión Invitada del IGARSS 2016; (c) participantes del Capítulo en la Sesión Invitada del IGARSS 2017; (d) participación en la Sesión "Women in Engineering" del IGARSS 2017.

5. "2016 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Advancing the Understanding of Our Living Planet", llevada a cabo en julio de 2016 en Pekín (China) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Se organizó una sesión invitada con el título "Contributing to the Understanding of Our Planet through Remote Sensing: A Mexican perspective" con la participación de diversos investigadores de México. La Figura 4(b) muestra a algunos de los miembros del Capítulo durante la sesión invitada que se organizó en el evento. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

6. "2017 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): International Cooperation for Global Awareness", llevada a cabo en julio de 2017 en Forth Worth Texas (Estados Unidos de América) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Se organizó una sesión invitada con el título "Latin America Activities in Remote Sensing" con la participación

de diversos investigadores de América Latina. La Figura 4(c) muestra a algunos de los miembros del Capítulo durante la sesión invitada que se organizó en el evento. La Figura 4(d) muestra a los participantes como panelistas en el evento "Women in Engineering" dentro de la Conferencia en el que el Capítulo tuvo participación. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

7. "2018 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Observing, Understanding and Forecasting the Dynamics of our Planet", llevada a cabo en julio de 2018 en Valencia (España) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

8. "2019 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Disasters and Environment", llevada a cabo en julio de 2019 en Yokohama (Japón) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

9. "2020 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Global Perpectives for Local Solutions", llevada a cabo en julio de 2020 en Waikoloa Hawái (Estados Unidos de América) con la presentación de 5 trabajos de investigación. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

10. "2021 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)", llevada a cabo en julio de 2021 en Bruselas (Bélgica) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Se organizó una sesión invitada con el título "Remote Sensing of Natural Hazards in Latin America" con la participación de diversos investigadores de América Latina. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

11. "2022 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Preserving our Heritage, Enabling our Future through Remote Sensing", llevada a cabo en julio de 2022 en Kuala Lumpur (Malasia) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Se organizó una sesión invitada con el título "Research Advances of Remote Sensing through Latin America" con la participación de diversos investigadores de América Latina. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia.

12. "2023 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)", llevada a cabo en julio de 2023 en Pasadena California (Estados Unidos de América) con la presentación de 3 trabajos de investigación. Se organizó una sesión invitada con el título "Honoring Dr. Yuriy Shkvarko: Trends and Advances of Remote Sensing Research in Mexico" con la participación de diversos investigadores de México. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia. La Figura 7 muestra a algunos de los miembros del Capítulo durante las sesiones de la conferencia.

13. “2024 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): Acting for Sustainability and Resilience”, llevada a cabo en julio de 2024 en Atenas (Grecia) con la presentación de 5 trabajos de investigación. Además, se participó en la reunión internacional de Capítulos GRSS presentando el reporte anual previo a la Conferencia. La Figura 7 muestra al Presidente actual del Capítulo GRSS Sección Guadalajara durante una sesión de la conferencia.



(a) (b)

Figura 5: (a) Participantes del Capítulo en la sesión invitada del IGARSS 2023; (b) Participación del Capítulo en el IGARSS 2024.

Actividades adicionales

Aunado a las actividades ya mencionadas, se han realizado diversas actividades como las que se enumeran a continuación.

1. Reuniones ordinarias de los miembros del Capítulo de Geociencias y Percepción Remota (GRSS) Sección Guadalajara, se han realizado al menos tres reuniones por año (presenciales y/o virtuales) desde su formación.

2. Publicación de una introducción del Capítulo en la “IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine” titulada “Introduction of the IEEE Guadalajara Section, Geoscience and Remote Sensing Society Chapter” en junio de 2014 (GRSM, 2014).

3. Co-organización del “1er Simposio de Tópicos Prioritarios de Investigación” organizado por el Colegio de Posgraduados campus Montecillo el 25 de marzo de 2015.

4. Organización de una sesión invitada en la “Reunión Nacional de la Unión Geofísica Mexicana (UGM)” con la presentación de 8 trabajos orales y 6 pósters, realizada en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco, el 6 de noviembre de 2015.

5. Participación con un trabajo de investigación en la “8th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images” realizada del 22 al 24 de julio de 2015 en Annecy (Francia), fue un evento co-organizado por la GRSS.

6. Algunos miembros del Capítulo de Geociencias y Percepción Remota (GRSS) Sección Guadalajara participaron como editores invitados de la revista “IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing (JSTARS): Special Issue on Applied Earth Observation and Remote Sensing in Latin America”, volumen 9, número 12, diciembre de 2016. Es una revista científica con ISSN 1939-1404 (impreso) y 2151-1535 (en línea) y factor de impacto JCR de 3.827 en 2016 (JSTARS, 2016).

7. Participación en el “GRSS ChapNet” el cual fue un medio de colaboración entre los Capítulos GRSS de Chile, Guadalajara (México), Bogotá (Colombia) y Brasil bajo el liderazgo del Capítulo Metro de Los Ángeles California (Estados Unidos de América) con el objetivo de crear vinculaciones entre las actividades de los diversos grupos en América Latina principalmente, se realizó durante el 2018.

8. Se organizó la conferencia "Percepción Remota: Soluciones enfocadas a Sistemas Mecatrónicos"para los alumnos del Centro Universitario de los Valles (CUValles) de la Universidad de Guadalajara (UDG), impartida por el Dr. Iván Esteban Villalón Turrubiates el 7 de febrero de 2014. La Figura 6(a) muestra la publicidad generada para el evento.

9. Se organizó la conferencia “Microwave Remote Sensing in Agriculture” en coordinación con la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del IPN, donde se tuvo la presencia de la Dra. Jasmeet Judge quien es Directora del Centro de Percepción Remota de la Universidad de Florida, se transmitió vía Zoom con la participación de académicos y estudiantes de varias partes de la República, el 20 de marzo de 2024. La Figura 6(b) muestra la publicidad generada para el evento, y la Figura 6(c) muestra a algunos de los miembros del Capítulo durante el evento.

10. Se formalizó el Capítulo Estudiantil IEEE-GRSS en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI) de la Universidad de Guadalajara (UDG) el 3 de junio de 2024. La Figura 6(d) muestra a los integrantes de la Rama Estudiantil que conformaron el Capítulo.

11. El Capítulo de Geociencias y Percepción Remota (GRSS) Sección Guadalajara ha recibido cada año una cantidad económica de parte de IEEE para poder realizar actividades, cabe resaltar que es el Capítulo al interior de la Sección Guadalajara que más recursos (rebates) recibe cada año.

5. Oportunidades de colaboración

Gracias a la colaboración de la SOMERS y el Capítulo de la GRSS en la Sección Guadalajara del IEEE, el Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos, junto con la XXI reunión del Capítulo, dejó patente la posibilidad de colaboración generada en los últimos años. Las técnicas de



Figura 6: (a) Conferencia en CUValles 2024; (b) conferencia en ESIME-IPN 2024; (c) participantes en la Conferencia organizada en el ESIME-IPN en 2024; (d) Capítulo Estudiantil IEEE-GRSS formalizado en CUCEI en 2024.

percepción remota, utilizando imágenes aéreas y satelitales, tienen amplias posibilidades de aplicación en la detección, monitoreo y análisis de los residuos sólidos. Como muestra, se realizó una búsqueda por año en la base de datos IEEEXplore, durante los últimos 10 años, con las palabras clave “remote sensing” y “solid waste”. Entre las 42 publicaciones encontradas en su conjunto, las contribuciones cubren temas variados que van desde estudios sobre la actividad humana y crecimiento poblacional en zonas urbanas como el descrito por Mendiratta & Gedam (2015), hasta el estudio de técnicas muy específicas para la aumentación de datos para la detección de residuos sólidos en imágenes de percepción remota (Xu et al., 2022). Esto revela que los intereses de las comunidades de residuos sólidos, y la de percepción remota, convergen en el punto en el que se establecen líneas de colaboración.

Como se puede observar en la Figura 7, los resultados muestran un continuo interés de la comunidad científica que se dedica a la percepción remota, por abordar temas de residuos sólidos.



Figura 7: Publicaciones de percepción remota aplicada a residuos sólidos disponibles en IEEEXplore, para los últimos 10 años

Y aunque las áreas de trabajo son variadas, aún quedan abiertas múltiples líneas de acción con instituciones de diversas áreas.

6. Conclusiones

Tras los años desde la formación del Capítulo de Geociencias y Percepción Remota (GRSS) Sección Guadalajara, el objetivo continúa siendo el crecimiento del mismo a través de sus miembros y de las actividades que desarrolla, con la esperanza de mantener un grupo de estudiantes, profesionales e investigadores motivados y con impulso para seguir desarrollando este campo del conocimiento. Además, se mantiene la visión y responsabilidad para crear vínculos con otros investigadores, académicos, estudiantes, industriales, y miembros en general de IEEE que desarrollen trabajos en las Geociencias y la percepción remota. Se pretende coordinar actividades tanto a nivel nacional (logrando una consolidación de un grupo de investigación de diversas partes del territorio mexicano) como a nivel internacional (a través de los diversos Capítulos presentes en diversos países), promoviendo los desarrollos realizados no solamente en México, sino en América Latina, y manteniendo vinculaciones con los grupos de afinidad de IEEE como mujeres en la ingeniería (IEEE Women in Engineering) y profesionales jóvenes (IEEE Young Professionals).

El Capítulo de Geociencias y Percepción Remota (GRSS) Sección Guadalajara tiene el compromiso de crecer y evolucionar, buscando miembros no solamente de la región sino a lo largo del territorio mexicano, involucrando tanto a la industria como a la academia. Se pretende trabajar en colaboración y promover los valores de IEEE en todo momento, así como la colaboración con instituciones y organizaciones a lo largo del país. A partir del 2024 el Dr. Miguel Ángel de la Torre Gómora del Centro Universitario de los Valles (CUValles) de la Universidad de Guadalajara (UDG) ha tomado el liderazgo del Capítulo GRSS Sección Guadalajara, apoyado por el Dr. Yehoshua Aguilar Molina (de la misma institución) como Presidente de la Sección Guadalajara de IEEE para el periodo de 2023 a 2024.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen al IEEE, a la GRSS, así como a IEEE Consejo México y a la Sección Guadalajara de IEEE por todo el apoyo que se ha recibido en las diversas actividades realizadas a lo largo de estos años. Igualmente, un agradecimiento a la Universidad de Guadalajara (UDG), al Instituto Politécnico Nacional (IPN) y al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) por las facilidades y el apoyo que siempre han brindado para llevar a buen término cada actividad que se ha desarrollado. Finalmente, los autores reconocen y agradecen la colaboración de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos (SOMERS), así como su labor incansable por los trabajos .

Referencias bibliográficas

[1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

[2] CNCG. (2016). *Memorias del 2016 IEEE 1er Congreso Nacional de Ciencias Geoespaciales (CNCG)*. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Recuperado de https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/7985009/proceeding

[3] CONAHCYT. (2024). *Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología*. Recuperado de http://www.conahcyt.gob.mx

[4] GRSM. (Junio de 2014). *Introduction of the IEEE Guadalajara Section Geoscience and Remote Sensing Society Chapter*. Recuperado de IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine: https://ieeexplore.ieee.org/document/6841713

[5] IEEE. (2024). *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. Recuperado de https://www.ieee.org

[6] IEEE Member and Geographic Activities. (2024). *IEEE Member and Geographic Activities*. Recuperado de https://mga.ieee.org/volunteer-hub/geographic-unit-operations/formations-and-petitions#chapter

[7] IEEE-GRSS. (2024). *Geoscience and Remote Sensing Society (GRSS)*. Recuperado de https://www.grss-ieee.org

[8] IEEEXplore. (2011). *Memorias de 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Recuperado de https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/6034618/proceeding

[9] IEEEXplore. (2013). *Memorias del 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Recuperado de https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/6704876/proceeding

[10] IEEEXplore. (2024). *IEEEXplore Digital Library*. Recuperado de https://ieeexplore.ieee.org

[11] JSTARS. (Diciembre de 2016). *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing (JSTARS): Special Issue on Applied Earth Observation and Remote Sensing in Latin America*. Recuperado de https://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=7769273&punumber=4609443

[12] OCDE. (2024). *Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico*. Recuperado de http://www.oecd.org

[13] SIICYT. (2024). *Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación*. Recuperado de http://www.siicyt.gob.mx

[14] P. Mendiratta y S. Gedam (2015). *Observing morphological changes in natural land form through archived satellite images: Case study of the Thane Creek*, 2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD), Mumbai, India, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICTSD.2015.7095871.

[15] Xiong Xu et al. (2022). *A Data Augmentation Strategy Combining a Modified pix2pix Model and the Copy-Paste Operator for Solid Waste Detection With Remote Sensing Images*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 15, pp. 8484-8491, 2022, doi: 10.1109/JSTARS.2022.3209967.

Estudio sobre la relación entre variables climatológicas y cobertura de nubes: Efectos en el cambio climático en la cuenca Amazónica de Bolivia

Omar Hernández-Calvario[1], Sofia Oliver-Concepción[1], Juan Pablo Rivera-Caicedo[2], Himer Avila-George[1], Paula Cecilia Soto-Rios[3], Brenda Acevedo-Juárez[*,1]

[1]Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara, Ameca, 46600 Jalisco, México.
[2]CONACYT-UAN Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, 63000 Nayarit, México.
[3] Unidad de Posgrado Carrera de Ingeniería Química, Universidad Mayor de San Andrés, Av. Mariscal Santa Cruz 1175, La Paz, Bolivia.

[*]Correo electrónico: brenda.acavedo@academicos.udg.mx

Resumen
Bolivia cuenta con gran riqueza natural y una extensa cultura indigena. El cambio climático en esta región ha provocado lluvias torrenciales, sequías prolongadas, temperaturas extremas y pérdidas económicas en consecuencia los procesos migratorios han aumentado en las últimas décadas. En esta investigación se pretende determinar si existe una relación entre las variables climatológicas: temperatura máxima, humedad relativa y la precipitación con la cobertura de nubes usando imágenes de la misión Landsat y datos obtenidos de estaciones meteorológicas en una serie temporal del año 2000 al 2020.

Palabras clave: *Cambio climático*, *cobertura de nubes*, *Landsat*, *estaciones meteorológicas*

1. Introducción

El cambio climático se trata de un cambio discontinuo masivo que provoca cambios en la temperatura media mundial, alteraciones en los patrones de precipitaciones y la aparición de fenómenos meteorológicos extremos (Díaz Tautiva, et al. 2024, Adelekan, et al. 2022). Las emisiones de contaminantes cambian la composición atmosférica, a través de los compuestos climáticos químicamente activos, contribuyendo al cambio climático (Isaksen et al. 2009), estos sucesos ponen en peligro la seguridad alimentaria de una población creciente, y en riesgo de extinción a diversas especies vulnerables a estos cambios del medio ambiente, sobre todo la vida oceánica (Gulseven, 2020).

El papel de las nubes en el clima consiste en ser el sistema regulador del balance de radiación a escala regional y planetaria (Kebio, et al. 2019). Las nubes también tienen un efecto importante en

la dinámica y la estructura de los sistemas meteorológicos, como la distribución de las precipitaciones y la circulación tropical y extratropical (Mendoza et al. 2021). El régimen de la cobertura de nubes, además de los aspectos del tiempo, el clima local y regional, se ve afectada por los cambios en la cobertura terrestre. Si se ven afectadas áreas suficientemente grandes, entonces los cambios en el clima ocurren no solo a nivel local, sino también en regiones alejadas de la modificación original del paisaje (Mahmood, et al 2013).

Estudios de la cobertura de nubes se han llevado a cabo desde hace décadas atrás (Norris, 1999, Hirakata, 2014, Kebiao, et. al. 2019), empleando diferentes métodos de estudio, tales como observaciones sinópticas y percepción remota, empleando sensores como CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization), CPR (Cloud Profiling Radar) y MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Los resultados de estos estudios han demostrado un incremento en la cobertura de las nubes (Hirakata et al. 2014). Norris, et al. (1999) estudian la cobertura de nubes en el periodo de 1952 a 1995, concluyen que está incrementó el 3.6% en el área oceánica, mientras que en el área terrestre disminuyó. Además se observó una tendencia en el incremento de cobertura de nubes en el hemisferio sur. Del 2003 a 2012, la cobertura nubosa global aumentó durante esa década (Kebiao, et. al. 2019). Mientras que Hirakata et al. (2014) demuestran que la frecuencia media anual de aparición de nubes por debajo de los tres kilómetros es mayor en el océano que sobre la tierra.

La reducción de las precipitaciones está dentro de la variabilidad natural, las consecuencias de la sequía se están volviendo más severas debido al fuerte aumento del calor extremo. La frecuencia de las sequías y las olas de calor han aumentado durante el último siglo a escala global debido a la influencia humana y esta tendencia continuará con el aumento de los niveles de calentamiento global (Change, 2023).

América Central y del Sur en las últimas seis décadas ha sufrido condiciones de sequía y olas de calor. Arias et al. (2023) menciona que en los últimos 4 meses del año 2022 América Central y del Sur solo recibió el 44% de la precipitación total promedio. La escasez de precipitaciones durante los meses de octubre, noviembre, diciembre fue altamente correlacionado con el índice Niño 3.4, sus descubrimientos indican ausencia de precipitación sobre la misma región cuando el índice Niño 3.4, está en su fase Niña. Sus efectos impactan en los sectores agrícola e hidrológico, en la economía y en la sociedad regional. Bolivia también experimentó graves impactos de sequía durante el año 2022, con casi 180 municipios afectados por escasez de precipitaciones que amenazó la seguridad alimentaria. Los aspectos que influyen en la escasez de las precipitaciones y en el aumento de las sequías es la alteración de los patrones de transporte de humedad atmosférica en asociación con los cambios de uso del suelo, el estrés térmico, la mortalidad de los árboles, la reducción de la humedad atmosférica transportada desde la Amazonia meridional es un contribuyente importante a los déficits de precipitación durante los eventos de sequía.

Bolivia se localiza en el centro de América del Sur, su extensión territorial es de 1.098.581 km2limita al norte y este con Brasil, al sur con Argentina, al oeste con Perú, al sudeste con Paraguay y al sudoeste con Chile. Bolivia cuenta con una gran riqueza natural y una amplia cultura indígena.

El análisis hidrométrico de Bolivia del 2023 (MMAyA. 2016), presenta que está compuesto por tres macrocuencas: Endorreica, Amazónica y de La Plata. Estas a su vez se subdividen en cinco niveles que representan el máximo grado de desagregación en subcuencas. El conjunto de cuencas a su vez están constituidas por 270 ríos principales, 184 lagos y lagunas, unos 260 humedales, pequeños y medianos, y dos salares.

Las estaciones meteorológicas son una importante herramienta en la generación de datos, tales como temperatura atmosférica, precipitación, radiación, humedad, velocidad del viento, para la interpretación de los efectos que pueden causar las actividades antropogénicas sobre el clima (OMM, 2024). Mientras que la misión Landsat provee el sensor generador de imágenes terrestres operacional (por sus siglas en inglés, OLI), sensor infrarrojo térmico (por sus siglas en inglés, TIRS), la banda de calidad es una imagen que tiene valores de números enteros en cada píxel con la mismas dimensiones que la escena original estos valores pueden ser clasificados por el algoritmo CFMask como relleno, nieve, nube, sombra, agua, claro. Las características de Landsat permiten capturar imágenes sobre un territorio con una resolución que varía en diferentes bandas desde 15, 30 metros por píxel hasta 100 metros en el infrarrojo de onda larga.

El algoritmo de Deformación Temporal Dinámica (por sus siglas en inglés, DTW) es empleado para evaluar la similitud entre dos secuencias de series temporales que pueden variar en tiempo y espacio. La similitud se calcula por medio de la distancia a partir de la coincidencia de elementos similares entre series temporales. Utiliza la técnica de programación dinámica para encontrar la coincidencia óptima entre elementos de dos series aplicando una función que mide la diferencia entre los valores de las secuencias, la coincidencia óptima depende de una función de costo lo más baja posible.

En este trabajo se pretende estudiar la relación entre datos climatológicos obtenidos de estaciones meteorológicas con la cobertura de nubes obtenidas de la misión satelital Landsat en una serie temporal comprendida entre el año 2000 al 2020 para observar cambios en los patrones de precipitaciones que se asocien con el cambio climático sobre la cuenca Amazónica de Bolivia.

2. Materiales y métodos

En esta investigación se propone una metodología de cuatro etapas. La primera de ellas consistió en definir el área de estudio, para el caso de estudio se consideró la Cuenca del Amazonas y sus subcuencas Río Mapiri-Coroico y Río Mapiri La Paz Boopi y la Cuenca del Altiplano y su subcuenca Lago Titicaca de Bolivia. En la segunda etapa se identificaron las estaciones meteorológicas de la zona y se revisó la disponibilidad de los datos existentes: temperatura máxima, humedad relativa y precipitación en el periodo de estudio, incluyendo sólo aquellas que los proporcionarán. Para la obtención de los datos satelitales en la etapa tres se utilizó la misión LandSat para obtener una serie temporal de cobertura de nubes comprendida entre los años 2000 al 2020 mediante la banda de calidad presente en cada imagen satelital. En la etapa cuatro, se analizaron los datos en busca de cambios en los patrones de precipitaciones, y la similitud existente entre las variables climato-

lógicas y la cobertura de nubes empleando el algoritmo DTW para cada estación meteorológica en la serie temporal definida.

2.1. Zona de estudio

El área de estudio comprende parte de dos cuencas hidrológicas: Cuenca del Amazonas y la Cuenca del Altiplano ubicadas en la región noroeste de Bolivia. La Cuenca del Amazonas es considerada la mayor cuenca hidrográfica del mundo, comprende el 65% del territorio de Bolivia, con una superficie de 7.800.000 km². La Cuenca del Altiplano cubre un 13% del territorio de Bolivia esto equivale a 145.081 km².

2.2. Adquisición y procesamiento de variables meteorológicas

Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la base de datos del Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología del Estado Plurinacional de Bolivia. Las estaciones meteorológicas disponibles dentro del área de estudio fueron analizadas y depuradas, incluyendo sólo aquellas que registraron información de las variables climatológicas: temperatura máxima, humedad relativa media y precipitación entre los años 2000 al 2020.

2.3. Adquisición y procesamiento de datos satelitales

Se realizó la adquisición y procesamiento de las imágenes satelitales de la misión LandSat para obtener una serie temporal de cobertura de nubes comprendida entre los años 2000 al 2020 mediante la banda de calidad presente en cada imagen satelital.

2.4. Procesamiento del algoritmo de DTW

El procesamiento de los datos con el algoritmo DTW consta de la siguiente secuencia de pasos:

1. Aplicar proceso para normalizar los datos de las variables climatológicas. La normalización de los datos se realizó identificando valores atípicos y faltantes de cada conjunto de datos. La detección de los valores atípicos para cada mes se realiza por medio de rangos intercuartiles con un k=1.5 con un valor inferior de 25 y superior de 75, los valores atípicos son reemplazados por la media climatológica que esta es calculada quitando los datos atípicos y promediando los datos para cada mes en cada estación meteorológica.
2. Unión los datos de las variables climatológicas y la cobertura de nubes de cada estación meteorológica.
3. Análisis del comportamiento de las variables en la serie original, anomalías y la climatología en toda la serie temporal para cada estación meteorológica
4. Finalmente con el algoritmo DTW muestra la similitud existente entre las variables climatológicas y la cobertura de nubes en toda la serie temporal para cada estación meteorológica

3. Resultados y discusión

3.1. Zona de estudio

Las actividades antropogénicas en Bolivia se dan en tres áreas urbanas más importantes La Paz, Cochabamba y Santa Cruz de la Sierra albergan el 46 % de la población (Gobierno Municipal de la Paz, 2024), constituyen también el territorio cultural indígena de Bolivia (Romero, C., & Albó, X. (2009), el Lago Titicaca es el principal lago de Bolivia, se encuentran ubicados dentro de la Cuenca del Amazonas (subcuencas Río Mapiri-Coroico y Río Mapiri La Paz Boopi) y Cuenca del Altiplano (la subcuenca Lago Titicaca), ver Figura 1.

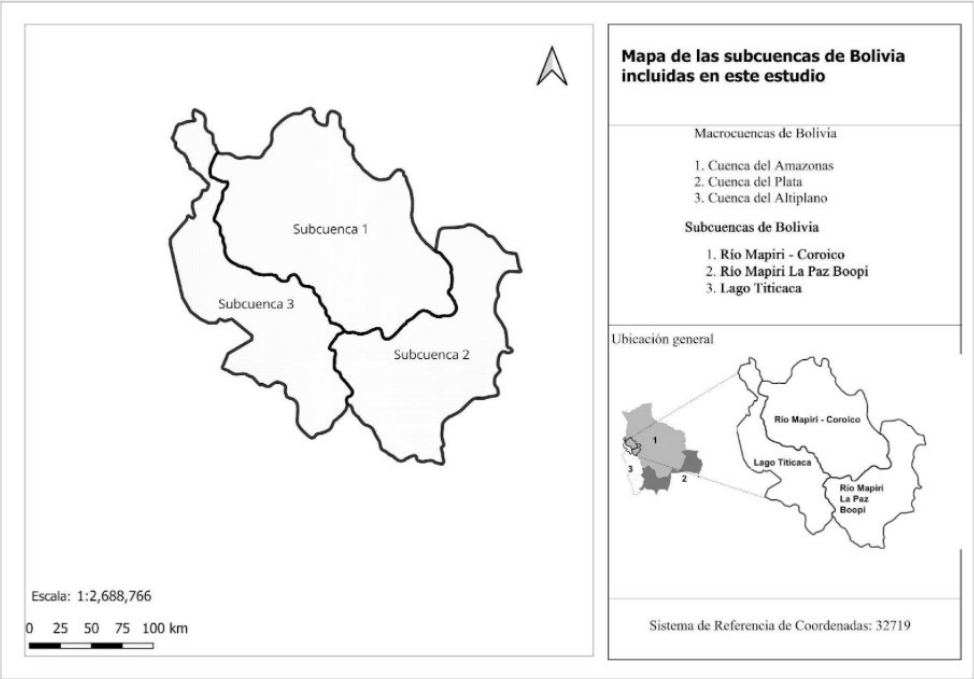


Figura 1: Mapa de la zona de estudio.

Conocer el relieve que presenta la zona de estudio es importante, permite observar las vías de escorrentía que pueden tener las precipitaciones. El relieve que se presenta en el área de estudio es muy variado, se tiene zonas con una altitud superior a los 4,000 msnm pertenecientes a la Cordillera de los Andes. El lago Titicaca se ubica al oeste de Bolivia, con una altitud promedio de 3,812 msnm y una superficie aproximada de 8,490 km² y una profundidad máxima de 281 metros. Al noreste se encuentra la Amazonia Boliviana donde encontramos la altitud más baja, en esta región conviven pueblos indígenas y se cuenta con gran variedad de recursos naturales. La Figura 2 muestra el modelo digital de elevación donde se puede apreciar el relieve del área de estudio.

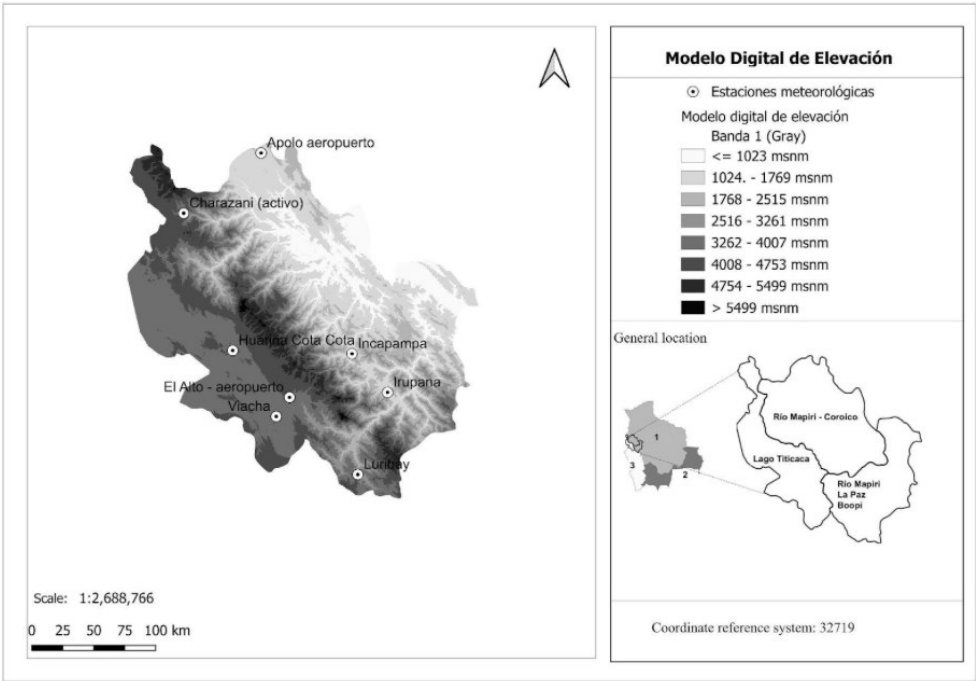


Figura 2: Modelo digital de elevación del área de estudio.

3.2. Adquisición y procesamiento de variables meteorológicas

En el área de estudio se cuenta con ocho estaciones meteorológicas disponibles: El Alto - aeropuerto, Apolo aeropuerto, Charazani (activo), Huarina Cota Cota, Incapampa, Irupana, Luribay, Viacha en la Figura 3, se muestra la ubicación de cada estación meteorológica.

Cada estación meteorológica está ubicada a diferente altitud en la Tabla 1 se puede apreciar estas características.

Tabla 1: Altitud de las estaciones meteorológicas

Estación	**Altitud (msnm)**
El Alto - aeropuerto	4135
Viacha	3873
Huarina Cota Cota	3838
Charazani (activo)	3650
Luribay	2564
Irupana	1946
Incapampa	1860
Apolo - aeropuerto	1406

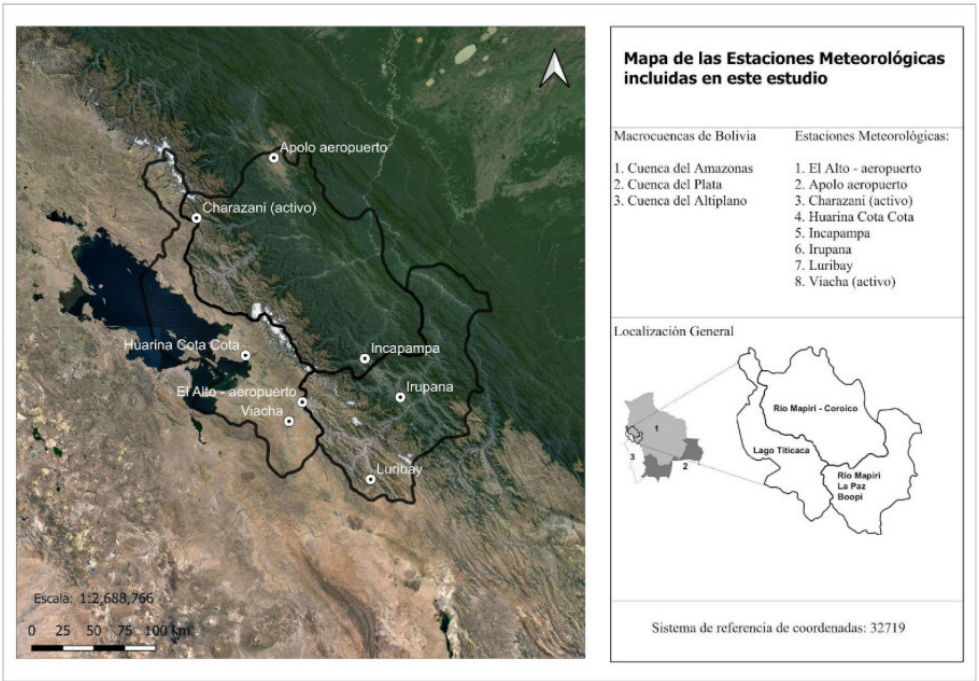


Figura 3: Mapa de las estaciones meteorológicas

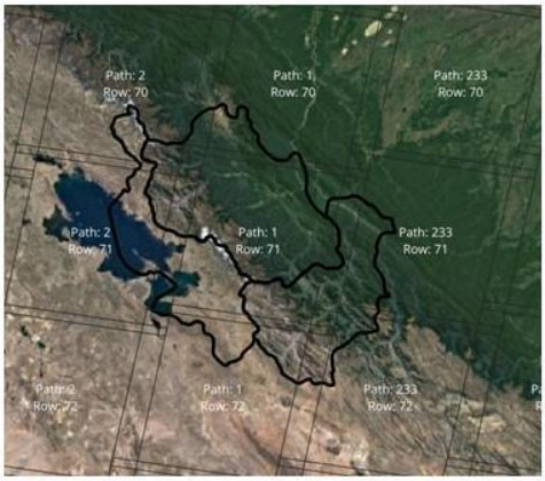
Tabla 2: Datos disponibles de cada estación meteorológica en la serie temporal

Estación	Inicia	Termina	Temperatura	Precipitación	Humedad relativa
Luribay	2000	2020	✓	✓	×
El Alto Aeropuerto 2	2000	2019	✓	✓	✓
Irupana	2000	2019	✓	✓	×
Incapampa	2004	2020	✓	✓	×
Viacha	2000	2015	✓	✓	✓
Huarina Cota Cota	2000	2010	✓	✓	✓
Apolo Aeropuerto	2000	2005	✓	✓	✓
Charazani	2012	2018	✓	✓	✓

Las estaciones meteorológicas pueden iniciar o cerrar un ciclo de vida útil en el lapso de la serie temporal propuesta dejando pérdida de datos de alguna variable meteorológica específica o cierre total del servicio, esta información se puede ver la Tabla 2, la estación meteorológica El Alto Aeropuerto tiene datos de la precipitación, humedad relativa y temperatura del año 2000 al 2019 es la estación meteorológica que cubre la mayor parte de la serie temporal.

3.3. Adquisición y procesamiento de datos satelitales

Las imágenes fueron adquiridas de la misión Landsat, para cubrir el área de estudio se requieren 7 escenas como se aprecia en la Figura 4, para cada mes se realizó la descarga de la banda de calidad para cada escena. La banda de calidad es una imagen que tiene valores de números enteros en cada píxel con las mismas dimensiones que la escena original. Para interpretar el número entero de cada píxel es necesario hacer la conversión a su respectivo valor binario donde los bits del 0-7 son bits simples que representa la categoría a la que pertenece el objeto y puede ser relleno, nieve, nube, sombra, agua, claro. Del bit 8-15 representa el nivel de confianza del algoritmo de detección (CFMask). El análisis de los píxeles de cada imagen se realiza con el número entero en formato binario de cada píxel (de izquierda a derecha), si el bit cuatro está encendido representa una nube.



Número	Path	Row
1	002	070
2	002	071
3	001	070
4	001	071
5	001	072
6	233	071
7	233	072

Figura 4: Escenas satelitales para el área de estudio

La cobertura de nubes es calculada para todas las estaciones meteorológicas para cada mes de cada año de toda la serie temporal. Para las estaciones meteorológicas se les asignó una área de cobertura de 4 km (buffer) considerando un valor promedio de cobertura de los sensores de las estaciones meteorológicas. La cobertura de nubes es calculada con un script desarrollado en Matlab con la siguiente serie de pasos: a) el script recibe como entrada una imagen, la banda de calidad de cada mes, b) por medio de la localización (latitud y longitud) de cada estación meteorológica se determina cuáles estaciones están presentes en cada imagen c) el análisis de los píxeles de cada imagen se realiza con el número entero en formato binario de cada píxel (de izquierda a derecha), si el bit cuatro está encendido representa una nube, se identifican y se contabilizan estos pixeles, d) es necesario obtener la cantidad total de píxeles dentro de la región de interés sumando todos los píxeles excepto los píxeles de relleno (con valor de uno), e) identificados y contabilizados los píxeles que representan nubes y la cantidad total de píxeles dentro del área de interés es posible calcular el porcentaje de nubes para cada mes.

El promedio anual de la cobertura de nubes es calculado con un script desarrollado en Matlab con la siguiente serie de pasos: a) se combinan las siete imágenes (bandas de calidad) que componen el área de estudio, b) se extrae el área de interés de cada imagen para reducir el análisis de la información, c) el análisis de los píxeles de cada imagen se realiza con el número entero en formato binario de cada píxel (de izquierda a derecha), si el bit cuatro está encendido representa una nube, se identifican y se contabilizan estos pixeles, d) es necesario obtener la cantidad total de píxeles dentro de la región de interés sumando todos los píxeles excepto los píxeles de relleno (con valor de uno), e) identificados y contabilizados los píxeles que representan nubes y la cantidad total de píxeles dentro del área de interés es posible calcular el porcentaje de nubes para cada mes, f) el promedio anual de la cobertura de nubes es obtenido considerando el resultado en cada mes dividido entre la cantidad de meses del año.

El promedio anual de la cobertura de nubes presentes del área de estudio durante la serie temporal se muestra en la Figura 5. En el gráfico, se observa que en el año 2002 se tiene el mayor porcentaje de nubes en el área de estudio con un 52 %. El valor mínimo de cobertura de nubes se presentó en el año 2000 con 31 %. En promedio, el área de estudio estuvo cubierta de nubes en un 41 % en la serie temporal. Arias et al. (2023) reportan la existencia de fenómenos de sequía en los años 2008, 2009, 2017 y 2019 en el hemisferio sur, los cuales coinciden con niveles de cobertura de nubes por debajo de la media de la serie temporal estudiada en este trabajo. En este estudio a nivel local, es posible observar que este mismo fenómeno se presentó en los años 2005, 2010 y 2016.

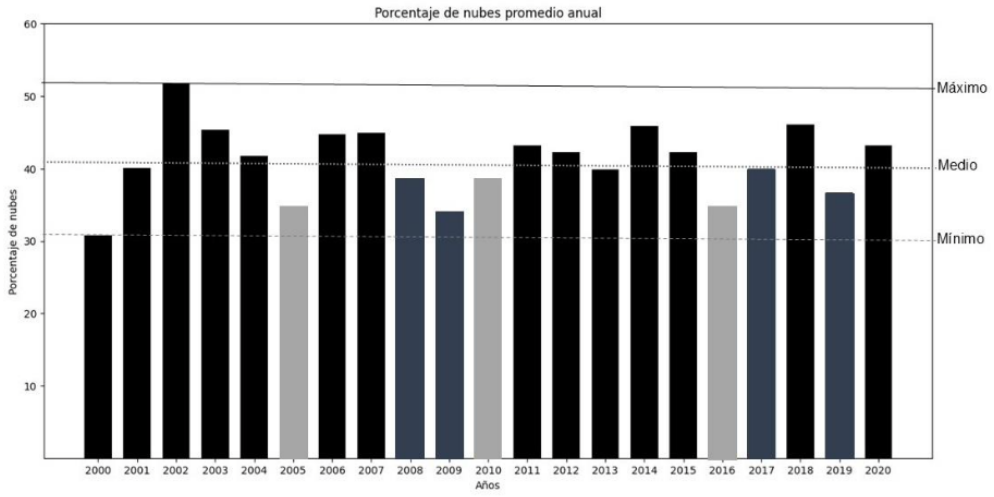


Figura 5: Porcentaje de nubes promedio anual

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de las variables meteorológicas de precipitación, temperatura, humedad relativa, y el promedio anual de cobertura de nubes en el periodo del año 2000 al 2020. En el análisis de la temperatura se muestra un incremento de 1.63 grados centígrados, del año 2000 al 2007. Comparando la temperatura promedio presentada en el año 2008 y en el año 2018 se tiene un incremento de 2.56 grados centígrados. El valor más bajo de temperatura

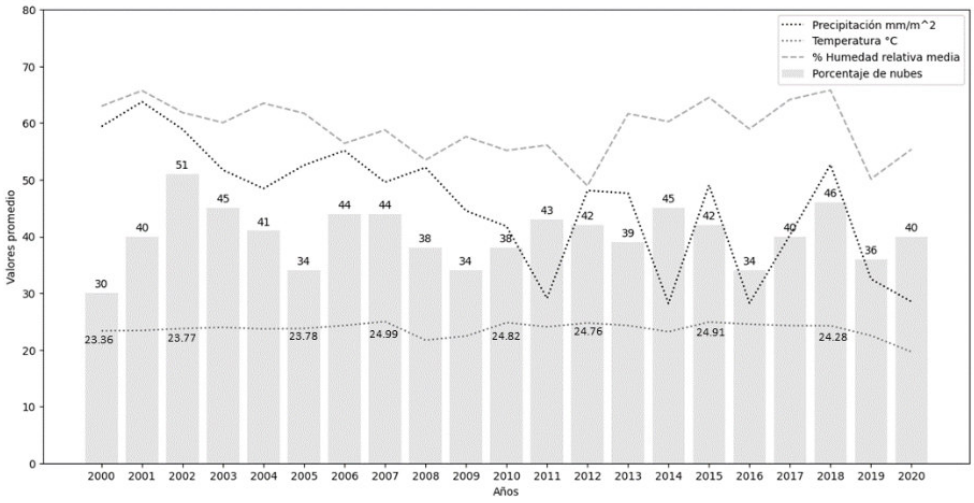


Figura 6: Comportamiento de las variables en la serie de tiempo

promedio se presentó en el año 2020 con 19.66 grados centígrados. Arias et al. (2023) indica en sus resultados que en el año 2011 se presentó un evento fuerte de sequía, coincide con los resultados a nivel local. De hecho a partir del 2005, la recuperación de precipitaciones está por debajo de la precipitación del 2002 y sigue bajando hasta el 2008, donde Argentina reportó un año seco el del 2008. Ares et al. (2011), han asociado el fenómeno de déficit de precipitaciones con La Niña. Si bien, en Bolivia se sigue observando el déficit de precipitaciones al año 2011 que se empiezan a visualizar precipitaciones anuales de hasta 28 mm/m2, y las recuperaciones cerca de la media con valores de 45 mm/m2.

Un análisis más detallado de un evento de baja cobertura de nubes fue realizado para el año 2000 (ver Figura 7). El clima en Bolivia se caracteriza por ser un clima tropical húmedo con corta sequía. Se observan lluvias todo el año, aunque las precipitaciones promedio entre los meses de abril a septiembre son bajas, la cobertura de nubes es claro que tiene la misma relación exceptuando el mes de octubre que se registra baja cobertura de nubes pero alta precipitación (Figura 7), lo que puede suponer unos días de tormentas sobre la zona.

En febrero del año 2002 se presentaron lluvias muy intensas y granizadas en la ciudad de La Paz, Bolivia (Hardy, 2009). El promedio de la cobertura de nubes en el área de estudio para este año fue de 52% y el mes de febrero el porcentaje de nubes fue de 92%. El comportamiento se puede apreciar en la Figura 8.

3.4. Procesamiento del algoritmo de Deformación Temporal Dinámica

La estación meteorológica El Alto Aeropuerto se tomó como referencia para el procesamiento del algoritmo de Deformación Temporal Dinámica, debido a que está estación cuenta con la mayor disponibilidad de los datos meteorológicos en la serie temporal del año 2000 al 2019 y con todas las variables medidas (ver tabla 2). Siguiendo la metodología, se realizó la normalización de los datos

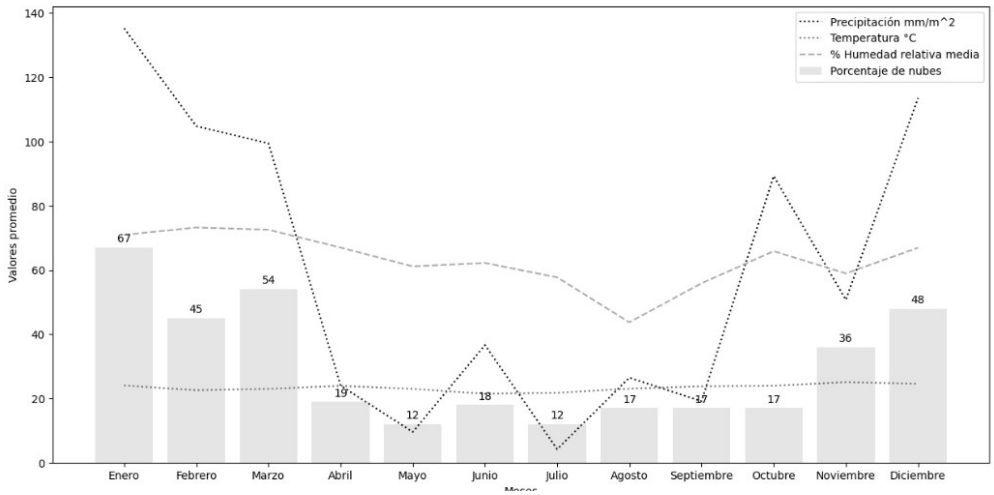


Figura 7: Comportamiento de las variables en el año 2000

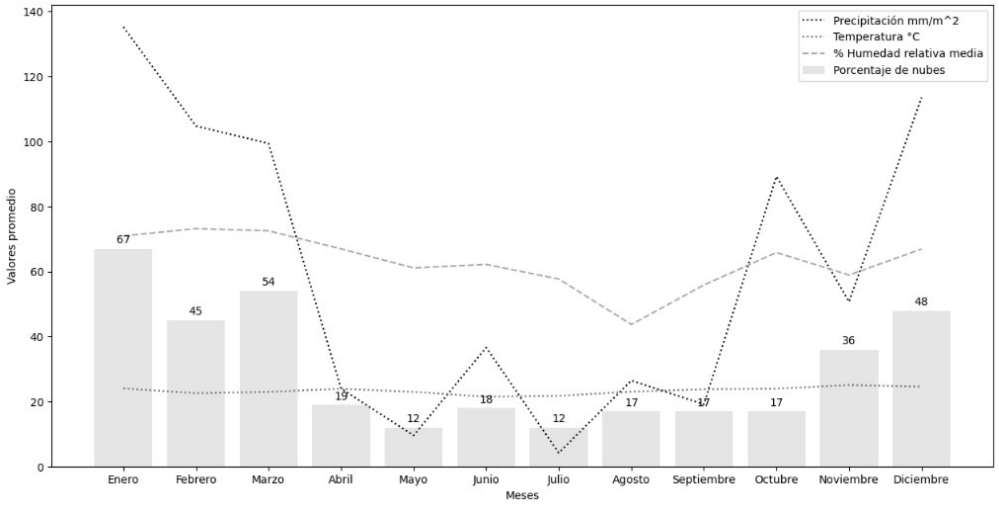


Figura 8: Comportamiento de las variables en el año 2002

para la estación meteorológica El Alto Aeropuerto, el resultado se representa con la línea café en la Figura 9, se aprecia los ajustes aplicados a los valores atípicos aplicando la media climatológica por cada mes, para cada variable climatológica. Los datos originales se muestran en la Figura 9 en color azul. Esto nos muestra que en el caso de la precipitación se presentan datos atípicos en junio del 2000, mayo del 2017 y en junio del 2018. En la temperatura detectaron datos atípicos en marzo y septiembre del 2016 y en mayo del 2018. Para la humedad relativa los datos atípicos se encontraron en febrero y julio del año 2012.

A continuación en la Figura 10 se presenta el análisis de la humedad relativa y la cobertura de nubes de la estación meteorológica El Alto Aeropuerto. En la Figura 10(a) se muestra la serie con los datos originales, en promedio se tuvo 51.66% de humedad relativa. En la Figura 10(b) se presentan los datos por eventos anómalos donde en marzo 2001, febrero 2002, febrero 2011 se presentaron valores superiores al promedio de humedad relativa. En la Figura 10(c) se muestra la climatología, el comportamiento de las variables en toda la serie temporal, sin valores anómalos, donde se puede apreciar el comportamiento periódico.

La distancia euclidiana para la serie completa entre la humedad relativa y la cobertura de nubes fue de 6965, en la Figura 11 se pueden observar la similitud de entre las dos variables.

En la Figura 12 se presenta el análisis de la precipitación y la cobertura de nubes de la estación meteorológica El Alto Aeropuerto. En la Figura 12(a) se muestra la serie con los datos originales, donde la precipitación promedio fue de 51.66 mm/m2 en esta gráfica se puede distinguir que no necesariamente si hay una alta cobertura de nubes se tendrá precipitación alta, la Figura 12(b) presenta los datos anómalos detectados algunas de las anomalías más significativas se presentaron en febrero 2002, enero 2003, enero 2006 ; finalmente, la Figura 12(c), muestra la climatología, sin valores anómalos.

En la Figura 13 se la muestran la similitud de la precipitación y la cobertura de nubes, para la serie completa se requiere el ajuste de distancia euclidiana acumulada de 5856.

En la Figura 14 se presenta el análisis de la temperatura con la cobertura de nubes de la estación meteorológica El Alto Aeropuerto En la Figura 14(a) se muestra la serie con los datos originales la temperatura promedio fue de 18.16 grados centígrados. La Figura 14(b) se presentan los datos anómalos detectados los meses donde la temperatura estuvo por arriba de los 20 grados centígrados, noviembre del 2001, enero del 2003, noviembre del 2003, diciembre del 2003, noviembre de 2008. En la Figura 14(c) se muestra la climatología, quitado los valores anómalos.

Para la serie completa entre la temperatura y la cobertura de nubes la distancia euclidiana fue de 10259, en la Figura 15 se muestra la gráfica del algoritmo DTW con la similitud de las variables.

3.5. Análisis de resultados

Se logró la generación de un conjunto de datos que incluye variables meteorológicas y la cobertura de nubes presentes para cada estación meteorológica en un rango de cuatro kilómetros con estos datos se encontró que en los meses de mayo, junio, julio y agosto de cada año la cobertura de nubes

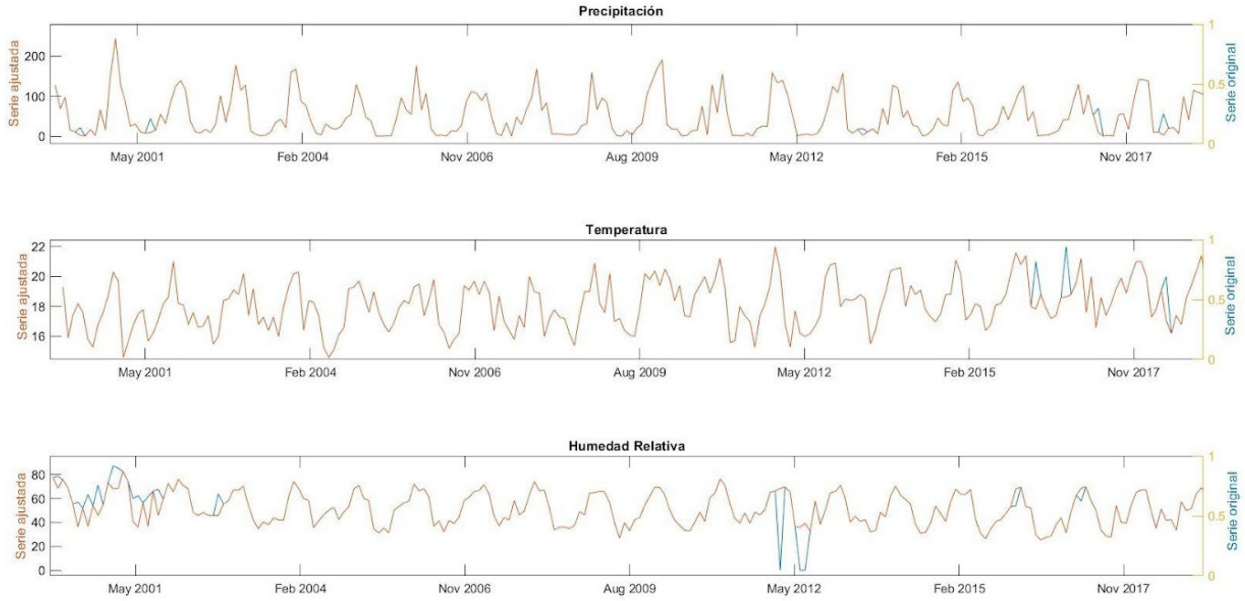


Figura 9: Ajuste de datos atípicos de la estación meteorológica El Alto Aeropuerto para toda la serie temporal

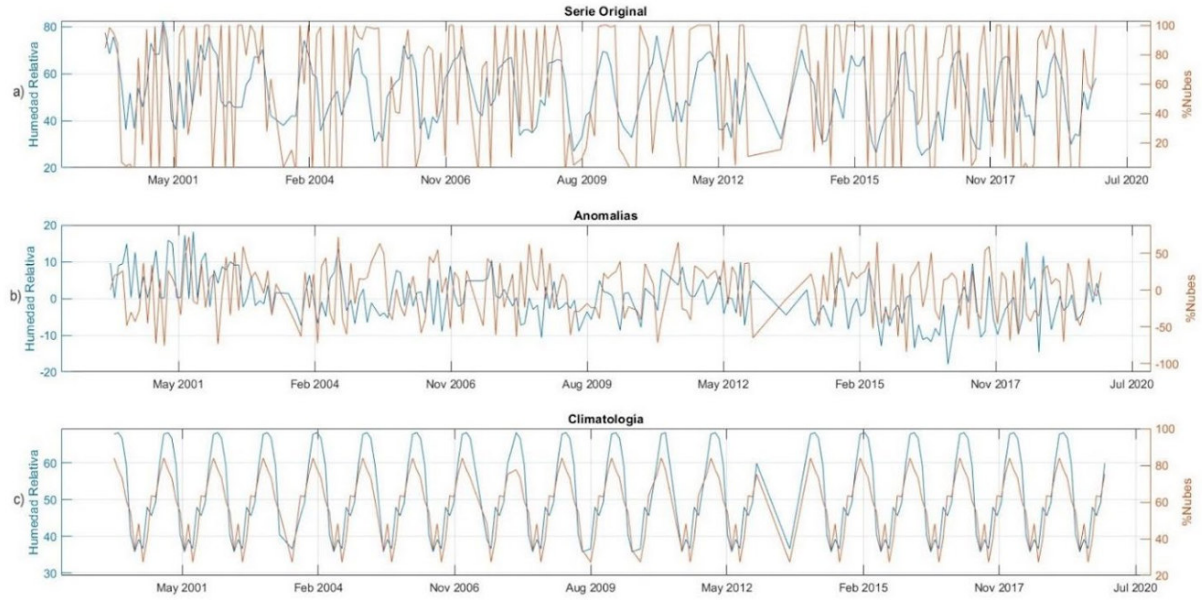


Figura 10: Humedad relativa / Cobertura de nubes de la estación meteorológica El Alto Aeropuerto

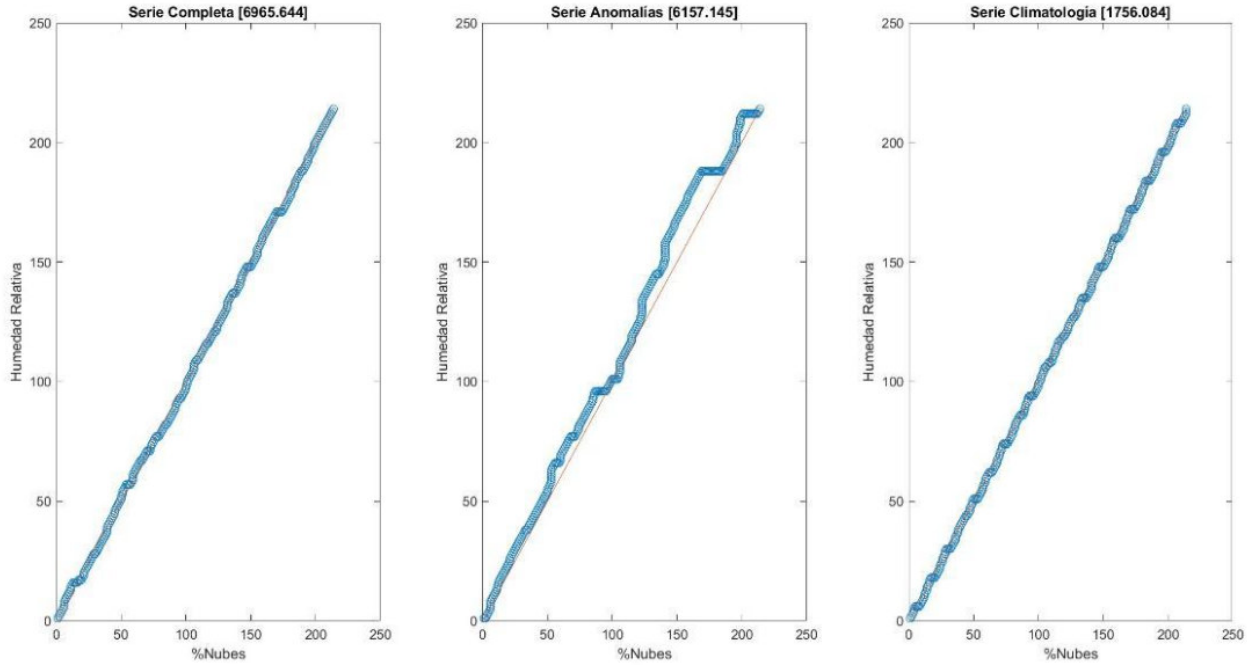


Figura 11: Similitud detectada por el algoritmo DTW para la humedad relativa y la cobertura de nubes

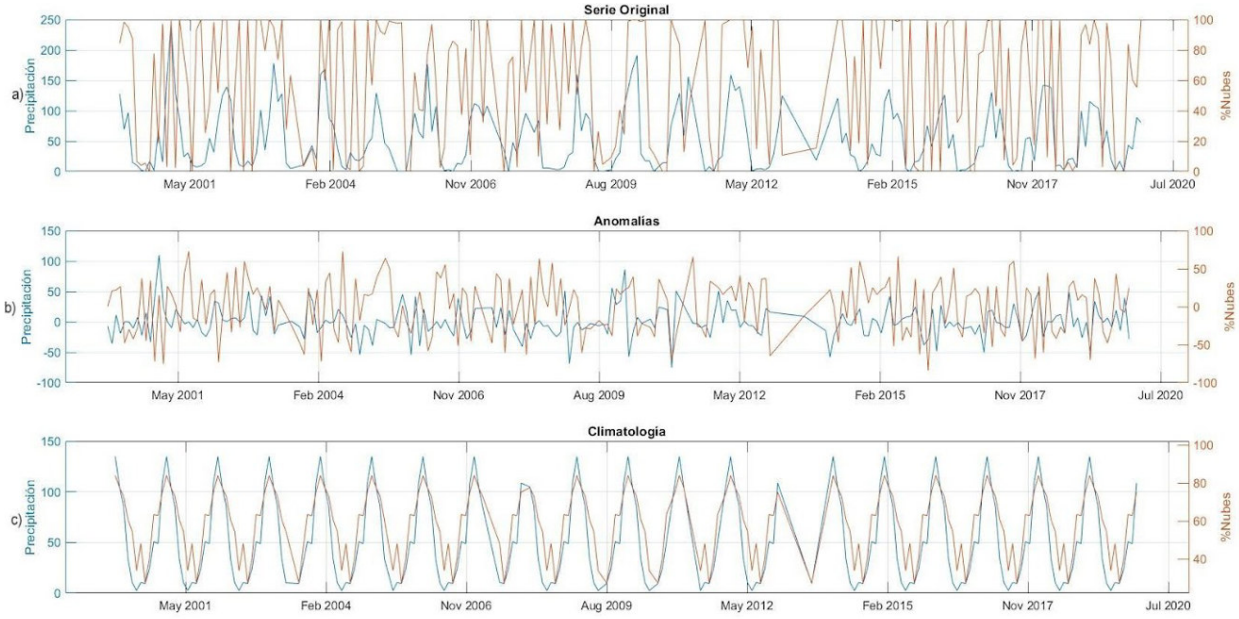


Figura 12: Precipitación / Cobertura de nubes de la estación meteorológica El Alto Aeropuerto

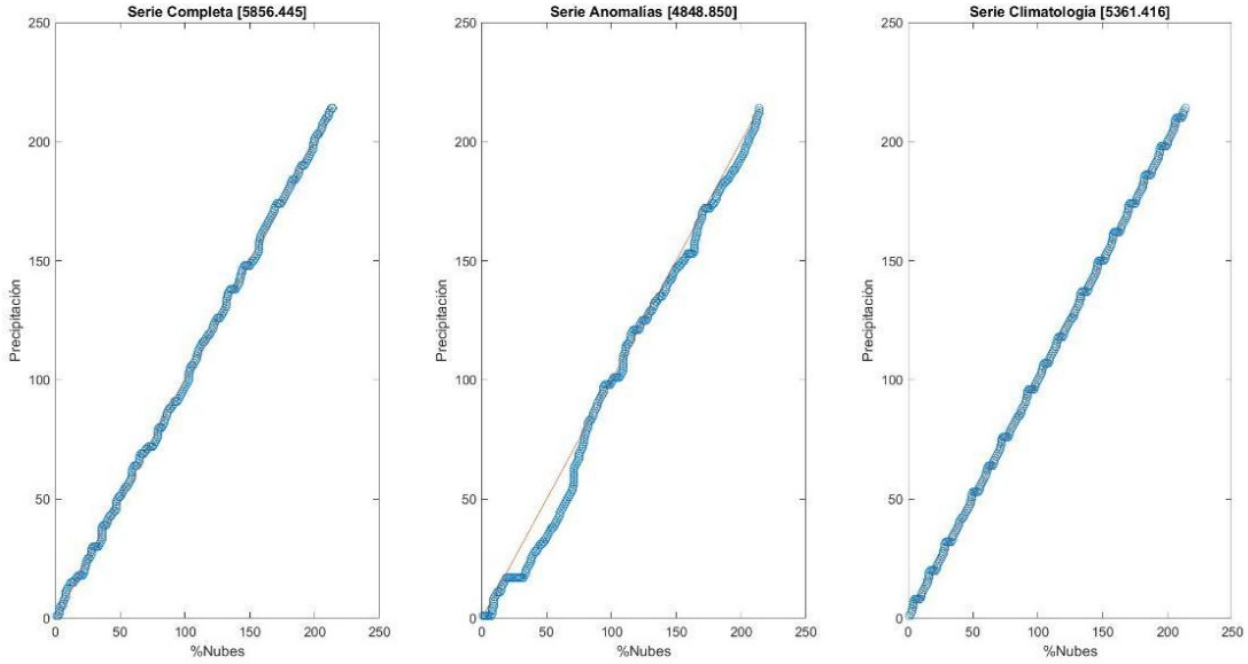


Figura 13: Similitud detectada por el algoritmo DTW para la precipitación y la cobertura de nube

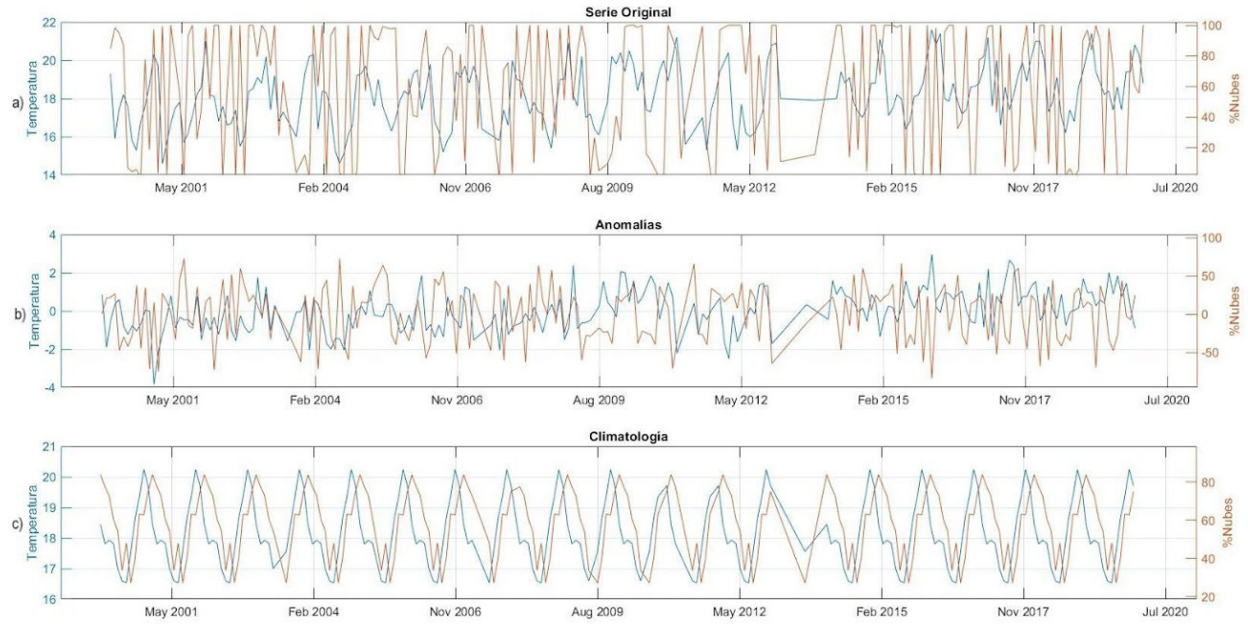


Figura 14: Temperatura / Cobertura de nubes de la estación meteorológica El Alto Aeropuerto

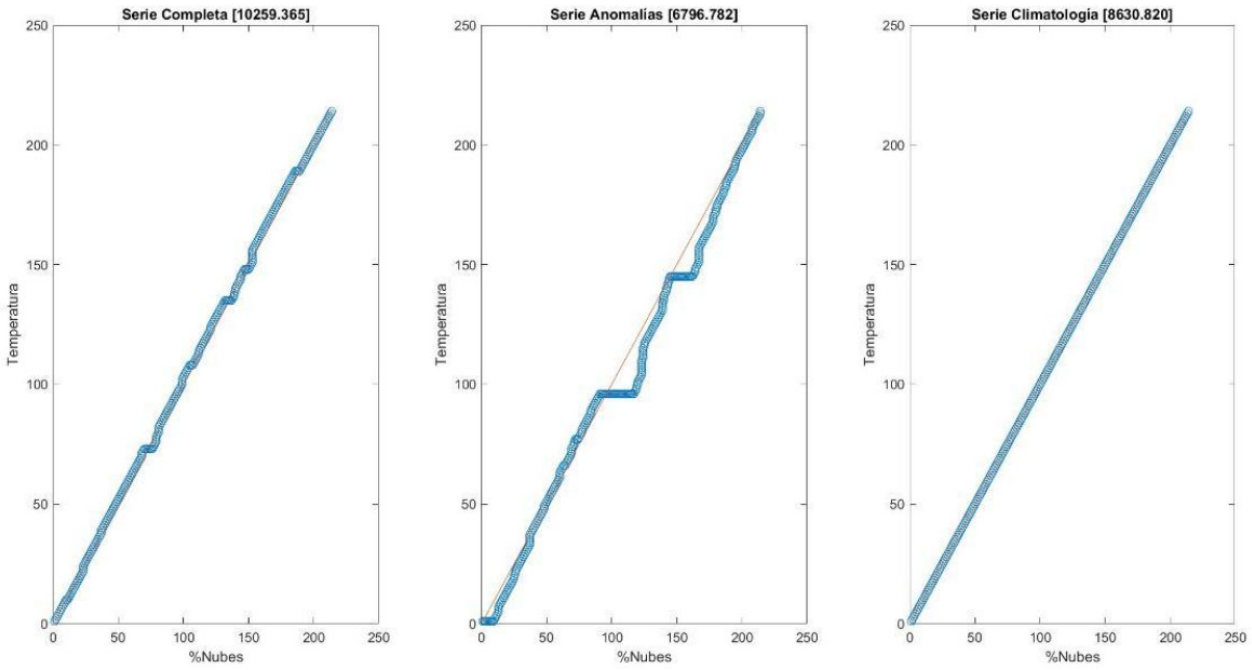


Figura 15: Similitud detectada por el algoritmo DTW para la temperatura y la cobertura de nubes

y las precipitaciones disminuyen, se realizó un análisis de la cobertura de nubes en el área de estudio encontrando el valor máximo, medio y mínimo en la serie temporal. No fue posible determinar una correlación lineal entre las variables climatológicas y la cobertura de nubes porque los datos están en una serie temporal. Aplicando el algoritmo DTW se demostró la similitud de las variables climatológicas con la cobertura de nubes utilizando la métrica de distancia euclidiana. El algoritmo DTW nos permitió observar la relación entre las variables climatológicas con la cobertura de nubes y sus efectos en el clima.

4. Conclusiones

Se concluye que es posible evaluar la relación entre datos climatológicos obtenidos de estaciones meteorológicas con la cobertura de nubes obtenidas de la misión satelital Landsat en una serie temporal comprendida entre el año 2000 al 2020, mediante el algoritmo DTW logrando identificar el comportamiento de los datos originales, atípicos y la climatología, los datos atípicos identificados coinciden con fenómenos meteorológicos reportados en otras investigaciones. Se observan cambios en los patrones de precipitaciones que se asocian a fenómenos de sequía provocados por la deforestación de la Amazonia, cambio de uso de suelo, reducción de la humedad de fuentes terrestres (Arias et al. 2023). Además, se identifican meses (mayo, junio, julio, agosto) con menor presencia de nubes en el área de estudio.

Como trabajo futuro debido a la falta de una distribución uniforme de las estaciones meteorológicas en el área de estudio se plantea incluir datos de diferentes misiones satelitales (ERA5,

CHIRP, GISTEMP). Se identificó la falta de estaciones meteorológicas en América Latina como consecuencia el análisis del comportamiento de variables climatológicas, fenómenos meteorológicos y eventos climatológicos resulta complicado investigar este tipo de situaciones en escalas locales y en series temporales prolongadas.

Referencias bibliográficas

[1] Adelekan, I., Sörensson, A. A., Zachariah, M., Barnes, C., Philip, S., Kew, S., Vautard, R., Koren, G., Pinto, I., Vahlberg, M., Singh, R., Raju, E., Li, S., Yang, W., Vecchi, G. A., & Otto, F. E. L. (2022). Interplay between climate change and climate variability: the 2022 drought in Central South America. *Climatic Change*, 177(1). https://doi.org/10.1007/s10584-023-03664-4

[2] Arias, P. A., Rivera, J. A., Sörensson, A. A., Zachariah, M., Barnes, C., Philip, S., Kew, S., Vautard, R., Koren, G., Pinto, I., Vahlberg, M., Singh, R., Raju, E., Li, S., Yang, W., Vecchi, G. A., & Otto, F. E. L. (2023). Central and South America: Drought Impact on the Agricultural Sector. *Climatic Change*, 177(1). https://doi.org/10.1007/s10584-023-03664-4

[3] Cetin, I. Z., Varol, T., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2022). The effects of climate on land use/cover: a case study in Turkey by using remote sensing data. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(3), 5688-5699. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22566-z

[4] Cheval, S., Dumitrescu, A., & Amihaesei, V. (2020). Exploratory Analysis of Urban Climate Using a Gap-Filled Landsat 8 Land Surface Temperature Data Set. *Sensors*, 20(18), 5336. https://doi.org/10.3390/s20185336

[5] Hirakata, M., Okamoto, H., Hagihara, Y., Hayasaka, T., & Oki, R. (2014). Comparison of global and seasonal characteristics of cloud phase and horizontal ice plates derived from CALIPSO with MODIS and ECMWF. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 31(10), 2114-2130. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-13-00245.1

[6] Isaksen, I., Granier, C., Myhre, G., Berntsen, T., Dalsøren, S., Gauss, M., Klimont, Z., Benestad, R., Bousquet, P., Collins, W., Cox, T., Eyring, V., Fowler, D., Fuzzi, S., Jöckel, P., Laj, P., Lohmann, U., Maione, M., Monks, P., ... Wuebbles, D. (2009). Atmospheric composition change: Climate–Chemistry interactions. *Atmospheric Environment*, 43(33), 5138-5192. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.003

[7] Lemus-Canovas, M., Martin-Vide, J., Moreno-Garcia, M. C., & Lopez-Bustins, J. A. (2020). Estimating Barcelona's metropolitan daytime hot and cold poles using Landsat-8 Land Surface Temperature. *The Science Of The Total Environment*, 699, 134307. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134307

[8] Mahmood, R., Pielke, R. A., Hubbard, K. G., Niyogi, D., Dirmeyer, P. A., McAlpine, C., Carleton, A. M., Hale, R., Gameda, S., Beltrán-Przekurat, A., Baker, B., McNider, R., Legates, D. R., Shepherd, M., Du, J., Blanken, P. D., Frauenfeld, O. W., Nair, U., & Fall, S. (2013). Land cover changes and their biogeophysical effects on climate. *International Journal Of Climatology*, 34(4), 929-953. https://doi.org/10.1002/joc.3736

[9] Mao, K., Yuan, Z., Zuo, Z., Xu, T., Shen, X., & Gao, C. (2019). Changes in Global Cloud Cover Based on Remote Sensing Data from 2003 to 2012. *Chinese Geographical Science*, 29(2), 306-315. https://doi.org/10.1007/s11769-019-1030-6

[10] Mendoza, V., Pazos, M., Garduño, R., & Mendoza, B. (2021). Thermodynamics of climate change between cloud cover, atmospheric temperature, and humidity. *Scientific Reports*, 11(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-00555-5

[11] Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2024). *Compendio de apuntes sobre instrumentos meteorológicos OMM Nº 622*. Ginebra, Suiza.

[12] Romero, C., & Albó, X. (2009). *Autonomías indígenas en la realidad boliviana y su nueva Constitución*. La Paz, Bolivia.

[13] Ullah, N., Tahir, N., Akbar, N., Hassan, N., Dewan, N., Khan, N., & Khan, N. (2019). Remote Sensing-Based Quantification of the Relationships between Land Use Land Cover Changes and Surface Temperature over the Lower Himalayan Region. *Sustainability*, 11(19), 5492. https://doi.org/10.3390/su11195492

[14] Gulseven, O. (2020). Measuring achievements towards SDG 14 life below water in the United Arab Emirates. *Marine Policy*, 117, 103972.

[15] Hardy, S. (2009). Granizada e inundación del 19 de febrero de 2002. Un modelo de crisis para la aglomeración de La Paz. *Bulletin de L'Institut Français D'études Andines*, 38(3), 501-514. https://doi.org/10.4000/bifea.2300

[16] Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (MMAyA). (2016). *Balance hídrico superficial de Bolivia: Documento de difusión*.

[17] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. En *Cambridge University Press eBooks* (pp. 1513-1766). https://doi.org/10.1017/9781009157896.013

Estimación de la concentración de clorofila en hojas de arce a través de un enfoque de aprendizaje automático

Frida Mayela Florián-Pinto[1], Brenda Acevedo-Juárez[1], Roberto Barragán-Campos[2], Jorge Sánchez-Garcés[3], Himer Avila-George[*,1]

[1] Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara.

[2] Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara.

[3] Facultad de Ingeniería y Gestión, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.

*Correo eletrónico: himer.avila@academicos.udg.mx

Resumen

En este estudio, se realizó un análisis exploratorio para evaluar la correlación entre las concentraciones de clorofila *a*, *b* y *a*+*b* con la reflectancia de las hojas de árboles de arce. Se analizaron las relaciones entre estas concentraciones y las mediciones obtenidas con los sensores RAMIS y SPAD-502, identificando los factores más relevantes para predecir la cantidad de pigmentos fotosintéticos. El modelo de regresión múltiple empleado mostró una fuerte correlación entre las variables, sugiriendo que la concentración de clorofila es inversamente proporcional a la reflectancia. La precisión del modelo fue evaluada mediante el coeficiente de determinación (R^2), el R^2 ajustado y el coeficiente de Durbin-Watson. Los resultados arrojaron valores de 0.92 para la clorofila *a*, 0.86 para la clorofila *b* y 0.92 para la combinación *a*+*b*, indicando un buen ajuste del modelo a los datos y validando su eficacia para predecir la concentración de clorofila en las hojas de arce.

Palabras clave: *Aprendizaje máquina*, *clorofila*, *hojas de arce*, *reflectancia*

1. Introducción

La clorofila es un pigmento esencial que se encuentra en las plantas, desempeñando un papel crucial en el proceso de fotosíntesis, mediante el cual las plantas convierten la luz solar en energía química (Sonobe et al., 2021). Además, Li et al. (2023) señalan que la concentración de clorofila en las hojas no solo es un indicador de la salud de las plantas, sino que también está estrechamente relacionada con su capacidad fotosintética, la cual se define por su tasa máxima de carboxilación. Un contenido adecuado de clorofila es fundamental para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas, ya que influye directamente en su eficiencia para realizar la fotosíntesis y, por ende, en su productividad y resistencia a factores ambientales adversos (Li et al., 2023).

Los métodos tradicionales de laboratorio para medir los pigmentos fotosintéticos tales como la concentración de clorofila, incluyen procesos complejos, desde la extracción con solventes hasta

una medición espectrofotométrica in vitro, estos procesos complejos suelen ser costosos, lentos y laboriosos (Shah et al., 2019). Sonobe et al., (2021) mencionan que las propiedades de la vegetación, como lo es la concentración de clorofila, pueden ser cuantificadas utilizando información adquirida mediante tecnicas de percepción remota basadas en algoritmos de aprendizaje máquina.

En este contexto, Sharma et al. (2021) señalan que la agricultura de precisión emerge como una alternativa viable para abordar los desafíos contemporáneos que enfrenta la agricultura tradicional. Con el crecimiento acelerado de la población y los impredecibles cambios climáticos, la agricultura de precisión ofrece soluciones innovadoras que integran tecnologías de la información, herramientas de software y sistemas inteligentes embebidos, con el fin de optimizar la producción agrícola y asegurar el abastecimiento de alimentos.

El presente estudio tiene como objetivo estimar la concentración de clorofila en hojas de arce mediante el uso de técnicas de aprendizaje máquina, específicamente a través de un modelo de regresión múltiple. Este enfoque podría permitir una evaluación eficiente y precisa de la salud de las plantas y contribuir al desarrollo de metodologías no invasivas para la medición de la clorofila, facilitando así la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles.

2. Metodología

2.1. Conjunto de datos de clorofila

El presente estudio utilizó el conjunto de datos Angers 2003, que contiene información detallada sobre 43 especies diferentes de plantas y un total de 276 muestras de hojas (Pavan et al., 2004). Estos datos fueron recolectados en la estación de experimentación agrícola de Angers, Francia, durante el mes de junio de 2003. La base de datos incluye mediciones de la concentración de clorofila en hojas y las variables que se utilizaron en este estudio se detallan en la Tabla 1. Este conjunto de datos fue fundamental para el análisis de la relación entre la concentración de clorofila y las reflectancias espectrales.

Tabla 1: Descripción de las variables utilizadas en el presente estudio.

Variable	**Comentarios**
Clorofila *a*	Concentración de clorofila *a* en hojas (µg/cm^2)
Clorofila *b*	Concentración de clorofila *b* en hojas (µg/cm^2)
Clorofila *a*+*b*	Concentración de clorofila *a*+*b* en hojas (µg/cm^2)
Reflectancia	Valores de reflectancia (400-800 nm)

En particular, de las 276 muestras totales, 222 correspondieron a hojas de árboles ornamentales de arce (*Acer Pseudoplatanus L.*). Estas hojas fueron recolectadas de árboles cultivados tanto en invernaderos como en condiciones ambientales al aire libre, lo que permitió evaluar el impacto de diferentes factores como la intensidad de luz, la fertilización con nitrógeno y el abastecimiento de agua sobre la concentración de clorofila. Además, se incluyeron 102 muestras pertenecientes a

40 especies adicionales, seleccionadas por sus características morfológicas y bioquímicas, como el grosor de la hoja, la textura de la superficie y su contenido de clorofila. Este enfoque diversificado resultó clave para obtener un conjunto de datos representativo de las variaciones en la concentración de clorofila, un pigmento esencial en la fotosíntesis.

El conjunto de datos también incluye la información de las reflectancias espectrales de las 276 muestras, cubriendo un rango de longitudes de onda desde los 400 hasta los 2450 nanómetros. Estas mediciones son cruciales para evaluar el estado fisiológico de las plantas, su capacidad fotosintética y su salud general.

2.2. Extracción de perfiles espectrales

Para la caracterización de la clorofila (*a*, *b* y *a*+*b*), se extrajeron perfiles espectrales a partir de firmas de reflectancia en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. Este proceso permitió identificar las bandas espectrales donde la clorofila refleja luz, facilitando su identificación y posterior cuantificación.

Primero, se seleccionaron las bandas de interés en el rango de 400 a 2450 nanómetros, que corresponden a las longitudes de onda más relevantes para el análisis de clorofila (Feret et al., 2008). Posteriormente, se obtuvieron los valores de reflectancia de los puntos o áreas de estudio para generar un gráfico de reflectancia en función de la longitud de onda, lo que constituye el perfil espectral. Este enfoque permitió obtener perfiles espectrales para cada tipo de clorofila (*a*, *b* y *a*+*b*) por separado, considerando los valores de reflectancia entre 0.00 y 0.3.

2.3. Preprocesamiento de los datos

Antes de proceder a la etapa de modelado, se realizó un preprocesamiento exhaustivo de los datos con el fin de asegurar su calidad y adecuación para el análisis. Este proceso incluyó un análisis exploratorio de datos para identificar las principales características de las variables, detectar anomalías y comprender la relación entre las diferentes columnas del conjunto de datos. Para realizar este análisis se siguieron las recomendaciones de Sahoo et al., (2019).

Se utilizó la biblioteca *pandas profile* de *Python* para automatizar el análisis exploratorio de los datos, generando informes detallados que proporcionaron información estadística y visual sobre la distribución, correlación y posibles valores atípicos. Este preprocesamiento prepara los datos para su uso en el modelo de aprendizaje automático.

2.4. Modelado

Para estimar la concentración de clorofila en las hojas de arce, se implementó un modelo de regresión múltiple, una técnica de aprendizaje supervisado que permite predecir una variable dependiente (en este caso, la concentración de clorofila) a partir de varias variables independientes (valores de reflectancia espectral en distintas longitudes de onda). Esta es una de las técnicas más utilizadas para las tareas de regresión (Ta et al., 2021).

El modelo de regresión múltiple se formuló de la siguiente manera:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon \tag{2}$$

donde:

- Y es el valor de clorofila.
- β_0 es el término independiente.
- β_i son los coeficientes de regresión asociados a cada variable de reflectancia espectral.
- X_i son los valores de reflectancia.
- ϵ representa el término de error, que recoge la variabilidad no explicada por las variables predictoras.

La selección de las variables predictoras, es decir, las bandas espectrales más relevantes para el modelo, se realizó a partir de un análisis de correlación. Este análisis permitió evaluar la intensidad y dirección de la relación entre las variables de reflectancia espectral y la concentración de clorofila, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. Este coeficiente toma valores entre -1 y 1, donde los valores cercanos a 1 indican una fuerte correlación positiva, lo que sugiere que a medida que aumenta la reflectancia en una banda espectral, también lo hace la concentración de clorofila. Por otro lado, los valores cercanos a -1 representan una fuerte correlación negativa, mientras que los valores cercanos a 0 indican una correlación débil o inexistente entre las variables, véase la Figura 1.

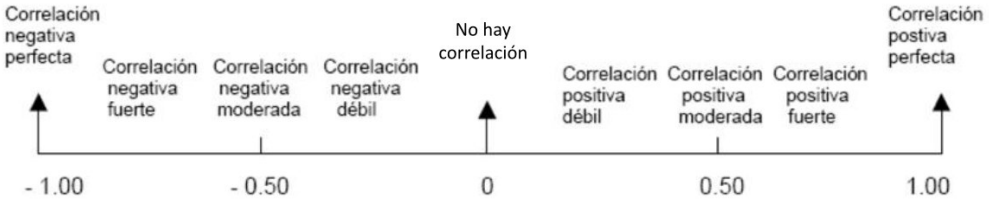


Figura 1: Intensidad, dirección e interpretación de los valores del coeficiente de correlación (Mason et al., 2001)

En este estudio, se eligieron como variables predictoras aquellas bandas espectrales que mostraron coeficientes de correlación más altos, ya sea positivos o negativos, en relación con la concentración de clorofila. De esta manera, el modelo se diseñó para capturar las bandas espectrales más influyentes en el comportamiento de la clorofila, optimizando la precisión de las predicciones.

2.5. Validación del modelo

La validación del modelo de regresión múltiple se llevó a cabo de forma integral, utilizando una combinación de métricas que permitieron evaluar su precisión, capacidad explicativa y comporta-

miento en relación con los supuestos fundamentales del análisis de regresión. El objetivo principal de la validación fue no solo medir la capacidad predictiva del modelo, sino también garantizar que las relaciones entre las variables predictoras y la concentración de clorofila fueran consistentes y generalizables.

En primer lugar, se calculó el coeficiente de correlación (R), el cual proporciona una primera aproximación sobre la fuerza de la relación lineal entre las predicciones del modelo y los valores observados de concentración de clorofila. Este coeficiente permite comprender cómo de bien el modelo captura la tendencia general de los datos. Sin embargo, aunque un valor alto de R indique una buena correlación, no aporta suficiente información sobre la capacidad explicativa total del modelo, lo que hace necesario emplear métricas adicionales.

Para profundizar en la capacidad explicativa del modelo, se puede calcular el coeficiente de determinación (R^2). Esta métrica permite cuantificar qué proporción de la variabilidad observada en la concentración de clorofila puede ser explicada por las variables independientes del modelo. Un valor elevado de R^2 sugiere que el modelo tiene una alta capacidad para explicar la varianza de la concentración de clorofila, lo que puede indicar que las variables de reflectancia espectral seleccionadas son, en conjunto, buenos predictores. Sin embargo, el uso de múltiples variables predictoras puede inflar artificialmente el valor de R^2, lo que motivó el uso del coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado). El R^2 ajustado es crítico en este contexto, ya que permite ajustar el valor de R^2 teniendo en cuenta el número de variables independientes incluidas en el modelo. Esta métrica penaliza la inclusión de predictores irrelevantes, lo que ayuda a evitar el sobreajuste del modelo. En particular, a medida que se añaden más bandas espectrales como variables predictoras, el R^2 ajustado evita la ilusión de mejora en la capacidad explicativa del modelo cuando las nuevas variables no aportan información sustancial. Esto ayuda a garantizar que el modelo final sea más parsimonioso, incluyendo solo las variables que realmente contribuyan a explicar la concentración de clorofila.

Adicionalmente, se emplea el coeficiente de Durbin-Watson para verificar la independencia de los residuos del modelo. La independencia de los errores es crucial, ya que la autocorrelación entre los residuos puede distorsionar los resultados del modelo, llevando a inferencias incorrectas. Un valor de Durbin-Watson cercano a 2 indica que los residuos no estaban autocorrelacionados, lo que confirma que el modelo cumplía con este supuesto. Valores significativamente alejados de 2 indican la presencia de autocorrelación, requiriendo una revisión o ajuste del modelo. A través de este análisis, se puede asegurar que las predicciones del modelo no dependan de errores sistemáticos en los datos.

2.6. Implementación

El modelo de regresión múltiple fue implementado utilizando el lenguaje de programación *Python* y las bibliotecas *scikit-learn* y *pandas*, las cuales ofrecieron un conjunto de herramientas robustas para el manejo, análisis y modelado de los datos. En particular, *scikit-learn* facilitó la creación y

validación del modelo, mientras que *pandas* permitió el procesamiento eficiente de los datos. El flujo de trabajo comenzó con la carga y estructuración de los datos, seguido de la normalización de las variables predictoras. Para evitar que las bandas espectrales con valores altos dominaran el modelo, se utilizó la técnica de normalización, ajustando los datos en un rango estandarizado.

El modelado y las pruebas se realizaron en una estación de trabajo equipada con un procesador *Intel Core i7* y 16GB de memoria RAM. Este entorno permitió realizar varias iteraciones de ajuste y validación en tiempos razonables, garantizando un flujo de trabajo ágil en la construcción del modelo predictivo.

3. Resultados

3.1. Perfiles espectrales

En este estudio se analizaron las reflectancias de 276 muestras de la base de datos Angers. Esta base de datos cubre un rango espectral de 400 a 2450 nanómetros. En la Figura 2, se muestra el comportamiento de las reflectancias totales de las 276 muestras a través de las 2050 bandas espectrales. La gráfica permite visualizar las características comunes y diferencias en los espectros de las diversas especies.

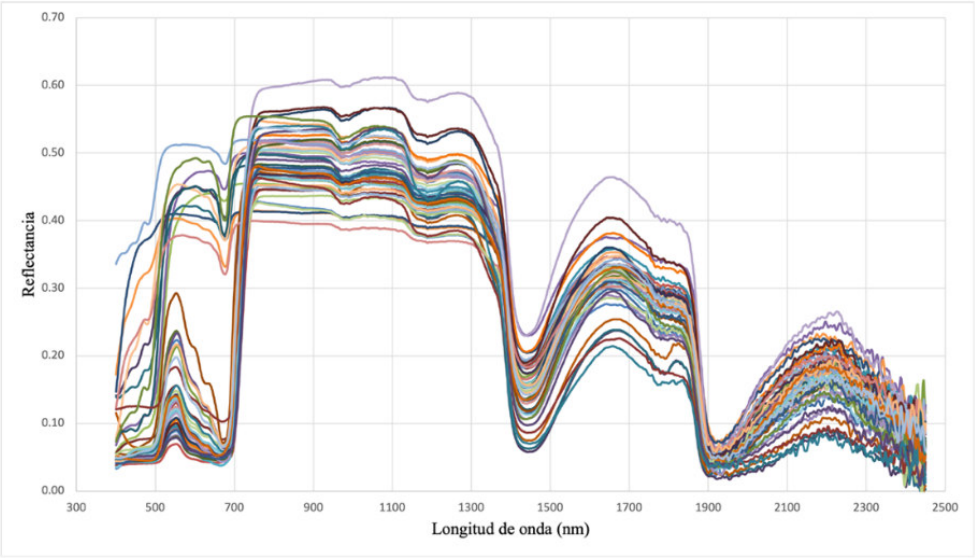


Figura 2: Espectros de reflectancia de las 43 especies del conjunto de datos Angers.

Por otro lado, la Figura 3 presenta la relación entre las concentraciones de clorofila (a, b y a+b) y sus respectivas reflectancias. Esta dispersión de datos proporciona una representación clara de cómo varía la concentración de clorofila en función de los niveles de reflectancia espectral.

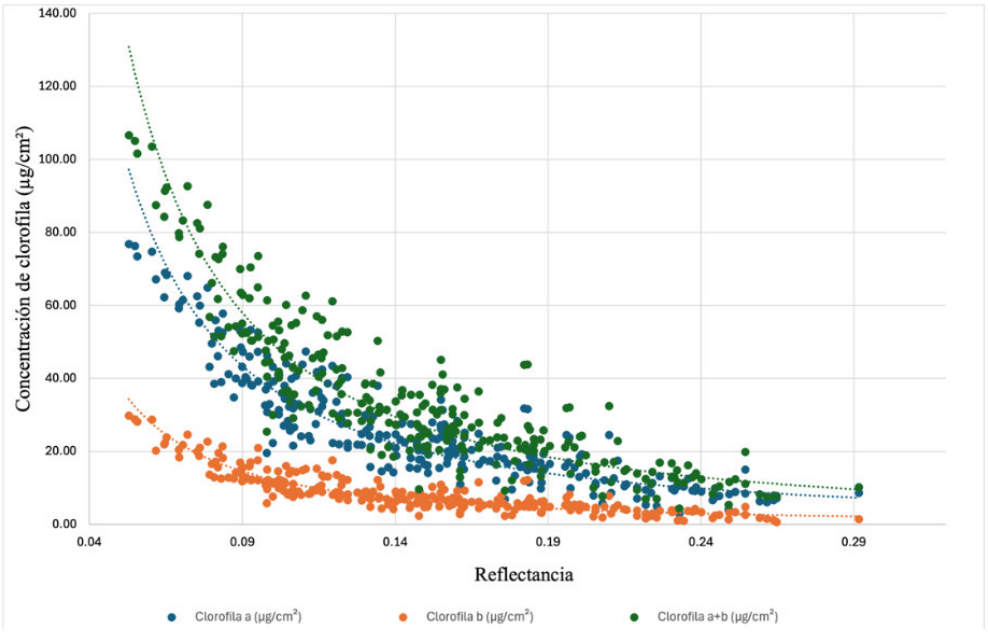


Figura 3: Dispersión de los valores de clorofila *a*, *b* y *a*+*b* respecto a su reflectancia

3.2. Preprocesamiento de datos

Para el análisis inicial de los datos, se utilizó un informe descriptivo generado con *pandas profile*, el cual incluyó estadísticas clave como el conteo de valores no nulos, medias, medianas y desviaciones estándar. Esto permitió identificar valores faltantes y obtener una visión general sobre la distribución de las variables numéricas. Adicionalmente, se calcularon percentiles para proporcionar una comprensión más detallada sobre la dispersión de los datos.

Como parte del preprocesamiento, también se generó una matriz de correlación que facilitó la evaluación de las relaciones entre variables. Esta herramienta fue muy útil para identificar aquellas variables con alta correlación, lo que permitió evitar problemas de multicolinealidad en el modelo. En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de correlación para las bandas espectrales con mayor correlación, siguiendo los criterios de Mason et al., 2001. Estas bandas fueron clave para seleccionar las variables predictoras en el modelo de regresión.

Tabla 2: Listado de bandas espectrales con mayor correlación con la clorofila

Clorofila *a*		**Clorofila *b***		**Clorofila *a*+*b***	
Banda espectral	**R**	**Banda espectral**	**R**	**Banda espectral**	**R**
701	0.80	705	0.80	702	0.80
702	0.81	706	0.81	703	0.82

Continúa en la siguiente página

Tabla 2: Listado de bandas espectrales con mayor correlación con la clorofila (*continuación*)

Clorofila *a*		Clorofila *b*		Clorofila *a+b*	
Banda espectral	**R**	**Banda espectral**	**R**	**Banda espectral**	**R**
703	0.82	707	0.82	704	0.83
704	0.84	708	0.82	705	0.84
705	0.85	709	0.83	706	0.85
706	0.85	710	0.83	707	0.85
707	0.86	711	0.83	708	0.86
708	0.87	712	0.84	709	0.86
709	0.87	713	0.84	710	0.87
710	0.88	714	0.84	711	0.87
711	0.88	715	0.84	712	0.87
712	0.88	716	0.83	713	0.87
713	0.88	717	0.83	714	0.87
714	0.88	718	0.82	715	0.87
715	0.88	719	0.82	716	0.86
716	0.87	720	0.81	717	0.86
717	0.87	721	0.80	718	0.86
718	0.86			719	0.85
719	0.86			720	0.84
720	0.85			721	0.83
721	0.84			722	0.82
722	0.83			723	0.80
723	0.81				
724	0.80				
600 a 700 nm					
700	0.78	700	0.73	700	0.77
601	0.64	603	0.60	601	0.63
500 a 600 nm					
551	0.76	558	0.72	550	0.76
550	0.75	550	0.72	548	0.75
400 a 500 nm					
500	0.43	498	0.39	499	0.42
450	0.32	448	0.28	449	0.31

3.3. Modelado

El modelo de regresión múltiple se implementó utilizando las variables predictoras correspondientes a las bandas espectrales entre 700 y 800 nm, seleccionadas debido a su alta correlación (R >0.8) con los niveles de clorofila *a*, *b* y *a*+*b*, como se muestra en la Tabla 2. Este modelo dio como resultado las Ecuaciones 3, 4 y 5 mostradas a continuación:

$$\begin{aligned}\text{Clorofila } a = [&(-854{,}9X_1) + 1475X_2 + 255{,}5X_3 + 382{,}4X_4 + (-807X_5)\\ &+(-947{,}8X_6) + (-87{,}7X_7) + (-1071{,}8X_8) + 478{,}6X_9 + 215X_{10}\\ &+2558{,}8X_{11} + 1302X_{12} + (-1072{,}2X_{13}) + 486{,}8X_{14}\\ &+(-453{,}8X_{15}) + (-459{,}4X_{16}) + (-1133{,}8X_{17}) + (-1178{,}1X_{18})\\ &+(-1530{,}7X_{19}) + 105{,}6X_{20} + (-187{,}3X_{21}) + 862{,}6X_{22}\\ &+436{,}6X_{23} + 1262{,}9X_{24}\,] \times 0{,}92\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}\text{Clorofila } b = [&-194{,}8X_1 + 202X_2 + 385X_3 + (-104{,}5X_4) + (-385{,}6X_5)\\ &+96{,}7X_6 + 576X_7 + 359X_8 + (-411{,}4X_9) + (-196X_{10})\\ &+(-321{,}7X_{11}) + 37{,}5X_{12} + (-904{,}6X_{13}) + (-136{,}4X_{14})\\ &+(-234{,}2X_{15}) + 557{,}3X_{16} + 655{,}6X_{17}] \times 0{,}87\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}\text{Clorofila } a{+}b = [&715X_1 + (-321{,}7X_2) + 144{,}1X_3 + (-782{,}4X_4)\\ &+(-538{,}6X_5) + 198{,}7X_6 + (-1103{,}8X_7) + 409X_8 + 523{,}8X_9 + 3230{,}3X_{10}\\ &+1740{,}3X_{11} + (-1643{,}9X_{12}) + 254{,}3X_{13} + (-856{,}5X_{14})\\ &+(-502{,}8X_{15}) + (-2017{,}5X_{16}) + (-1636{,}9X_{17}) + (-1843{,}1X_{18})\\ &+263{,}2X_{19} + (-144{,}4X_{20}) + 2086{,}4X_{21} + 1745{,}6X_{22}\,] \times 0{,}92\end{aligned} \tag{5}$$

3.4. Validación del modelo

Para evaluar la eficacia del modelo de regresión múltiple, se utilizaron métricas como el coeficiente de determinación, el coeficiente de determinación ajustado y el coeficiente Durbin-Watson. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados de las métricas de la validación del modelo.

Métrica	**Clorofila a**	**Clorofila b**	**Clorofila *a*+*b***
R^2	0.92	0.87	0.92
R^2 ajustado	0.92	0.86	0.91
Durbin-Watson	1.05	0.82	0.96

3.5. Interpretación de resultados

Los resultados del coeficiente de determinación de 0.92 para la clorofila a indican una alta correlación entre las variables predictoras y la variable dependiente, sugiriendo que el 92 % de la variabilidad en la clorofila a se explica a través del modelo. Un coeficiente de determinación ajustado de 0.92 refuerza la solidez del modelo tras tener en cuenta el número de variables predictoras.

El valor de Durbin-Watson de 1.05 sugiere una ligera autocorrelación positiva en los residuos, aunque está dentro de límites aceptables. Para la clorofila b, el coeficiente de determinación de 0.87 indica una relación fuerte entre las variables independientes y los niveles de clorofila, aunque el coeficiente Durbin-Watson de 0.82 sugiere cierta autocorrelación en los residuos que podría mejorar con un ajuste adicional del modelo.

En cuanto a la clorofila *a*+*b*, los resultados siguen una tendencia similar, con un R^2 de 0.92, lo que indica un alto grado de ajuste del modelo a los datos. El estadístico Durbin-Watson de 0.96 indica una leve autocorrelación, aunque no es lo suficientemente significativa como para invalidar el modelo.

4. Conclusiones

El análisis exploratorio permitió identificar las variables predictoras más relevantes, eliminando aquellas con correlación débil o nula, lo que permitió construir un modelo de regresión múltiple preciso. Se encontró una relación significativa entre la reflectancia y los niveles de clorofila *a*, *b* y *a*+*b*, confirmando que la reflectancia es un predictor confiable de la concentración de clorofila.

Los resultados indican que los métodos no destructivos basados en algoritmos de aprendizaje automático son efectivos para la estimación de pigmentos fotosintéticos. Estos hallazgos sientan las bases para aplicar algoritmos más avanzados en futuros estudios, mejorando la precisión en la predicción de la clorofila.

Referencias bibliográficas

[1] Feret, J. B., François, C., Asner, G. P., Gitelson, A. A., Martin, R. E., Bidel, L. P. R., Ustin, S. L., Le Maire, G., & Jacquemoud, S. (2008). PROSPECT-4 and 5: Advances in the leaf optical properties model separating photosynthetic pigments. *Remote Sensing of Environment*, 112(6), 3030–3043. https://doi.org/10.1016/J.RSE.2008.02.012

[2] Li, D., Hu, Q., Ruan, S., Liu, J., Zhang, J., Hu, C., Liu, Y., Dian, Y., & Zhou, J. (2023). Utilizing Hyperspectral Reflectance and Machine Learning Algorithms for Non-Destructive Estimation of Chlorophyll Content in Citrus Leaves. *Remote Sensing*, 15(20). https://doi.org/10.3390/rs15204934

[3] Mason, R. D., Lind, D. A., & Marchal, W. G. (2001). *Estadística para Administración y Economía* (11a ed.).

[4] Pavan, G., Jacquemoud, S., De Rosny, G., Rambaut, J. P., Frangi, J. P., & Bidel, L. P. R. (2004). RAMIS: A new portable field radiometer to estimate leaf biochemical content.

[5] Sahoo, K., Samal, A. K., Pramanik, J., & Pani, S. K. (2019). Exploratory data analysis using python. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(12). https://doi.org/10.35940/ijitee.L3591.1081219

[6] Shah, S. H., Angel, Y., Houborg, R., Ali, S., & McCabe, M. F. (2019). A Random Forest Machine Learning Approach for the Retrieval of Leaf Chlorophyll Content in Wheat. *Remote Sensing*, 11(8), 920. https://doi.org/10.3390/rs11080920

[7] Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2021). Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 9, 4843–4873. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415

[8] Sonobe, R., Yamashita, H., Mihara, H., Morita, A., & Ikka, T. (2021). Hyperspectral reflectance sensing for quantifying leaf chlorophyll content in wasabi leaves using spectral pre-processing techniques and machine learning algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 42(4), 1311–1329. https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1826065

[9] Ta, N., Chang, Q., & Zhang, Y. (2021). Estimation of Apple Tree Leaf Chlorophyll Content Based on Machine Learning Methods. *Remote Sensing*, 13(19), 3902. https://doi.org/10.3390/rs13193902

12° ENCUENTRO NACIONAL

DE EXPERTOS EN RESIDUOS SÓLIDOS

XI REUNIÓN DEL CAPÍTULO GRSS-GUADALAJARA DE IEEE

SOMERS

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

©2024 ISSN 2395-8170