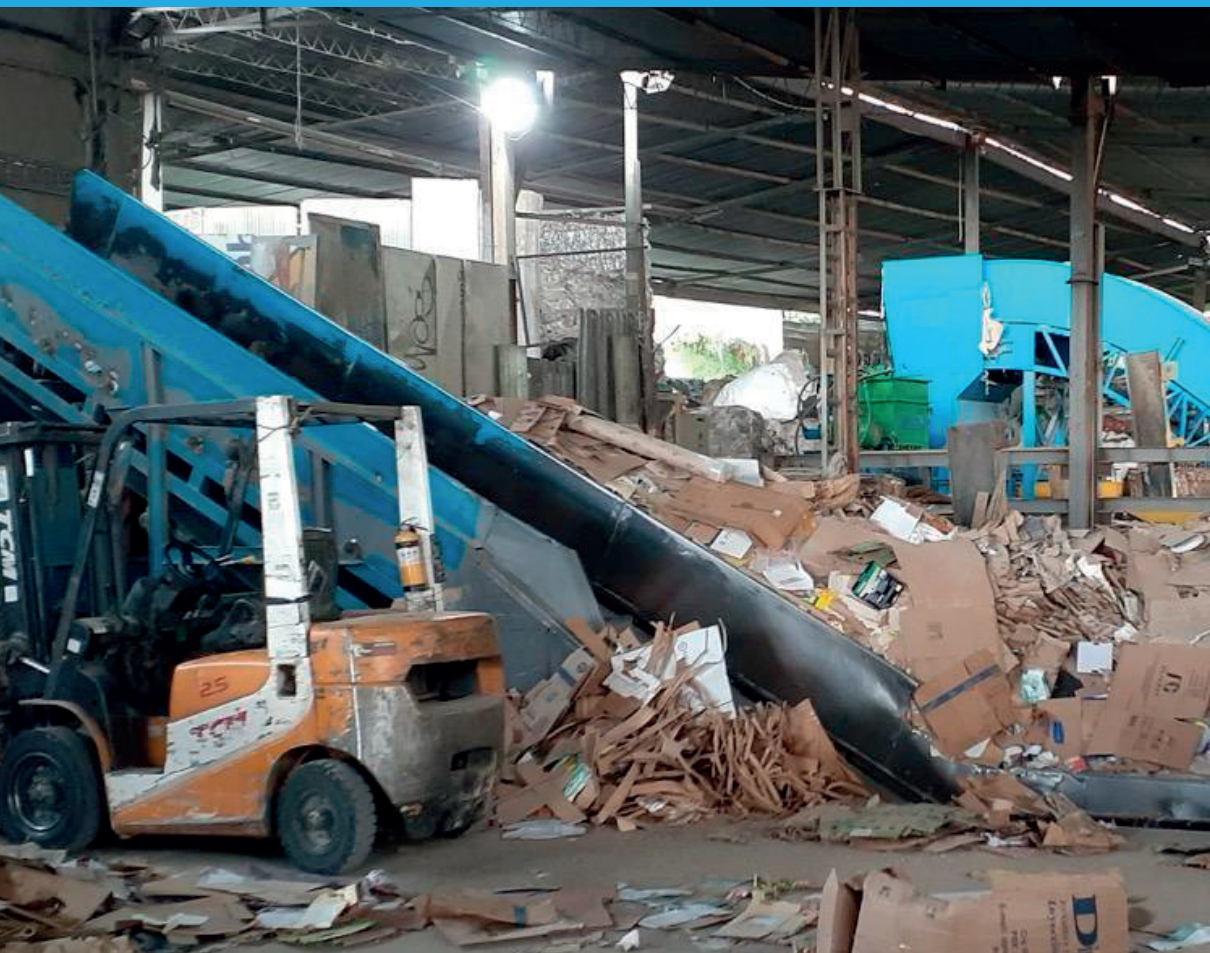


Gestión integral de residuos sólidos municipales

Nuevas tendencias en el contexto
latinoamericano



Gestión integral de residuos sólidos municipales

Nuevas tendencias en el contexto
latinoamericano



Comité editorial

Oscar Luis Pizczech
**Decano de la Facultad de Ciencias Ambientales y Sostenibilidad de
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (Colombia)**

Erika Johana Rúiz Suarez
**Vicerectora Institucional Académica y de Investigación del Politécnico Interna-
cional (Colombia)**

Luis Alfonso Sandía Rondón
Director del CIDIAT de la Universidad de los Andes (Venezuela)

Comité científico

Dra. Esmeralda Brito Cervantes,
Universidad Autónoma de Guadalajara (México)

Dr. Yefer Asprilla Lara,
Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia)

Dr. Gibrán Humberto Manjarréz Pérez,
Universidad Autónoma de Sinaloa (México)

Mtra. María Mercedes Callejas,
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (Colombia)

Dr. Edgar Ulises Estrada Meza,
Universidad de Guadalajara (México)

Dra. Edith Xio Mara García García,
Universidad de Guadalajara (México)

Dr. Fernando Flores Vilchez,
Universidad Autónoma de Nayarit (México)

Dr. Jesús Águila León,
Universidad de Guadalajara, México (México)

Dra. Sylvia Lorena Serafín González,
Universidad Politécnica del Estado de Nayarit (México)

Dr. Edgar Gustavo Rivas Inda,
Universidad Politécnica del Estado de Nayarit (México)

Gestión integral de residuos sólidos municipales

Nuevas tendencias en el contexto
latinoamericano

Marco Tulio Espinosa
Esperanza Padilla Murcia
Mario Guadalupe González Pérez
Coordinadores



Gestión integral de residuos sólidos municipales. Nuevas tendencias en el contexto latinoamericano. **Autores-coordinadores:** Marco Tulio Espinosa, Esperanza Padilla Murcia y Mario Guadalupe González Pérez. — Jalisco, México, 2025.

Publicación electrónica digital: descarga y *online*; detalle de formato: EPUB.

Primera edición

D. R. © copyright 2025. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales; Marco Tulio Espinosa López; Esperanza Padilla Murcia; Mario Guadalupe González Pérez; Jorge Edwin Cárdenas de La Ossa; Olga Lucia Ocampo; Jairo Toro Díaz; Juan Camilo Monroy Ramírez; Fanny Hernández; Edilberto Hernández; Oscar Javier Monroy Quesada; Fabio Norberto Pérez; Stella del Pilar Vargas Clavijo; Francis Yuliana Rodríguez Fonseca; Yiniva Camargo Caicedo; Patricia Miranda Villa; María Neftalí Rojas Valencia; Hugo Alberto Quintero Navarro; Clara Inés Pinilla Moscoso; Karla Barrón Hernández; Erik Saúl Huidobro Medina; Alfredo Martínez Cruz; Juan Antonio Araiza Aguilar.

ISBN: **979-13-87631-89-5**

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE20252083>



Esta es una obra arbitrada por pares académicos y se privilegia con el aval de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales

Edición y corrección: **Astra Ediciones**

Diseño de portada: Rosario González Pérez

Se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, por fotocopia, cualquier otro existente o por existir; sin el permiso previo, por escrito, del titular de los derechos.

HECHO EN MÉXICO | MADE IN MEXICO

Contenido

Introducción	9
--------------------	---

Capítulo 1

Modelo para la toma de decisiones en gestión integral de residuos sólidos en comunidades anfibias de La Mojana, Colombia. Revisión bibliográfica	13
--	----

Jorge Edwin Cárdenas de La Ossa

Olga Lucia Ocampo

Jairo Toro Diaz

Capítulo 2

Gobernanza ambiental a través de la formulación e implementación de una estrategia regional para la gestión integral de residuos ordinarios en la jurisdicción de Corpoboyacá.....	33
--	----

Juan Camilo Monroy Ramírez

Capítulo 3

El compostaje en procesos de restauración de frailejones de los géneros: <i>espeletia lopezzi</i> , <i>espeletia ocetana</i> , <i>espeletia pycnophylla</i> en la cuenca alta del Río Gameza.....	59
---	----

Fanny Hernández

Edilberto Hernández

Oscar Javier Monroy Quesada

Fabio Norberto Pérez

Stella Del Pilar Vargas Clavijo

Capítulo 4

Educación comunitaria para un manejo responsable de residuos sólidos en la comunidad campesina de la Finca Providencia (Fundación-Magdalena)	85
--	----

Francis Yuliana Rodríguez Fonseca

Yiniva Camargo Caicedo

Patricia Paola Miranda Villa

Capítulo 5

Trabajos de colaboración entre el IIUNAM y recicladores de recicladoras de la CdMx..... 103

María Neftalí Rojas Valencia

Hugo Alberto Quintero Navarro

Capítulo 6

Análisis de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) a nivel nacional 117

Marco Tulio Espinosa López

Esperanza Padilla Murcia

Clara Inés Pinilla Moscoso

Capítulo 7

Biodegradación de bolsas plásticas, compatibilidad y toxicidad..... 151

María Neftalí Rojas Valencia

Karla Barrón Hernández¹

Erik Saúl Huidobro Medina¹

Alfredo Martínez Cruz

Juan Antonio Araiza Aguilar

Introducción

El manejo de los residuos sólidos de origen urbano se ha convertido en un problema de carácter global, pero sin duda buena parte de la solución podría iniciarse a nivel local, que en efecto son generalmente las instancias iniciales para solventar la recolección, transporte, procesamiento y disposición final de los residuos. No obstante, la problemática trasciende este proceso cíclico, sino el tema tiene que ver con el consumo antrópico; es decir, este es un problema de paradigma, y cuya causal recae en el modelo de producción y consumo capitalista que rige en gran parte del contexto internacional. Inclusive, no quedan excluidas aquellas economías que se asumen dentro de las directrices de otros modelos político-económicos.

En este tema, lo que hemos concebido popularmente como basura no es sino materia y energía necesarias dentro de algún otro proceso de la economía. Este argumento de lo que se ha denominado economía circular contrasta con las premisas del modelo de economía lineal no funcional y mucho menos sostenible. La sostenibilidad se ha convertido en una forma de vida que delimita patrones de consumo y marca directrices para el subsistema social sobre los alcances y limitaciones del aprovechamiento de los elementos de la naturaleza (agua, suelo, aire). El tema se ha complicado cuando estos elementos son concebidos únicamente como recursos explotables en beneficio de la sociedad. Dado que, desde una visión holística, todos somos parte del ecosistema, la desaparición de algún eslabón (flora/fauna) de la cadena traerá escenarios complejos y con un fuerte componente de incertidumbre.

En función de lo anterior, han surgido propuestas novedosas resultado de investigaciones que presentan metodologías y hallazgos significativos sobre la gestión de residuos sólidos municipales desde una visión integral. Estas contribuciones y reflexiones han sido agrupadas en el presente trabajo, cuyo aval recae en la Universidad de Ciencias Aplica-

das y Ambientales (UDCA), la cual se ha caracterizado por la formación educativa y profesional con una visión medioambiental de su comunidad estudiantil, académica y administrativa. Junto a UDCA, participan toda una red de organizaciones proambientalistas preocupadas por la generación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, la sostenibilidad y la apropiación universal de la economía circular como forma de vida.

Gestión integral de residuos sólidos municipales. Nuevas tendencias en el contexto latinoamericano es una obra que integra siete capítulos colectivos de diferentes grupos de investigación, consultores y expertos en la temática. El capítulo 1: “Modelo para la toma de decisiones en gestión integral de residuos sólidos en comunidades anfibias de La Mojana, Colombia. Revisión bibliográfica”, Cárdenas de La Ossa, Ocampo y Toro Díaz externan sobre los desafíos que enfrenta la economía circular y la gestión integral de los residuos sólidos en relación con los ecosistemas de humedales y pantanos. Según los autores, es necesario revisar e incorporar planteamientos innovadores supeditados a criterios de sostenibilidad y adaptados al contexto particular de cada región. Concretamente, aquellas relacionadas con las marismas, donde existe una gran biodiversidad, como lo son las comunidades anfibias. En este sentido, la reincorporación de los principios de la economía circular puede coadyuvar con la preservación del hábitat de especies vulnerables al cambio climático.

En el capítulo 2: “Gobernanza ambiental a través de la formulación e implementación de una estrategia regional para gestión integral de residuos ordinarios en la jurisdicción de Corpoboyacá”, Monroy Ramírez nos plantea las bondades del modelo de gestión y sus implicancias en la gobernanza ambiental de la jurisdicción de Corpoboyacá. Según el autor, la contaminación ocasionada por los residuos sólidos es un tema alarmante, de ahí la necesidad de tomar medidas que reduzcan la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. Estas acciones requieren fortalecerse desde los municipios, a través de la implementación de proyectos sostenibles enfocados en minimizar y valorizar los residuos sólidos y contribuir con la resiliencia urbana.

Para el capítulo 3: “El compostaje en procesos de restauración de frailejones de los géneros: *espeletia lopezzi*, *espeletia ocetana*, *espeletia pycnophylla* en la cuenca alta del Rio Gameza”, Hernández et al. realizan

una experimentación puntual dentro un escurrimiento superficial como parte de un proyecto de investigación, donde exponen que las características del compost y sus aplicaciones, ya que este material procesado puede ser utilizado como abono, fertilizante, enmienda o como acondicionadores del suelo. Según los autores, algunos resultados arrojan la estabilidad y madurez del compost, lo que podría coadyuvar con la economía circular y la sustentabilidad; concretamente, con la captación de carbono o la recuperación de zona de frailejón dentro de la cuenca alta río objeto de estudio. Además, sostienen que esta investigación marca pauta para fines educativos que bien pueden ser encauzados en un material de revisión didáctico-pedagógico como una acción de justicia climática.

En el capítulo 4: “Educación comunitaria para un manejo responsable de residuos sólidos en la comunidad campesina de la Finca Providencia (Fundación-Magdalena)”, Rodríguez, Camargo y Miranda nos justifican la importancia de promover la educación dentro de la comunidad. Según ellas, esta pieza fue clave para fortalecer el conocimiento sobre la gestión responsable del manejo de los residuos sólidos en el área de estudio. De ahí, los procesos de capacitación a través de talleres y diversas actividades in situ conllevaron una correcta disposición de los residuos sólidos, elaboración de compost y el aprovechamiento del aceite de cocina para la elaboración de velas. En este sentido, las autoras hacen énfasis en mantener encuentros continuos con los representantes de la comunidad y, sobre todo, no descuidar el intercambio de información, ya que estas acciones proambientales permitieron fortalecer las expectativas de sostenibilidad e identificar las necesidades de los actores involucrados. En otros términos, se propiciaron condiciones de confianza, conciencia ambiental.

Dentro del capítulo 5: “Trabajos de colaboración entre el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y recicladores de recicladoras de la CdMx”, Rojas y Quintero sostienen la viabilidad de utilizar residuos generados por la industria de la construcción y demolición para el mantenimiento, equipamiento y remodelación de diferentes entornos urbanos como parques y aceras, entre otros. De igual forma, es preciso considerar las condiciones del sitio, el volumen requerido y los costos que conlleva la utilización de estos residuos. Según los autores, el reciclaje de estos residuos permitiría disminuir el impacto

ambiental ocasionado por la explotación de los bancos vírgenes de materiales pétreos, lo que reduciría igualmente los costos. Este esquema se circunscribiría dentro del paradigma de la constitución de una ciudad más sostenible e incluyente al mantener estos espacios de convivencia social en buenas condiciones.

En el capítulo 6: “Análisis de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) a nivel nacional”, Espinosa, Padilla y Pinilla nos comparten toda una gama de experiencias sobre la interacción multidisciplinar y las aportaciones que desde diferentes campos puedan constituir Programas de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) con un enfoque sistémico, sustentable y sostenible. De tal manera que resulta viable lograr las convergencias y dirimir las divergencias de las diferentes perspectivas de los PGIRS. En estos puntos de encuentro es posible generar alianzas y proyectos para solucionar las problemáticas. En este sentido, es imprescindible pasar de ser parte del problema a ser parte de la solución. Dado que sociedad civil, empresas, organizaciones, ONG y sector público, somos corresponsables de la situación actual. De ahí la importancia de generar estadísticas de datos para garantizar la coherencia y consistencia de los resultados, con la intención de proteger la salud humana, el suelo, el aire, el agua y la estética del paisaje, así como el reciclaje y la reutilización.

Finalmente, para el capítulo 7: “Biodegradación de bolsas plásticas, compatibilidad y toxicidad”, Rojas et al. plantean la importancia de degradar las bolsas de plástico a través de bioorganismos como las larvas *Tenebrio molitor*. Ello debido a la contaminación ambiental que este producto de gran utilización genera; de igual forma, la fabricación y quema de plástico implican un gran impacto en el cambio climático global. En este sentido y retomando el primer principio de la termodinámica, las bolsas de plástico (materia) no se desintegran, biodegradan o compostean, sino solo se fragmentan (transforman), debido al tiempo, luz solar y temperatura. De esta forma, de acuerdo con los resultados experimentales de los autores, las larvas fueron capaces de sobrevivir durante siete semanas al consumir las diferentes bolsas; asimismo, estas larvas tienen mayor capacidad de biodegradar bolsas fabricadas con PLA en comparación con bolsas de polietileno.

Capítulo 1

Modelo para la toma de decisiones en gestión integral de residuos sólidos en comunidades anfibias de La Mojana, Colombia. Revisión bibliográfica

Jorge Edwin Cárdenas de La Ossa¹

Olga Lucia Ocampo²

Jairo Toro Díaz³

<https://doi.org/10.61728/AE20252090>



¹ Universidad de Córdoba, Colombia. e-mail: jorgecardenaso@correo.unicordoba.edu.co

² Universidad Autónoma de Manizales, Colombia. e-mail: olocampo@autonoma.edu.co

³ Universidad Autónoma de Manizales, Colombia. e-mail: jtorod@autonoma.edu.co

1. Introducción

En el mundo, miles de personas habitan, desarrollan sus labores y dependen económicamente de entornos acuáticos, como los humedales, ríos, caños, océanos, deltas y llanuras propensas a inundaciones. La interacción constante entre el agua, el suelo y las comunidades ha generado nuevas perspectivas teóricas y etnográficas para comprender la vida humana en estos entornos húmedos (Gutiérrez Campo y Escobar Jiménez, 2021). Según Fals (1979), esta dinámica está regulada por costumbres, creencias y prácticas relacionadas con el cuidado del entorno natural, el uso de las tecnologías y las normas de producción. Estos territorios, denominados anfibios por su coexistencia dinámica entre ambientes terrestres y acuáticos, enfrentan desafíos socioecológicos complejos (Restrepo-Marín et al., 2022).

Este tipo de desafíos afecta el desarrollo de las comunidades, causando consecuencias sociales, económicas y ambientales, por lo que es objeto de investigación y conlleva su posterior análisis.

En Colombia, la gestión inadecuada de residuos sólidos intensifica los efectos adversos tanto en el medioambiente como en la salud. Actualmente, el país genera 26.25 millones de toneladas de residuos al año; de estos, el 48.2 % proviene de hogares y de este porcentaje el 86.3 % corresponde a residuos sólidos y el 13.7 % a productos residuales (Departamento Nacional de Planeación, 2020). Para el año 2050, se proyecta que la cantidad de residuos sólidos se duplique; por lo tanto, se requiere avanzar en estrategias efectivas de gestión que rompan el ciclo de ineficiencia, falta de reciclaje y recuperación de residuos, transitando hacia una economía circular en lugar de una lineal. Esta transición ha cobrado un impulso significativo en los últimos años como medio para abordar los acuciantes retos medioambientales a los que se enfrenta el mundo (De Angelis, 2022).

La aplicación de una economía circular requiere una perspectiva holística basada en el ecosistema, ya que implica la colaboración de diversas

partes interesadas, incluidas las empresas, los consumidores y los responsables políticos (Konietzko et al., 2020). Los modelos innovadores y los comportamientos de los consumidores asociados a la economía circular desempeñan un papel crucial a la hora de mitigar la degradación ambiental y el desgaste de los recursos, impulsar las oportunidades económicas a escala mundial, promover la creación de empleo local y mejorar la independencia energética (De Angelis, 2022). Sin embargo, el cambio hacia una economía circular no está exento de desafíos. La creación de un modelo integral de toma de decisiones que integre los principios de la economía circular con la dinámica de los ecosistemas puede servir como una herramienta valiosa tanto para los responsables políticos como para las empresas en la navegación de esta transición (Konietzko et al., 2020).

Diversos estudios destacan la importancia de la toma de decisiones en el ámbito de la gestión de residuos. Sandoval-Reyes et al. (2024) enfatizan la necesidad de orientar los procesos de toma de decisión a nivel local, establecer políticas para la gestión de residuos sólidos y clasificar modelos de optimización para este propósito (WM-OMs) utilizados en diversas disciplinas de estudio. Kurbatova y Abu-Qdais (2020) investigaron cómo convertir los residuos en energía mediante el modelo de análisis jerárquico de procesos (AHP). Guo (2018) propuso un innovador modelo de apoyo a la toma de decisiones para mejorar la sostenibilidad en la gestión de residuos orgánicos y aguas residuales en el Reino Unido, optimizando procesos complejos y evaluando impactos económicos y medioambientales. Mariyam et al. (2024) sugieren un marco temático para apoyar la toma de decisiones localizadas en Qatar, basado en una revisión sistemática de la literatura sobre economía circular, sostenibilidad y manejo de residuos plásticos.

Además, otros estudios abordan la economía circular en la gestión de residuos sólidos como estrategia para enfrentar el cambio climático. Tien et al. (2024) evaluaron la implementación de la economía circular en el sector del plástico, enfocándose en la reducción, reutilización y reciclaje, transformando residuos en productos útiles. Mohebbi et al. (2022) implementaron programas de reciclaje como activismo comunitario en el humedal Boujagh, donde la cooperativa de reciclaje de muje-

res Chen Kole ‘Lob gestiona residuos y educa a la comunidad sobre la relación entre la basura y la salud humana. Hanson (2017) evaluó el uso de residuos orgánicos de la agricultura y biomasa residual para generar energía eléctrica, promoviendo la sostenibilidad del humedal mediante estrategias de participación.

La Mojana es una subregión estratégica en Colombia que enfrenta una serie de desafíos que abarcan desde precariedades económicas, como la falta de empleo y acceso limitado a servicios básicos, hasta desequilibrios ambientales y problemas en gestión de residuos sólidos. Estas problemáticas se ven agravadas por amenazas adicionales asociadas al cambio climático como las inundaciones, aumentando su vulnerabilidad (Maria-Aguilera, 2005). A pesar de su importancia ambiental, La Mojana enfrenta fuertes desafíos debido a la crisis climática, que la expone a inundaciones con impactos en los aspectos social, económico, ambiental e institucional.

El propósito del presente estudio es proporcionar estrategias específicas para abordar la gestión integral de residuos sólidos en comunidades anfibias, con un enfoque particular en La Mojana, Colombia. Este enfoque se centra en el desarrollo de un modelo de toma de decisiones que evalúe el impacto del cambio climático, implemente estrategias climáticas para mejorar la gestión de residuos y promueva la economía circular mediante la participación comunitaria en la implementación sostenible de estas estrategias.

Para ello, se busca comprender los factores que inciden en el manejo de los residuos sólidos considerando las dinámicas de los territorios anfibios, y determinar las variables que influyen en esta gestión. Finalmente, se pretende validar el modelo desarrollado para que responda efectivamente a las dinámicas territoriales y complejidades de la región de La Mojana Colombiana, facilitando así la toma de decisiones informadas.

2. Materiales y métodos

El presente artículo, de carácter exploratorio y descriptivo, tiene como objetivo principal identificar y caracterizar el estado del arte de la pro-

ducción científica sobre la gestión integral de residuos sólidos en comunidades anfibias, con especial énfasis en el cambio climático. Para lograr este fin, se ha diseñado un enfoque metodológico que incorpora una Revisión Bibliográfica Sistemática (RBS), análisis bibliométrico y un análisis sistémico, permitiendo una comprensión profunda y detallada del tema en cuestión.

2.1. Metodología

Revisión Bibliográfica Sistemática (RBS): El proceso de RBS se estructuró en tres fases esenciales, conforme a los lineamientos propuestos por Conforto (2011):

- a) Planificación de la RBS: Se establecieron los objetivos de investigación y se definieron las preguntas guía. Además, se seleccionarán las bases de datos más pertinentes y se desarrollarán estrategias de búsqueda adecuadas, estableciendo criterios claros de inclusión y exclusión para recopilar estudios relevantes.
- b) Ejecución de investigaciones: Se llevó a cabo una búsqueda detallada en las bases de datos elegidas, seguida de un riguroso proceso de selección y filtrado de estudios basado en los criterios predefinidos. Los estudios seleccionados fueron sometidos a un análisis detallado mediante el software ATLAS.ti, facilitando la organización y el examen profundo del contenido relacionado con herramientas de modelación y sus aplicaciones en la evaluación de la vulnerabilidad.
- c) Síntesis de resultados: Las herramientas de modelación identificadas fueron evaluadas en términos de su eficacia, relevancia y aplicabilidad específica al contexto del estudio. Se prestó especial atención a su capacidad para abordar la vulnerabilidad multidimensional y adaptarse a las características territoriales específicas.

La herramienta de nube de palabras, implementada a través de ATLAS.ti, desempeñó un papel clave al resaltar los términos más significativos y recurrentes, facilitando la identificación de las principales tendencias y herramientas de modelación discutidas en la literatura.

2.2. Revisión bibliométrica

Se llevó a cabo una revisión bibliométrica utilizando el método VOS-viewer, con el objetivo de identificar los principales autores, revistas y líneas de investigación dentro del campo de estudio. Este análisis se basó en una revisión exhaustiva de artículos recopilados de bases de datos como Scopus y Science Direct.

El análisis preliminar de títulos, palabras clave y resúmenes permitió determinar cuáles de los trabajos resultantes de la búsqueda se relacionaban efectivamente con temas sobre gestión de residuos sólidos, economía circular, modelos de toma de decisiones, vulnerabilidad, humedales y adaptación al cambio climático.

Para esta revisión bibliográfica, se realizaron tres grupos establecidos según los objetivos, buscando herramientas e instrumentos empleados para la evaluación. Como resultado, se identificaron un total de 74.992 artículos publicados entre 2014 y 2024 (Tablas 1, 2 y 3).

Tabla 1
Selección de palabras claves

Grupo	(Campo 1)	(Campo 2)	(Campo 3)
1	Vulnerability	Climate Change	Sustainability
	Adaptation	Circular Economy	Wetland
	Circular Economy	Sustainability	Adaptation
	Solid wastes	Solid waste	Climate Change
	Wetland	Wetland	Solid Waste
	Vulnerability	Climate Change	Adaptation
Grupo	(Campo 1)	(Campo 2)	(Campo 3)
2	Adaptation	Climate Change	Vulnerability
	Climate Change	Adaptation	Resilience
	Decision making model	Circular Economy	Solid Waste
3	Circular Economy	Solid Waste	Decision making model
	Solid Waste	Decision making model	Circular Economy

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2*Número de artículos encontrados con el código*

Grupo	Código	Objetivo A	Número de artículos con el código
Base de datos: Scopus			
1	1	TITLE-ABS KEY (“Vulnerability”) AND TITLE-ABS-KEY (“Adaptation”) AND TITLE-ABS KEY (Circular AND Economy) AND TITLE-ABS-KEY (“Solid Waste”) AND TITLE-ABS-KEY (“Wetland”)	105
	2	TITLE-ABS KEY (“Climate AND Change”) AND TITLE-ABS-KEY (“Circular AND Economy”) AND TITLE-ABS KEY (Solid Waste) AND TITLE-ABS-KEY (“Wetland”)	3
	3	TITLE-ABS KEY (“Sustainability”) AND TITLE-ABS- KEY (“Wetland”) AND TITLE-ABS KEY (Adaptation) AND TITLE-ABS-KEY (“Climate change”) AND TITLE-ABS-KEY (“Solid AND Waste”)	4
	1	TITLE-ABS KEY (“Vulnerability”) AND TITLE-ABS KEY (climate AND change) AND TITLE-ABS-KEY (“Adaptation”)	5316
	2	TITLE-ABS KEY (“Adaptation” OR “Resilience”) AND TITLE-ABS-KEY (“Climate change”) AND TITLE-ABS-KEY (“Metrics”)	481

Grupo	Código	Objetivo A	Número de artículos con el código
Base de datos: Scopus			
3	3	TITLE-ABS KEY (“Resilience” OR “Climate change”) AND TITLE-ABS-KEY (“Metrics”) AND TITLE-ABS-KEY (“Adaptation”)	610
	4	TITLE-ABS KEY (“Adaptation” OR “Metrics”) AND TITLE-ABS- KEY (“Vulnerability”) AND TITLE-ABS-KEY (“Climate change”)	5163
	1	TITLE- ABS KEY (Decision AND Making AND Model) AND TITLE-ABS-KEY (“Circular AND economy”) AND TITLE-ABS-KEY (“solid AND waste”)	53
	2	TITLE- ABS KEY (Circular AND Economy) AND TITLE-ABS-KEY (“Solid Waste”) AND TITLE-ABS-KEY (“Decision AND Making AND Model”)	178
	3	TITLE- ABS KEY (Sustainability) AND TITLE-ABS-KEY (“Solid Waste”) AND TITLE-ABS-KEY (“Decision AND Making AND Model”)	54
Base de datos: Science Direct			
1	1	Vulnerability; Adaptation; Circular Economy; Solid waste; Wetland	170
	2	Climate Change; Circular Economy; Sustainability; Solid waste, Wetlands	991
	3	Sustainability; Wetlands; Adaptation; Climate Change; Solid Waste	1477
3	1	Decision making model; circular economy; solid waste.	8387
Base de datos: Google Scholar			
1		Vulnerability; Adaptation; Circular Economy; Solid waste; Wetland	16900
		Climate Change; Circular Economy; Sustainability; Solid waste, Wetlands	17400
		Sustainability; Wetlands; Adaptation; Climate Change; Solid Waste	17700

Fuente: elaboración propia.

2.3. Análisis sistémico

El análisis sistémico se centró en examinar en profundidad los objetivos, discusiones y resultados de los artículos seleccionados. Este proceso permitió identificar vacíos de conocimiento y oportunidades para investigaciones futuras, contribuyendo significativamente a la comprensión del tema.

Se analizaron exhaustivamente los resultados obtenidos mediante las cadenas de revisión previamente establecidas, enfocándose en los títulos, introducciones y conclusiones de los trabajos que se relacionan con la investigación. Se realizó una revisión y reevaluación detallada de la bibliografía correspondiente, aplicando criterios rigurosos.

La metodología adoptada permitió un análisis integral y detallado de la producción científica relacionada con la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos en comunidades anfibias, así como la comprensión amplia de las dinámicas actuales en la gestión de residuos sólidos en contextos afectados por el cambio climático. Este enfoque resaltó la importancia de una perspectiva multidisciplinar para abordar los desafíos impuestos por el cambio climático. La implementación de estas metodologías garantizó una selección informada y basada en evidencia de las herramientas de modelación más adecuadas.

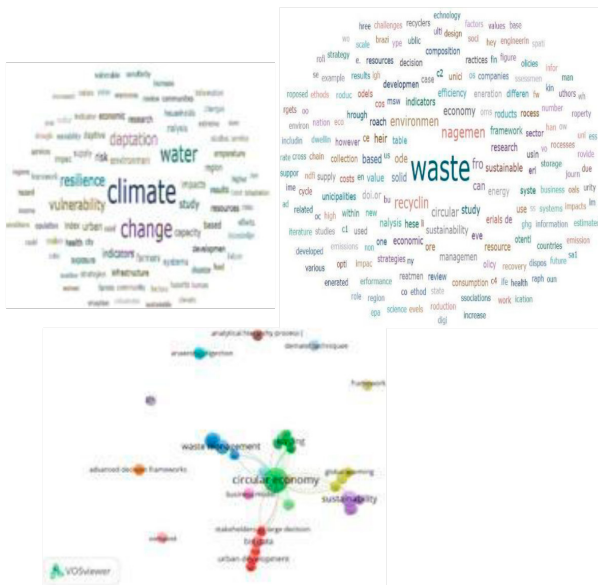
3. Resultados y discusión

3.1. Nube de palabras en el análisis cualitativo con ATLAS.ti

Se llevó a cabo un análisis de palabras clave para identificar rápidamente temas emergentes y conceptos dominantes en los datos. Las palabras que aparecen con mayor frecuencia en el contenido textual se muestran en una nube de palabras. El Gráfico de Nubes (Figura 1) organiza las palabras por temas, asignando un tamaño de fuente a cada término según su peso o nivel de importancia. Para contextualizar estos resultados, se utilizó ATLAS.ti para revisar los fragmentos de texto asociados con las palabras clave. Los términos más dominantes en la búsqueda fueron cambio

climático, vulnerabilidad, adaptación, agua, resiliencia, residuos sólidos, economía, sostenibilidad circular, estrategias, asociaciones, ambiente y modelos de toma de decisiones.

Figura 1.
Nube de palabras y revisión de criterios



Fuente: elaboración propia desde herramienta ATLAS.ti

3.2. Portafolio bibliográfico

Luego de excluir elementos repetidos mediante la reevaluación bibliográfica, se obtuvo un total de 131 artículos que contaban con cierta relación con el tema de estudio. Este barrido recoge una serie de estudios relacionados con modelos de toma de decisiones en la gestión de los residuos sólidos. Así mismo, estudios enfocados en la adaptación y vulnerabilidad ante el cambio climático, abarcando desde la gestión de recursos hídricos hasta la resiliencia de sistemas agrícolas y comunidades en diversas regiones del mundo. A través de este amplio espectro de investigaciones, se pueden extraer varias conclusiones y apreciaciones clave sobre la relevancia y las tendencias en la investigación del cambio climático:

3.3. Diversidad geográfica

Los estudios reflejan una notable diversidad geográfica, cubriendo regiones que van desde África subsahariana hasta el sudeste asiático, pasando por América Latina y diferentes áreas de Australia y Europa. Esta variedad geográfica no solo resalta la universalidad del desafío que representa el cambio climático, sino que también subraya la necesidad de soluciones adaptadas a los contextos locales y regionales, reconociendo las diferencias en vulnerabilidad, capacidad adaptativa y necesidades específicas de cada lugar. En este contexto, los modelos de toma de decisiones son cruciales para desarrollar estrategias efectivas de gestión de residuos sólidos y promover la economía circular. Estos modelos deben ser flexibles para adaptarse a las condiciones locales y robustos para abordar desafíos globales, permitiendo una gestión eficiente y sostenible de los residuos mediante reducción, reutilización y reciclaje, con la participación de las comunidades.

Interdisciplinariedad

La interdisciplinariedad de los estudios es evidente, integrando aspectos socioeconómicos, técnicos, ambientales y de salud pública. Esta aproximación multidisciplinaria es crucial para abordar el cambio climático de manera holística, considerando la complejidad de sus impactos y la interconexión entre sistemas humanos y naturales. La incorporación de conocimientos indígenas y locales en ciertos estudios resalta la importancia de integrar ciencia moderna con saberes tradicionales para una adaptación más efectiva. Además, la integración de modelos de toma de decisiones y enfoques de economía circular es esencial para desarrollar estrategias de gestión de residuos sólidos que sean sostenibles y adaptadas a contextos específicos.

3.4. La economía circular en la toma de decisiones

La gestión de residuos sólidos en los ecosistemas es un problema complejo que requiere una solución polifacética. Lograr resultados verdaderamente sostenibles exige la aportación y cooperación de todas las partes

implicadas, desde los organismos públicos y las organizaciones sin ánimo de lucro hasta los propios ciudadanos. La economía circular se esfuerza por minimizar la contaminación y el impacto ambiental alargando la vida útil de los materiales y recursos. Es esencial que los modelos de toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos incorporen aspectos técnicos, financieros, ecológicos y sociales. La integración de estos aspectos es crucial para el éxito de los modelos en la mejora de la sostenibilidad y eficiencia de la gestión de residuos. Además, la confiabilidad de los datos y la involucración de los actores clave son factores esenciales en la creación y validación de estos modelos.

3.5. Adaptación y mitigación

La adaptación al cambio climático es central, con estrategias que abarcan desde la modificación de prácticas agrícolas hasta la gestión de recursos hídricos y la planificación urbana. La mitigación se aborda de manera indirecta mediante la gestión responsable de los recursos y la reducción de la vulnerabilidad. La adaptación comunitaria y la participación local en los procesos de toma de decisiones son cruciales para el éxito. Integrar modelos de toma de decisiones con enfoques de economía circular es esencial. Estos modelos identifican y priorizan acciones sostenibles, promoviendo la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, y optimizando la gestión de residuos sólidos. Así, se fomenta una economía circular que mitiga los efectos del cambio climático y fortalece la resiliencia comunitaria mediante una planificación más efectiva y participativa.

3.6. Software VOSviewer

Se empleó la herramienta VOSviewer para orientar el diseño metodológico de este estudio. Para obtener información pertinente que abarque el contexto específico de la investigación, se realizó una identificación de palabras clave centradas en la zona de estudio, como La Mojana. Este enfoque condujo a la identificación de 37 investigaciones en la base de datos de Scopus (Tabla 3).

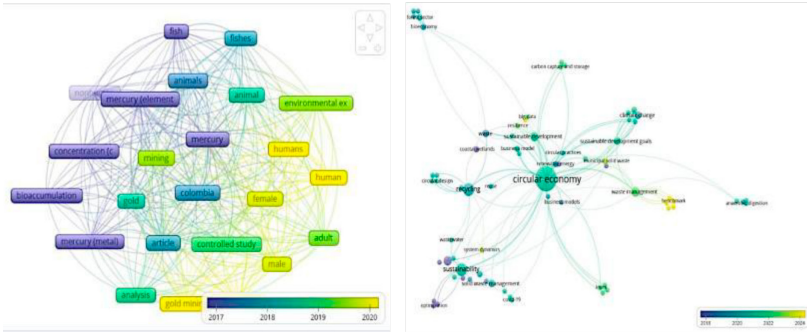
Tabla 3.
Búsqueda de base de datos “MOJANA”

Base de datos	Resultado	Palabra de búsqueda
Scopus	37	MOJANA

Fuente: elaboración de autor.

Así mismo, se realizó la identificación de conceptos o términos dominantes relacionados con la temática de estudio, como economía circular, cambio climático, gestión de residuos sólidos, sostenibilidad, reciclaje, entre otros. El análisis sistémico del portafolio bibliográfico proporcionó una visión detallada de criterios clave en las publicaciones, abordando temas como la gestión de residuos sólidos, cambio climático e impactos ambientales. La Figura 2 ilustra la incidencia y la evolución temporal de estos temas clave en la investigación.

Figura 2.
Análisis bibliométrico y mapa cronológico de coocurrencia de palabras claves



Fuente: elaboración propia desde herramienta VOSviewer.

Esta revisión bibliométrica revela una tendencia general de las investigaciones hacia enfoques exploratorios y descriptivos, detallando objetivos y metodologías. Sin embargo, se observa una carencia significativa de información específica sobre modelos para la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos con un enfoque de economía circular y cambio climático en comunidades anfibias.

4. Discusión

La revisión de la literatura efectuada en este trabajo, complementada con la perspectiva de diversos autores, pone en manifiesto que, si bien existe información relacionada con modelos para la toma de decisiones en el ámbito de la gestión de residuos en la reducción de la vulnerabilidad, la economía circular y la gestión del riesgo climático, muy pocos tienen en cuenta la aplicación en zonas rurales o su adaptación a ecosistemas anfibios. El estado de modelos para la toma de decisiones aplicado a contextos ecosistémicos debe reforzarse aún más en futuras investigaciones científicas mediante la consideración de entornos rurales y ecológicos. Este vacío de conocimiento subraya la necesidad urgente de abordar aspectos específicos como eventos climáticos extremos, inundaciones y la importancia de la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos en el contexto de estas comunidades. Enfocarse en estas áreas críticas no solo mejoraría la comprensión de los desafíos actuales, sino que también proporcionaría la base necesaria para el diseño de estrategias efectivas y sostenibles en estas comunidades vulnerables.

En la gestión de residuos sólidos en comunidades, si bien es una de las principales preocupaciones debido a la falta de infraestructuras y recursos, existen diversas alternativas donde pueden aplicarse estrategias de economía circular. Estudios como los de Dumé (2022), Doorga et al. (2022), Ahmed et al. (2022) y Kanani (2022) discuten la extracción de valor de residuos orgánicos mediante el compostaje, la generación de biogás y la fabricación de biofertilizantes. Además, la reutilización y reciclaje de empaques de productos y la transformación de papel en ladrillos para la construcción son prácticas recomendables, siempre que se precedan de una capacitación adecuada para la comunidad en el manejo de estas prácticas y tecnologías de gestión. Estos estudios demuestran la importancia de entender y aplicar conocimientos locales y específicos del contexto para abordar de manera efectiva los retos ambientales, lo cual es crucial en el contexto de comunidades anfibias.

La discusión sobre los modelos para la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos, como abordan Rafew et al. (2023) y Feyzi et al. (2019), sugiere que para el desarrollo de estos modelos es importante

abarcando puntos de vista técnicos, financieros y ecológicos, e integrar aspectos sociales y culturales. Estos autores destacan la relevancia de la participación de los actores claves y la confiabilidad de los datos. La integración de estos aspectos es crucial para el éxito de estos modelos en la mejora de la sostenibilidad y eficiencia de la gestión de residuos sólidos. En términos de futuras investigaciones, la limitación en la descripción superficial de intervenciones y la falta de consideración de factores cruciales en la gestión de residuos sólidos puede ser abordada inspirándose en los enfoques metodológicos y las evaluaciones detalladas presentes en los estudios mencionados. La necesidad de detallar las actividades de los programas de gestión de residuos sólidos para facilitar su adaptación y replicación resalta la importancia de crear instrumentos de medición específicos y válidos.

Este trabajo enfatiza la importancia de llenar el vacío de información para desarrollar estrategias efectivas y sostenibles que aborden la problemática de la gestión de residuos sólidos en comunidades anfibias, integrando las lecciones aprendidas de estudios sobre adaptación al cambio climático, resiliencia y la aplicación de conocimientos indígenas y locales. La inclusión de estos enfoques no solo contribuirá a mejorar la gestión de residuos en comunidades específicas, sino que también reforzará su capacidad de adaptación y resiliencia ante los desafíos ambientales actuales y futuros.

5. Conclusiones

La economía circular y la gestión integrada de residuos sólidos se enfrentan a desafíos únicos en los ecosistemas de humedales y pantanos. Estos entornos delicados y biodiversos requieren estrategias de gestión de residuos que consideren su vulnerabilidad. Uno de los principales retos es el impacto potencial de los residuos en la biodiversidad de los humedales por las actividades humanas; la disposición inadecuada de residuos puede provocar la contaminación de las masas de agua y el suelo, perjudicando a la flora y la fauna que dependen de estos ecosistemas (Mander y Chazarenc, 2015). Además, la naturaleza anegada de los humedales puede dificultar la aplicación de técnicas tradicionales de gestión

de residuos (Preussler et al., 2015). El análisis de los estudios revisados revela que la gestión de residuos sólidos es un campo polifacético que requiere planteamientos innovadores adaptados a los contextos locales. Los modelos de toma de decisiones en este ámbito integran aspectos sociales, económicos y medioambientales, destacando la importancia de la participación de las partes interesadas y la fiabilidad de los datos.

Estas técnicas y enfoques demuestran que la gestión de residuos sólidos puede beneficiarse enormemente de la adopción de modelos de toma de decisiones sofisticados y adaptativos, capaces de abordar la complejidad y variabilidad inherentes a los sistemas de residuos. La integración de criterios económicos, sociales y medioambientales, junto con la participación de las partes interesadas y el uso de datos precisos, es crucial para el éxito de estos modelos en la mejora de la sostenibilidad y eficiencia de la gestión de residuos sólidos. Estos ecosistemas presentan interdependencias complejas que la investigación tradicional no suele captar. Una simulación de dinámica de sistemas y toma de decisiones conceptuales podría modelizar eficazmente la red de interacciones hidrológicas, biológicas y antrópicas que dan forma a estas zonas. Un modelo de este tipo permitiría experimentar in situ distintos escenarios ambientales, económicos y sociales. Se podría comprobar cómo repercuten en el sistema las políticas alternativas de gestión de residuos o conservación, evaluando los efectos de segundo orden sobre la biodiversidad, la salud humana y la productividad regional, entre otros.

El planteamiento ofrece una perspectiva integrada que considera la marisma como un conjunto anidado de procesos dinámicos y no como componentes aislados. Con módulos especializados que tienen en cuenta la función ecológica, la actividad económica, el bienestar público y otros factores, el modelo se convierte en una ayuda para la planificación estratégica. Aporta información sobre las intervenciones que optimizan la sostenibilidad y la capacidad de recuperación a largo plazo, un conocimiento crucial para salvaguardar estos hábitats precarios, pero de incalculable valor.

Incorporar la relevancia de la economía circular y su relación con el cambio climático en el contexto de la gestión de residuos sólidos en comunidades anfibias enriquece y complejiza aún más nuestras conclu-

siones. La economía circular ofrece un marco prometedor para abordar simultáneamente los desafíos del cambio climático y la gestión de residuos, al fomentar la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, minimizando así la generación de desechos y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la extracción, producción y disposición de recursos. En resumen, la integración de la economía circular y modelos de toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos en comunidades anfibias no solo es esencial para enfrentar el cambio climático de manera efectiva, sino que también representa una oportunidad para repensar y rediseñar sistemas de gestión de residuos que sean resilientes, adaptativos y capaces de soportar las dinámicas complejas de estas comunidades únicas. La transición hacia la economía circular en estas áreas puede proporcionar un modelo para la gestión sostenible de residuos que pueda ser replicado y adaptado en otros contextos vulnerables al cambio climático.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, M. (2005). *La economía del Departamento de Sucre: Ganadería y sector público*. Banco de la República. <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-63-VE.pdf>
- Aguilera, M. (2009). *Ciénaga de Ayapel: Riqueza en biodiversidad y recursos hídricos*. Banco de la República (Banco Central de Colombia), 112, 136-197. <https://www.banrep.gov.co/es/cienaga-ayapel-riqueza-biodiversidad-y-recursos-hidricos>
- Ahmed, Z., Mahmud, S., & Acet, D. H. (2022). Circular economy model for developing countries: Evidence from Bangladesh. *Heliyon*, 8(5), e09530. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09530>
- De Angelis, R. (2022). Circular economy business models: A repertoire of theoretical relationships and a research agenda. *Circular Economy and Sustainability*, 2(2), 433-446. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00133-x>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Guía nacional para la adecuada separación de residuos*. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/ViviendaAguayDesarrolloUrbano/Guia_ResiduosSolidos_Digital.pdf

- Doorga, J. R. S., Rughooputh, S. D. D. V., Chung, S. Y., & McGivern, A. (2022). A geospatial approach for addressing long-term solid waste management issues: Extracting value from waste. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130282. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130282>
- Dumée, L. F. (2022). Circular materials - An essay on challenges with current manufacturing and recycling strategies as well as on the potential of life cycle integrated designs. In *Circular Economy and Sustainability* (pp. 359-372). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821664-4.00008-X>
- Fals Borda, O. (1979). Historia doble de la Costa. Universidad Nacional de Colombia, Banco de la República, *El Áncora*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2992>
- Feyzi, S., Khanmohammadi, M., Abedinzadeh, N., & Aalipour, M. (2019). Multi-criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101513. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101513>
- Guo, M. (2018). Multi-scale system modelling under circular bioeconomy. *Computer Aided Chemical Engineering*, 43, 833-838. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50146-7>
- Gutiérrez Campo, R., & Escobar Jiménez, K. (2021). Amphibious territory and dispossession in a protected wetland area of the Colombian Caribbean. *Revista de Estudios Sociales*, 76, 75-92. <https://doi.org/10.7440/res76.2021.06>
- Hanson, A.-M. (2017). Women's environmental health activism around waste and plan pollution in the coastal wetlands of Yucatán. *Gender & Development*, 25(2), 221-234. <https://doi.org/10.1080/13552074.2017.1335450>
- Kanani, R. (2022). *Equilibrium modeling and statistical analysis of struvite precipitation for nutrient recovery from corn-ethanol downstream process*. In *Circular Economy and Sustainability* (pp. 463-490). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821664-4.00022-4>
- Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2020). A tool to analyze, ideate and develop circular innovation ecosystems. *Sustainability*, 12(1), 417. <https://doi.org/10.3390/su12010417>

- Kurbatova, A., & Abu-Qdais, H. A. (2020). Using multi-criteria decision analysis to select waste to energy technology for a Mega city: The case of Moscow. *Sustainability*, 12(23), 9828. <https://doi.org/10.3390/su12239828>
- Mander, Ü., & Chazarenc, F. (2015). Wetland pollutant dynamics and control. *Ecological Engineering*, 80, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.03.003>
- Mariyam, S., Cochrane, L., Al-Ansari, T., & McKay, G. (2024). A framework to support localized solid waste management decision making: Evidence from Qatar. *Environmental Development*, 50, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.100986>
- Mohebbi, N., Nouri, J., Khorasani, N., & Riazi, B. (2022). Environmental management for human communities around wetlands adjacent urban region by ecological risk approach. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2022.01.01>
- Preussler, K. H., Mahler, C. F., & Maranhão, L. T. (2015). Performance of a system of natural wetlands in leachate of a posttreatment landfill. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(8), 2623-2638. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0674-0>
- Rafew, S. M., Razul, I. M., & Kraft, E. (2023). A system dynamics based policy simulation approach to reduce plastic waste flow for inland and riverine area in Khulna City of Bangladesh. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3205338/v1>
- Restrepo Marín, L., Arboleda Lopera, A., & Pedroza Valdez, C. (2022). Cultura material del hábitat anfibio: un caso de estudio en Bocas del Atrato en Colombia. *Módulo Arquitectura CUC*, 30, 70-98. <https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.30.1.203.03>
- Sandoval-Reyes, M., He, R., Semeano, R., & Ferrão, P. (2024). Mathematical optimization of waste management systems: Methodological review and perspectives for application. *Waste Management*, 174, 630-645. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.10.006>
- Tien, N. D., Lam Duyen, T. N., Thanh Huyen, N. T., Anh, P. Q., Oanh, N. T., Tich, V. V., Dat, D. T., Hong Hanh, N. T., & Trang, V. H. (2024). Community-based ecotourism for sustainability: An evaluative analy-

sis of Binh Son district, Quang Ngai province in Vietnam. *Social Sciences and Humanities Open*, 9, 100807. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100807>

Capítulo 2

Gobernanza ambiental a través de la formulación e implementación de una estrategia regional para la gestión integral de residuos ordinarios en la jurisdicción de Corpoboyacá

Juan Camilo Monroy Ramírez¹

<https://doi.org/10.61728/AE20252106>



¹ Corporación Autónoma Regional de Boyacá. E-mail: jmonroy@corpoboyaca.gov.co

1. Introducción

La Gestión integral de los residuos sólidos (GIRS), en la mayoría de los municipios de Colombia, requiere de una intervención dirigida a fortalecer a las instituciones para la gestión intersectorial e interinstitucional, la planificación, la gobernanza en el ejercicio de autoridad, la asignación de recursos para dar soluciones eficientes y sostenibles desde el punto de vista económico, organizacional y que fomente la responsabilidad requerida, dado el progresivo deterioro ambiental generado con la forma actual de enfrentar el tema.

Desde la Corporación Autónoma de Boyacá, en su plan de acción institucional para el periodo 2020-2023, denominado “Acciones sostenibles: Tiempo de Pactar la Paz con la Naturaleza”, teniendo en cuenta la presiones que enfrenta el planeta, un cambio sustancial en la manera de comprender y planificar las relaciones sociedad-naturaleza, buscando cambiar el modelo económico lineal tradicional por uno circular, así mismo, buscando la protección y usos sostenible, de los recursos naturales a través de una gobernanza efectiva, identificando quiénes tienen la autoridad, la responsabilidad y el poder de facto para tomar de decisiones, procurando que el valor de los productos y materias primas recuperadas, se mantengan durante un mayor periodo en un nuevo ciclo de vida, para lo cual se ha planteado la articulación de medidas en los tres niveles: individuales, desde los procesos de educación; a nivel de organizaciones, impulsando acuerdos de buenas prácticas, uso eficiente, ahorro, gestión adecuada de residuos, conformación de procesos de restauración e islas verdes, tanto a nivel privado, público y comunitario; por ultimo a nivel regional, generando acuerdos a nivel gubernamental y gremial, de modo que se consigan coordinar las acciones para generar impactos regionales en el territorio.

De ahí que surge el presente documento con la estrategia de residuos sólidos “Transformando realidades”, el cual es un diagnóstico de los

PGIRS de los diferentes entes territoriales municipales de la jurisdicción, de acuerdo con los impactos socioecosistémicos, generados por las actividades de recuperación, reciclaje y manejo de residuos aprovechables, disposición final, de la infraestructura existente relacionada con plantas de aprovechamiento de residuos orgánicos y establecimientos de almacenamiento y comercialización de material recuperado; además, una fase prospectiva que surge como herramienta para la anticipación de futuro y, por lo tanto, de planeación en el largo plazo para el territorio. Por último un plan de acción para programas como la gobernanza y gobernabilidad en la gestión integral de residuos sólidos, el acompañamiento al proceso de formulación, actualización e implementación de PGIRS, la educación, participación comunitaria y comunicación, la gestión de residuos especiales, la gestión y el fortalecimiento de la economía circular.

1.1. Marco contextual

1.1.1. Corporación Autónoma Regional de Boyacá

La ley 99 de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medioambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA, y se dictan otras disposiciones”, definió que las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible tendrán por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre el medioambiente y los recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La Corporación Autónoma Regional de Boyacá-Corpoboyacá, creada por la ley 99 de 1993 es un ente corporativo de carácter público, integrado por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica, dotada de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargada por la

ley de administrar dentro del área de su jurisdicción (87 municipios del Departamento de Boyacá), el medioambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio de Ambiente y de Desarrollo Sostenible. Hace parte del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y formula sus planes estratégicos como el Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) y el Plan de Acción Cuatrienal (PAC), articulados al Plan Nacional de Desarrollo y a los planes regionales, departamentales y municipales a través de procesos participativos.

La jurisdicción de Corpoboyacá está constituida por 87 municipios de Boyacá, distribuidos en 10 provincias así:

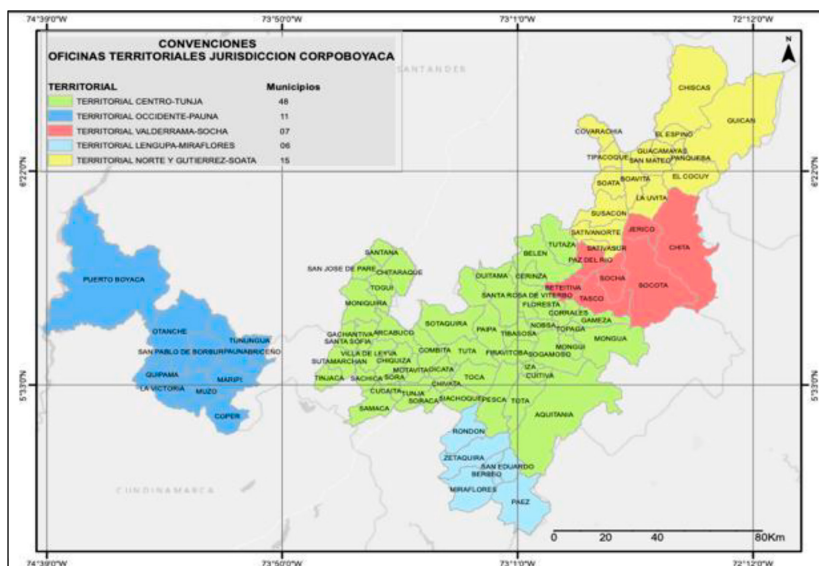
Tabla 1

Jurisdicción de la corporación autónoma regional de Boyacá

Provincia	Municipios
Centro	Sotaquirá, Tuta, Combita, Oicatá, Chivatá, Toca, Siachoque, Soracá, Sora, Tunja, Cucaita, Samacá, Chíquiza, Motavita.
Márquez	Rondón
Lengupa	Zetaquirá, Berbeo, Miraflores, San Eduardo, Páez
Sugamuxi	Tibasosa, Nobsa, Sogamoso, Firavitoba, Iza, Monguí, Cuitiva, Tota, Aquitania, Pesca, Mongua, Gámeza, Tópaga
Tundama	Paipa, Duitama, Floresta, Santa Rosa de Viterbo, Busbanzá, Corrales, Cerinza, Belén, Tutazá
Valderrama	Paz de Río, Socha, Tasco, Betéitiva, Socotá, Jericó, Chita.
Norte	Sativanorte, Sativasur, San Mateo, La Uvita, Boavita, Covarachía, Tipacoque, Soatá, Susacón
Occidente	Otanche, San Pablo de Borbur, Pauna, Tununguá, Briceño, Maripí, Coper, Muzo, La Victoria, Quípama, Puerto Boyacá
Ricaurte	Villa de Leyva, Santana, Chitaraque, San José de Pare, Toguí, Moniquirá, Arcabuco, Gachantivá, Santa Sofía, Sutamarchán, Tinjacá, Sáchica
Gutiérrez	Chiscas, Guicán, El Espino, Guacamayas, Panqueba, El Cocuy.

Fuente: Adatado de PAC-Corpoboyacá, 2024.

Figura 1.
La jurisdicción de Corpoboyacá



Fuente: Adatado de PAC-Corpoboyacá, 2024.

1.2. Marco normativo

La necesidad de adelantar una correcta gestión de los residuos sólidos junto con el factor determinante del acelerado crecimiento de las ciudades son sinónimos de los que propende el desarrollo sostenible (Cepal, N. U., 2019), de tal forma que la Declaración de Río de 1992 señala la importancia de desarrollar instrumentos legales que regulen de manera adecuada la protección del medioambiente. Colombia, no ajena a la regulación de los residuos sólidos, cuenta con un amplio desarrollo normativo, analizando de forma diferenciada los residuos ordinarios de los peligrosos. Desarrollo que incluye políticas ambientales, lineamientos, pactos estratégicos, entre otros. En este sentido, la negativa por parte de todos los actores en adelantar una correcta gestión de residuos sólidos acarrea problemas que afectan directamente a los recursos naturales, aumento de impacto ambiental negativo, factores del medioambiente con dominio en la salud del ser humano, consecuencias que se derivan de tal negativa (Figura 2).

Figura 2

Jerarquía de la principal Normativa asociada la Gestión de Residuos sólidos en el marco de los residuos ordinarios



Fuente: elaboración propia, 2024.

No solo el ejecutivo ha buscado regular la gestión integral de los residuos sólidos, mediante leyes, decretos o resoluciones; como fuente formal del derecho, también encontramos la jurisprudencia, y en este sentido las altas cortes, mediante sentencias de tutela y autos, se han pronunciado en el sentido de la necesidad de disponer de forma correcta los residuos y más allá de eso, de la importancia de dignificar la labor de los segregadores de oficio. El aumento en la producción de los residuos sólidos sin la adecuada gestión conlleva impactos como la disminución de la vida útil de los sitios de disposición final, degradación del suelo y subsuelo, contaminación de las fuentes hídricas, aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales afectan la calidad de vida y la posibilidad de alcanzar un desarrollo sostenible. Por lo anterior, la importancia de conocer e interpretar de forma correcta la normatividad en materia de gestión integral de residuos sólidos, asumiendo de forma responsable las obligaciones y ejerciendo de forma sostenible nuestros derechos.

Como quiera que el instrumento de planificación y gestión municipal denominado PGIRS debe estar articulado con los demás instrumentos de planificación del territorio, entonces toda la normatividad que sea emitida

por el Legislador será obligación de los municipios y distritos articularla con sus planes de desarrollo, de ordenamiento y de gestión integral, como es el caso de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal, llantas usadas, aceites de cocina usados (ACU), residuos sólidos orgánicos aprovechables y plásticos de un solo uso. En este sentido, la normatividad vigente, que en su mayoría son Resoluciones Ejecutivas y Decretos Reglamentarios, emitidos desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los cuales se encuentran en el mismo rango en una jerarquía.

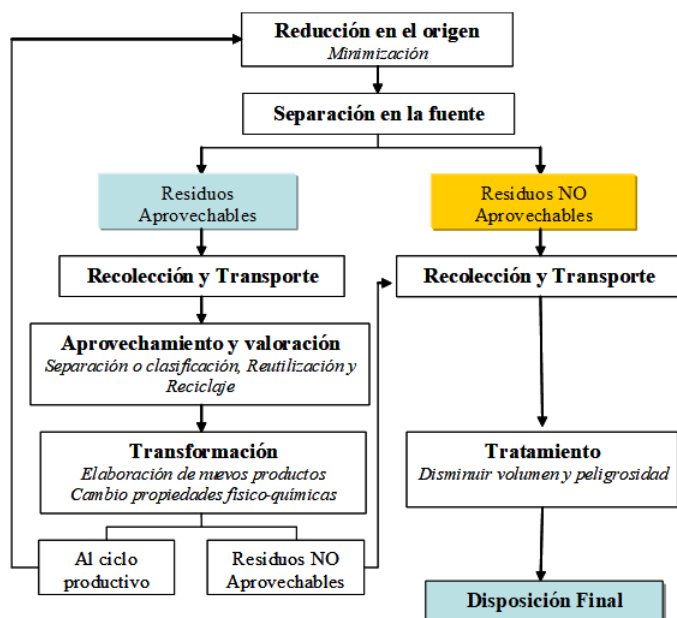
1.3. Gestión integral de los residuos sólidos ordinarios

El manejo integral de los residuos sólidos en la mayoría de los municipios del país requiere de una intervención dirigida a fortalecer a las instituciones para la gestión intersectorial e interinstitucional, la planificación, el ejercicio de autoridad, la asignación de recursos para dar soluciones eficientes y sostenibles desde el punto de vista económico, organizacional y que fomente la responsabilidad requerida, dado el progresivo deterioro ambiental generado con la forma actual de enfrentar el tema.

Este proceso supone un reto para fortalecer las entidades y autoridades relacionadas con el tema de forma coordinada, para recopilar y sistematizar la información de manera que permita la planificación, el ordenamiento territorial, especialmente del tema de aprovechamiento, la respectiva modernización empresarial que permita su autonomía administrativa, financiera y comercial. El aprovechamiento es un procedimiento valioso que ayuda a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir la contaminación ambiental. De igual forma, el aprovechamiento tiene un potencial económico, ya que los materiales recuperados son materia prima que puede ser comercializada.

Figura 3

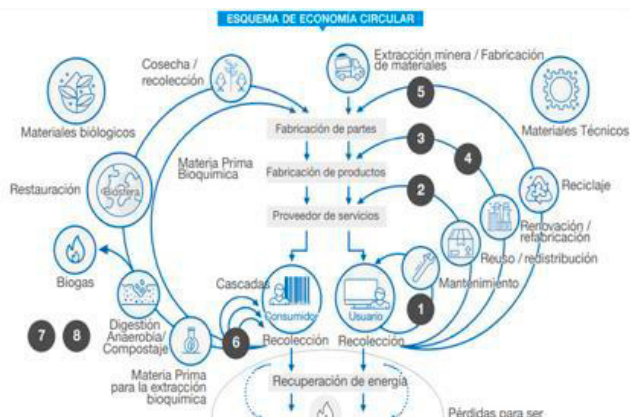
Esquematzación del manejo integral de los residuos



Fuente: Adaptado de Tchobanoglous, G. (2009).

1.4. Economía circular

Con el lanzamiento de la Estrategia Nacional de Economía Circular, Colombia avanza en la transformación de las cadenas de producción y consumo, a través del cierre de ciclos de materiales, agua y energía, en nuevos modelos de negocio y se convierte en pionero en Latinoamérica. A partir de esta iniciativa, el Gobierno Nacional promueve la innovación y la generación de valor en sistemas de producción y consumo a través de optimizar, compartir, intercambiar, reciclar y regenerar materiales, como agua y energía (Figura 4).

Figura 4*Esquematización de la economía circular*

Fuente: Adaptado de Ellen MacArthur Fundación, (2013).

Esta estrategia plantea las acciones que debe implementar el país en la búsqueda de la transformación de las cadenas de producción y consumo, por medio del manejo eficiente de materiales, agua y energía, la innovación tecnológica, la generación de nuevos modelos de negocio que incorporen la gestión de los residuos y el cambio en el estilo de vida de la población colombiana con sus líneas priorizadas (1. Flujos de materiales industriales y productos de consumo masivo; 2. Flujos de materiales de envases y empaques; 3. Flujos de biomasa; 4. Flujos de agua; 5. Fuentes y flujos de energía; 6. Flujos de materiales de Construcción).

1.5. Gobernanza ambiental

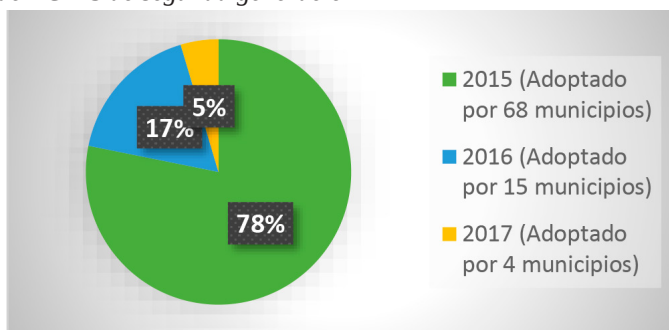
Son las interacciones entre estructuras, procesos y tradiciones que determinan cómo el poder y las responsabilidades son ejercidos, cómo se toman las decisiones y cómo tienen voz los ciudadanos y otros interesados. En palabras menos elegantes, aunque posiblemente más claras, la gobernanza tiene que ver con tomar decisiones y garantizar las condiciones para su efectiva implementación. Es el proceso mediante el cual se desarrolla y ejerce la autoridad y la responsabilidad en el transcurso del tiempo. Se trata de quién toma las decisiones, y cómo, incluso en relación con los procesos de aprendizaje y las instituciones que se desarrollan en

la sociedad. En términos de desarrollo y respeto hacia la naturaleza, la realidad, la política y las prácticas de conservación siempre han estado enredadas con las luchas por el “poder sobre la naturaleza” (gobernanza) que se han desarrollado a lo largo de la historia. Las consideraciones de gobernanza sobre quiénes tienen la autoridad, la responsabilidad y el poder de facto para tomar e implementar las decisiones son cruciales para la conservación de la naturaleza; por esto es importante tener clara la coherencia del contexto ecológico y sociocultural, lo cual es un tema básico en la gobernanza para la conservación.

2. Diagnóstico de los PGIRS de la jurisdicción

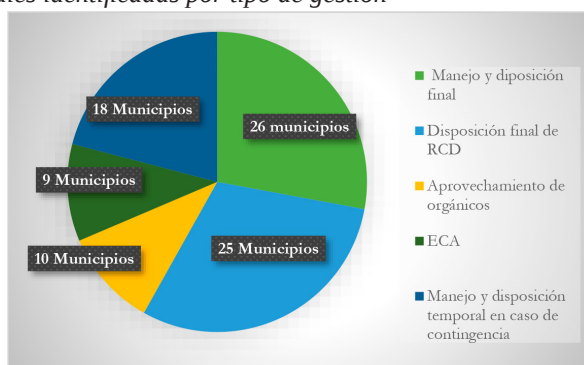
2.1. Estado de la formulación y actualización de los PGIRS

Los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de primera generación fueron formulados como resultado de la reglamentación establecida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) en el año 2003. Para el año 2014, el MAVDT y el MADS expiden la resolución 754 de 2014, la cual introduce los conceptos de regionalización basados en la asociatividad, incorpora el análisis de viabilidad de aprovechamiento y el programa de inclusión de recicladores. Adopta así la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). La segunda generación de PGIRS tiene en cuenta el tamaño del municipio; así, para los pequeños se simplifica la formulación, de manera que puedan enfocarse en el diseño de programas y proyectos acordes con sus capacidades administrativas y de esta forma ser más efectivos en el momento de su implementación. En la jurisdicción de Corpoboyacá de los 87 municipios, 68 adoptaron su PGIRS actualizado en el año 2015, 15 lo hicieron en el año 2016 y 4 en el año 2017, los cuales se han venido ajustando de acuerdo con los plazos establecidos en la normativa (Figura 5).

Figura 5*Adopción de PGIRS de segunda generación**Fuente: elaboración propia, 2024.*

2.2. Áreas potenciales en los diferentes componentes de la gestión de residuos

De acuerdo con el Decreto 2981 de 2013, es obligación del municipio o distrito definir las áreas para la localización de estaciones de clasificación y aprovechamiento, plantas de aprovechamiento, sitios de disposición final de residuos y estaciones de transferencia, de acuerdo con los resultados de los estudios técnicos, requisitos ambientales, así como en el marco de las normas urbanísticas del respectivo municipio o distrito (Figura 6).

Figura 6*Áreas potenciales identificadas por tipo de gestión**Fuente: Corpoboyacá, 2024.*

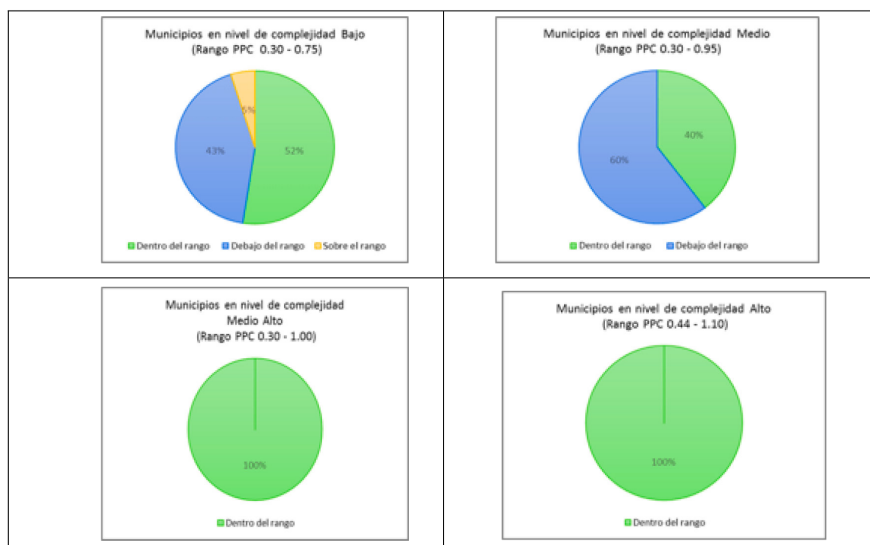
De acuerdo con lo anterior, de los 49 municipios que identificaron áreas potenciales para la gestión integral de residuos sólidos, el 29 % lo hicieron para disposición final, el 27 % para disposición final de RCD, el 12 % para aprovechamiento o tratamiento de orgánicos, el 11 % para ECA y el 21 % para manejo y disposición temporal en caso de contingencia. Igualmente, 38 municipios de la jurisdicción no han realizado la identificación de áreas para la localización de ECAS, plantas de aprovechamiento, sitios de disposición final de residuos y estaciones de transferencia, aunque es una obligación del municipio o distrito. Así mismo, de los 49 que tienen áreas identificadas, tan solo ocho tienen estas áreas incorporadas dentro del Ordenamiento Territorial; sin embargo, estos no cuentan con la infraestructura propicia para desarrollar la actividad proyectada, lo que no permite una gestión adecuada ambiental, sanitaria, social y financieramente viable de los residuos sólidos municipales.

2.3. Producción per cápita

La producción per cápita (PPC) de los residuos sólidos hace referencia a la cantidad de residuos sólidos que genera una persona en kilogramos durante un periodo de tiempo determinado, por lo general de un día. En la línea base de los PGIRS municipales se relaciona la cantidad de residuos sólidos generados y la producción per cápita de estos. Con la resolución 330 de 2017 y sus más recientes actualizaciones, no se adoptan las directrices RAS en las que se encuentra el título F, el cual contenía la metodología para determinar la complejidad de los municipios de acuerdo al número de habitantes, criterio que no aplica según la referida resolución. No obstante, se determinó tomar como referencia para esta estrategia el Título F con el fin de identificar el valor de la PPC para cada uno de los municipios en la línea base de los PGIRS e indicar si se encuentran dentro del rango establecido por el RAS (Figura 7).

Figura 7

Valores indicativos PPC.



Fuente: Adaptado de seguimiento a los PGIRS, CORPOBOYACA, 2024.

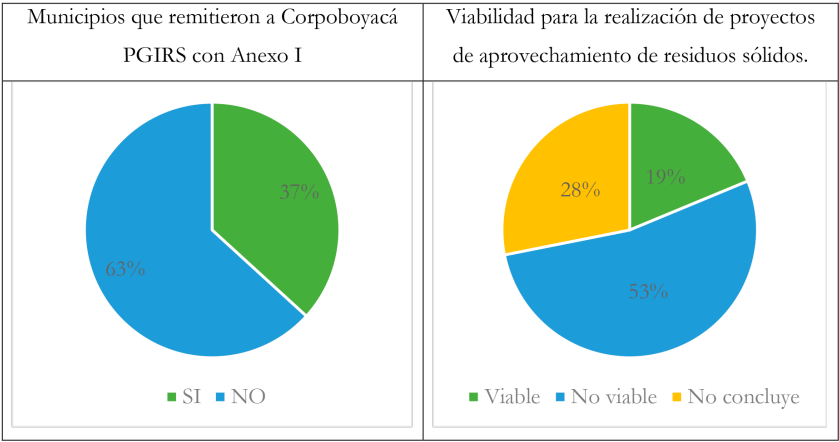
El 61 % de los municipios está dentro de los valores indicativos para PPC. El 36 % está por debajo del valor mínimo, enfatizando que no es requisito estar entre el rango de estos, pues no obvia la necesidad de determinarlos de manera experimental, y el 3 % está por encima del valor máximo, lo cual pudo presentarse por inconsistencias en el cálculo de la PPC. De igual manera, es recomendable que las personas prestadoras del servicio de aseo calculen este valor con una frecuencia mínima anual. Lo que permite diseñar estrategias de minimización y establecer metas de reducción por los municipios.

2.4. Aprovechamiento

Los PGIRS deben incorporar el aprovechamiento de residuos sólidos en los municipios, distritos y regiones a través de programas de inclusión de recicladores de oficio, estrategias de educación a la población en temas como la separación en la fuente y la responsabilidad en el manejo de residuos en vías y áreas públicas, el sistema de recolección selectiva,

la ubicación de los centros de clasificación y aprovechamiento y demás elementos necesarios para avanzar en la implementación de una política de desarrollo (MAVDT). El 37 % de los municipios presentaron anexo I, mientras que el 63 % no lo realizaron. Cabe resaltar que el anexo I permite determinar alternativas de reciclaje, compostaje, aprovechamiento energético y proyectos de acuerdo con las características sociales, económicas, ambientales, operativas y financieras de cada municipio (Figura 8).

Figura 8
Viabilidad de proyectos de aprovechamiento presentado por los municipios



Fuente: Adaptado de seguimiento a los PGIRS, CORPOBOYACA,2024.

Uno de los 87 municipios en jurisdicción de Corpoboyacá no realizó las caracterizaciones de sus residuos sólidos; así mismo, los municipios restantes no han efectuado una adecuada caracterización de los mismos. Aproximadamente el 66 % de los municipios ha llevado a cabo la caracterización correcta de sus residuos sólidos; el 34 % restante presenta una caracterización incompleta o no tiene un cierre de 100 %, lo cual está estrechamente relacionado con las necesidades de aprovechamiento del territorio, ya que no se puede determinar una PPC clara, así como las necesidades de aprovechamiento puntuales y regionales del territorio.

2.6. Identificación de las principales problemáticas

Se identificó a través del seguimiento a los PGIRS que, para la jurisdicción de Corpoboyacá, se deben mejorar las condiciones socioecosistémicas mediante la implementación de estrategias de gestión integral de residuos ordinarios, para lo cual se identificaron las principales problemáticas, las cuales son (Figura 9):

Figura 9

Resumen de las principales problemáticas en la jurisdicción para la GIRS

1. Bajos esquemas de regionalización
2. Los municipios presentan dentro de sus PGIRS proyectos relacionados con educación ambiental pero solo el 29% reporta actividades relacionadas
3. El 10% de los municipios tienen una producción Per Cápita que supera el valor promedio de PPC según el RAS.
4. 37% de los municipios presentan Anexo I: Análisis de mercado de residuos aprovechables dentro del PGIRS y el 19% presentan viabilidad para el aprovechamiento de residuos.
5. Tan solo el 49% de los municipios presentaron Anexo II: Lineamientos para la elaboración de censo de recicladores” dentro del PGIRS.
6. La implementación de las metas de aprovechamiento fue del 0% para 75 municipios para el 2020 y 61 municipio en el 2021 y 49 municipio para la vigencia 2022.
7. Solo el 13% de los municipios reportan las toneladas efectivamente aprovechadas de sus municipios.
8. En el 68% de los municipios se han adelantado procesos sancionatorios relacionados con disposición de residuos municipales.
9. Desconocimiento del marco legal (ACU, RCD, Envases y Empaques y Llantas usadas).

Fuente: elaboración propia, 2024-

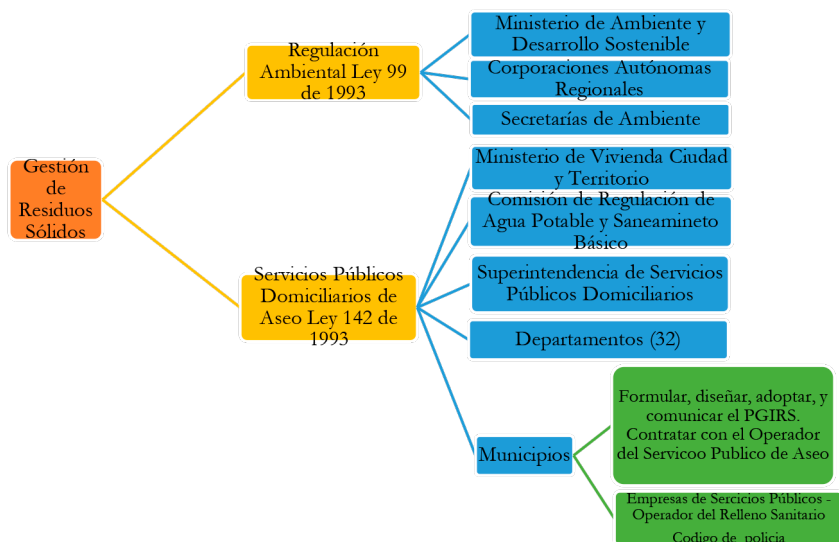
2.7. Identificación de actores

Dentro de la organización del Estado, las entidades que intervienen en la gestión integral de residuos sólidos se encuentran identificadas y cada una de ellas soporta sus funciones, deberes y obligaciones en la Constitución y en las normas, de tal forma que se supla de forma integral la protección

y conservación de los recursos naturales, siempre teniendo claro que desde las corporaciones autónomas regionales les compete únicamente el control y seguimiento exclusivamente a las metas de aprovechamiento durante la ejecución del PGIRS (Art. 90). Decreto 1077/2015: dichas autoridades se identifican así:

Figura 10

Entidades involucradas en la gestión integral de residuos sólidos



Fuente: Adaptado de Pachón, M. D. P. G., y Navas, O. D. A. (2017).

3. Formulación de la estrategia regional de residuos sólidos “transformado realidades”

La metodología empleada para este trabajo se ha desarrollado en una investigación cualitativa inductiva, basada en la búsqueda y análisis de diversas fuentes y datos recopilados necesarios para la GIRS de 87 municipios bajo jurisdicción de la Corpoboyacá, mediante la correlación de variables. Por lo tanto, después de identificar en forma analítica aquellas que describen el sistema, se procedió a evaluar la influencia que ejerce cada una sobre las demás mediante el software MIMAC, para poder determinar una estrategia, teniendo el siguiente contenido temático (Figura 11):

Figura 11
Ejes temáticos



Fuente: elaboración propia, 2024.

3.1. Identificación de variables

El análisis prospectivo parte de la identificación de variables clave de transformación para definir un marco prospectivo, las cuales se determinaron a partir de 4 ejes temáticos de análisis, los que se observan en la Figura 10. Posteriormente, se determinó que existen 18 variables relacionadas con los ejes temáticos de la estrategia denominada “Transformando Realidades”, como se puede ver en la siguiente tabla, donde se elaboraron las definiciones correspondientes a cada una de las variables, para facilitar su entendimiento en un lenguaje común y delimitar los aspectos relacionados a las mismas:

Tabla 6
Jurisdicción de la corporación autónoma regional de Boyacá

Nº	Variable		Descripción	Tema
1	Programas formu- lados	Pf	Programas que las administraciones municipales implementan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos bajo el instrumento PGIRS.	Educación ambiental
2	Programas articu- lados con PRAEs, CIDEA y PROCE- DA	Pa	Programas mencionados en el numeral anterior que son articulados programas departamentales de educación ambiental.	Educación ambiental
3	Participación de actores involucra- dos	Pai	Actores que desde sus campos de acción están relacionados con la gestión Integral de residuos sólidos	General

Nº	Variable		Descripción	Tema
4	Cultura ambiental de disposición final, aprovechamiento y tratamiento	Ca	Nivel de cultura ambiental que se ha identificado al interior de la jurisdicción.	Educación ambiental
5	Apoyo económico destinado para proyectos enfocados a la educación ambiental	Ae	La gestión que adelantan los alcaldes o gobernadores para ejecutar los proyectos.	Educación ambiental
6	Incentivos a las buenas prácticas	Ibp	Motivación a los entes territoriales, generadores, gestores y demás, que ponen en marcha dentro de su territorio las buenas prácticas en la gestión de los residuos.	Educación ambiental
7	Toneladas de residuos aprovechados	Tra	Las toneladas que no llegan a los rellenos sanitarios y se convierten en material aprovechable.	Aprovechamiento y tratamiento
8	Mecanismos de aprovechamiento	Ma	Plantas de tratamiento, aprovechamiento, puntos limpios, procesos de compost, lombricultura y/o ECA, entre otros.	Aprovechamiento y tratamiento
9	Inclusión de la ENEC	Ie	Forma de no continuar con la economía lineal, para darle paso a la economía circular, en articulación con la Estrategia Nacional.	Aprovechamiento y tratamiento
10	Residuos con mayor tendencia de aprovechamiento	Rta	Residuos que presentan mayor de aprovechamiento.	Aprovechamiento y tratamiento
11	Municipios con áreas destinadas a aprovechamiento	Mad	Municipios que en el PGIRS porcentaje han identificado áreas destinadas a infraestructura de servicio de aseo y han sido incorporadas en las herramientas de ordenamiento - EOT- PBOT - POT	Aprovechamiento y tratamiento

Nº	Variable		Descripción	Tema
12	Utilidad percibida de la actividad de aprovechamiento	Up	Utilidad percibida (ingresos económicos) durante el desarrollo de una actividad de aprovechamiento o por los operadores en marco de la actividad.	Aprovechamiento y tratamiento
13	Regionalización para aprovechamiento.	Ra	Programas tendientes a aunar esfuerzos para adelantar la actividad de aprovechamiento y/o tratamiento.	Aprovechamiento y tratamiento
14	Toneladas de residuos en lugares de disposición final	Tdf	Número de toneladas de residuos que no son susceptibles de aprovechamiento y que llegan a los rellenos sanitarios.	Disposición final
15	Áreas destinadas para disposición final	Adf	Disponibilidad de áreas destinadas a disposición final en el ordenamiento territorial municipal.	Disposición final
16	Método de disposición final	Mdf	Métodos que actualmente son usados para adelantar la disposición final.	Disposición final
17	Estado de botaderos a cielo abierto	Eba	Estado de cierre y clausura técnica de los botaderos a cielo abierto.	Disposición final
18	Regionalización. Disposición Final	Rdf	Programas tendientes a aunar esfuerzos para adelantar la actividad de disposición Final	Disposición final

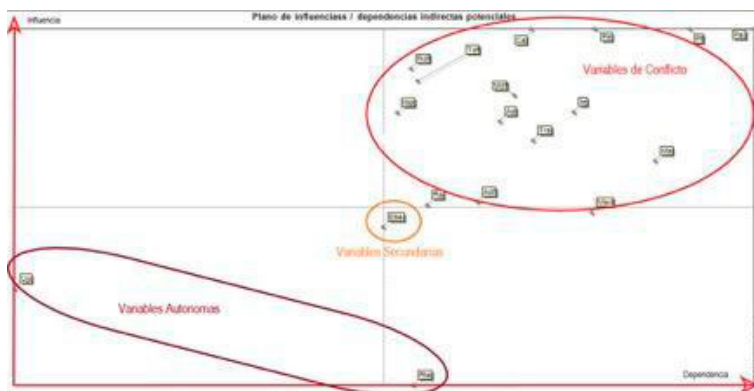
Fuente: elaboración propia, 2024

Las relaciones potenciales permiten hacer un análisis de lo que se presume pasará en el futuro, puesto que integra relaciones que surgirán más adelante y que, por lo tanto, no ejercerán su influencia en el sistema más que en el muy largo plazo (Godet, 1995). Las variables de conflicto son: “Programas formulados”, “Programas articulados con CIDEA y PROCEDA”, “Participación de actores”, “Cultura ambiental de disposición final, aprovechamiento y tratamiento”, “Apoyo económico para proyectos de educación ambiental”, “Incentivos a las buenas prácticas”, “Toneladas de residuos aprovechados”, “Mecanismos de aprovechamiento”, “Inclusión

de la ENEC”, “Municipios con áreas destinadas a aprovechamiento”, “Regionalización de disposición final”, “Toneladas de residuos en lugares de disposición final”, “Áreas definidas para disposición final”, “Método de disposición final” y “Regionalización de aprovechamiento” (Figura 12).

Figura 12

Relación de influencias/dependencias indirectas potenciales



Fuente: elaboración propia, 2024.

En la zona próxima al origen se sitúan las variables autónomas, con baja influencia y dependencia en el sistema que se denominan excluidas debido a que constituyen tendencias fuertes o factores relativamente autónomos. Son variables autónomas: “Utilidad percibida de la actividad de aprovechamiento” y “Residuos con mayor tendencia de aprovechamiento”. Teniendo clara la interacción de las diferentes variables, en relación con la GIRS para la jurisdicción de Corpoboyacá, se presupone un cambio importante en la gestión de los residuos sólidos, implementando programas e incentivos, estrategias destinadas a la minimización en la generación de los residuos sólidos urbanos y una adecuada separación en la fuente, que concluya en la correcta disposición final, mediante esta priorización, para lo cual se formulan los siguientes objetivos.

3.2. Plan de acción de la estrategia

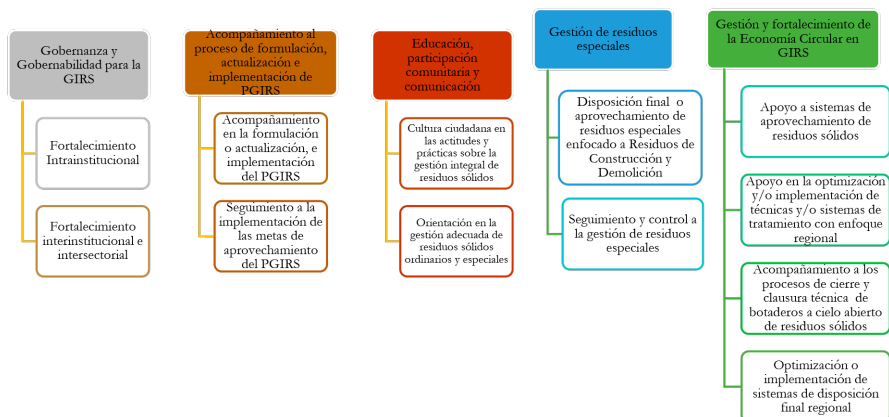
El plan de acción de la estrategia está constituido por programas, proyectos, actividades, metas, indicadores y cronograma, que llevarán al cumplimiento del objetivo principal de la misma, partiendo del cumplimiento de las necesidades de atención de las principales problemáticas, en relación de las variables identificadas y correlacionadas de acuerdo a la influencia y dependencia de estas, para lo cual se formulan los siguientes objetivos: (Figura 13).

Figura 13
Los objetivos



Fuente: elaboración propia, 2024.

Para atender a las necesidades de gestión, se crea la Estrategia Regional de Residuos Sólidos denominada “Transformando realidades”, la cual atiende a los objetivos planteados a corto (4 años), mediano (8 años) y largo plazo (12 años), esto determinado por los plazos que figuran en la formulación, actualización y seguimiento a los instrumentos de gestión que es el PGIRS, para lo cual se proponen 5 programas, 11 proyectos y 46 actividades (Figura 14).

Figura 14*Programas y proyectos de la estrategia**Fuente:* elaboración propia, 2024

4. Resultados de la implementación de la estrategia regional de residuos sólidos “transformado realidades”

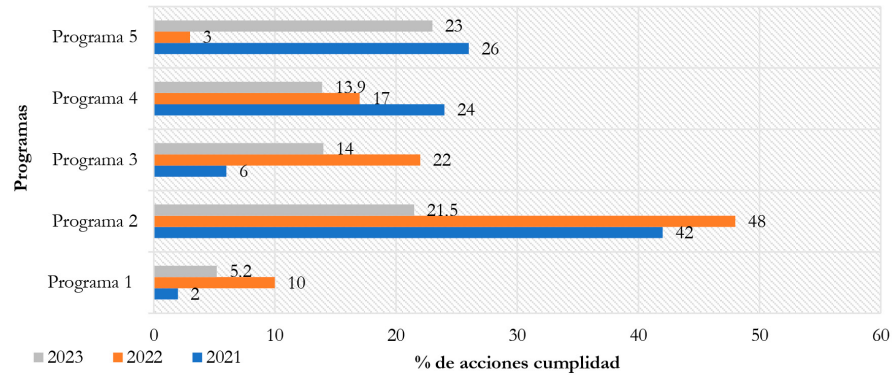
Para el 2020, se diseñó una estrategia para la gestión regional de residuos; se comenzó con su implementación en el 2021, a la vez que permite realizar actividades de seguimiento a los PGIRS municipales en lo competente a la Corporación, para apoyar y realizar seguimiento a las cadenas u organizaciones de recuperación y comercialización de residuos aprovechables, fortalecer la mesa regional de reciclaje y apoyar el establecimiento de proyectos modelo para el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos, con los siguientes resultados para su implantación a corto plazo (Tabla 3 y Figura 15).

Tabla 3
Resumen de la implantación de la estrategia a corto plazo

Programas		Año		
		2021	2022	2023
Programa 1	Gobernanza y gobernabilidad en la gestión integral de residuos sólidos	2	10	5
Programa 2	Acompañamiento al proceso de formulación, actualización e implementación de PGIRS	42	48	33
Programa 3	Educación, participación comunitaria y comunicación	6	22	14
Programa 4	Gestión de residuos especiales	24	17	13.9
Programa 5	Gestión y fortalecimiento de la economía Circular en GIRS	26	3	23
Total		100	100	100

Fuente: elaboración propia, 2024.

Figura 15
Resultado de acciones de la implantación de la estrategia a corto plazo



Fuente: elaboración propia, 2024.

La estrategia de residuos sólidos “Transformando realidades”, diseñada a 12 años, a corto plazo (4 años, comprendidos del 2019 al 2023), mediano plazo (comprendido desde el 2024 a 2028) y largo plazo (comprendido de 2029 a 2032). Es el primer caso de ejecución de la gobernanza ambiental en el marco de la GIRS, con acciones encaminadas a la apropiación del

conocimiento y el territorio, ejecución que tuvo como resultados relevantes para su primer periodo.

El diagnóstico de los planes de gestión integral de residuos de los diferentes municipios y la remisión de su estado a los entes de control, el estudio de infraestructura existente relacionada con plantas de aprovechamiento de residuos orgánicos y los estudios y diseños para una de estas, la implementación del programa de educación ambiental para la minimización y separación de residuos sólidos en la fuente a través de “PACAS DIGESTORAS SILVA” en 48 municipios de la jurisdicción mediante la orientación, apoyo y seguimiento a los PGIRS al componente de aprovechamiento, en la gestión de residuos especiales para los 87 municipios de la jurisdicción y la creación del a mesa interinstitucional de residuos, esto con una ejecución presupuestal de Corpoboyacá, cercana a los 900 millones de pesos para el cuatrienio. Actualmente esta estrategia se encuentra en la implementación de sus actividades a mediano plazo.

5. Conclusiones

Se establece que el presente modelo de gestión es el primer caso documentado de gobernanza ambiental en marco de la GIRS para Colombia, donde los actores que intervienen en la gestión de los residuos sólidos están claramente definidos, lo que facilita la puesta en marcha de acciones encaminadas a conserva y proteger el medioambiente, lo que suponía un reto contemporáneo en la jurisdicción de Corpoboyacá, ya que desde el ámbito público existen riesgos para el correcto funcionamiento de este tipo de acciones ya que factores propios de la sociedad como las posiciones políticas o el desconocimiento de la normativa y la falta de compromisos con el cumplimiento de plazos y la normativa por parte de los municipios son los mayores retos para cooperación entre actores y la solución de los conflictos socioecosistémicos por residuos en el territorio.

Los indicadores y metas de herramientas de planificación como los ODS, las metas Aichi y los documentos CONPES asociados al GIRS sirvieron como insumo para la estrategia, ya que permiten formular y direccionar acciones en pro de asegurar la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano. Lo anterior, impulsando el uso de nueva tecnología,

disminuyendo la contaminación por residuos sólidos y así contribuir a tomar medidas contra el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y las demás problemáticas que pueden presentar un riesgo para la continuidad de la vida en el planeta. Por esto, las actuaciones desde lo local deben ser fortalecidas para que puedan escalar niveles y ámbitos de aplicación. Se identificó la importancia de fortalecer a los municipios de la jurisdicción de Corpoboyacá en la articulación de proyectos relacionados con la ENEC y otros instrumentos de planificación, con el fin de impulsar modelos de municipios sostenibles, enfocados en la minimización y valorización de residuos sólidos y la consolidación de ciudades más resilientes.

Referencias bibliográficas

- Gómez-Lee, M. I. (2019). Agenda 2030 de desarrollo sostenible: comunidad epistémica de los límites planetarios y cambio climático. *Opera*, 24, 69-93. <https://doi.org/10.18601/16578651.n24.05>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2019). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- Pachón, M. D. P. G., & Navas, O. D. A. (2017). *Retos y compromisos jurídicos de Colombia frente al cambio climático*. Universidad Externado de Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá. (2024). *Plan de acción cuatrienal 2024-2027* [Archivo PDF]. <https://www.corpoboyaca.gov.co/nuestra-gestion/planes/plan-de-accion/>
- Tchobanoglous, G. (2009). *Solid waste management*. In *Environmental engineering: Environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470432822.ch3>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. https://kidv.nl/media/rapportages/towards_a_circular_economy.pdf?1.2.1
- Worboys, G. L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S., & Pulsford, I.

- (Eds.). (2019). *Gobernanza y gestión de áreas protegidas*. ANU Press. <https://doi.org/10.22459/GGAP.2019>
- Godet, M. (1995). *De la anticipación a la acción: Manual de prospectiva y estrategia*. <http://es.lapropective.fr/dyn/espagnol/de-la-anticipacion-a-la-accion.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2015). *Decreto 1077 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>

Capítulo 3

El compostaje en procesos de restauración de frailejones de los géneros: *espeletia lopezzi*, *espeletia ocetana*, *espeletia pycnophylla* en la cuenca alta del Río Gameza

Fanny Hernández¹

Edilberto Hernández²

Oscar Javier Monroy Quesada³

Fabio Norberto Pérez⁴

Stella Del Pilar Vargas Clavijo⁵

<https://doi.org/10.61728/AE20252113>



¹ Lic. En Química y Biología. Esp. En planeación EA. Magister en ciencias ambientales. E-mail: fhermanrodez@gmail.com, fhernandezq@educacionbogota.edu.co

² Lic. En Informática. E-mail: ehernandezh@educacionbogota.edu.co

³ Ing. Químico. E-mail: oscar.monroy2001@gmail.com

⁴ Administrador de empresas- Esp. En Finanzas, Magister en Desarrollo y Codesarrollo local sostenible. E-mail: fnperez2@gmail.com

⁵ Ing. de Alimentos Esp. En Control de Calidad, Magister en Educación. E-mail: sdpvargas@educacionbogota.edu.co

1. Introducción

En la actualidad, el creciente aumento de la temperatura ha determinado cambios en los patrones de comportamiento de los patrones climatológicos, manifestos en dos fenómenos: la variabilidad climática interanual ha venido ocasionando aumentos en la temperatura de hasta 0.5 °C y disminuciones en la precipitación de hasta 60 % durante El Niño y disminuciones en la temperatura de hasta 0.5 °C y aumentos en la precipitación de hasta 60 % durante La Niña (Arteaga, 2018). Y el fenómeno isla de calor asociado a cambios de temperatura más altos en zonas urbanas, relacionados con el aumento del urbanismo y procesos de contaminación asociados a la generación de gases de efecto invernadero (GEI) ocasionados por el manejo inadecuado de los residuos orgánicos desde la fuente (Huanchi, 2023).

La ciudad de Bogotá y sus localidades no han sido ajenas a los cambios del clima asociados al constante cambio en los procesos de ordenamiento territorial que, de una u otra manera, han cambiado la composición del territorio y han venido generando una transformación en la composición y función del paisaje y su función de los ecosistemas estratégicos, el cambio del uso del suelo, distinguiéndose zonas urbanas, periurbanas y la reducción de las zonas rurales. Lo cual trae como consecuencia el creciente aumento de problemáticas ambientales de contaminación e impacto ambiental y el aumento de la huella de carbono y la huella hídrica que se revierte en la transformación del territorio y los servicios ambientales que décadas anteriores prestarían y en la función ambiental de regulación climática (Arroyo Narváez, 2017).

La fragmentación de los ecosistemas en la localidad de Suba, tales como los humedales, el cerro de La Conejera y el sector norte del río Bogotá, experimenta hoy una alteración en su ecosistema, algo que afecta también a las diferentes especies o poblaciones que habitan en estos sectores. En estudios realizados recientemente, se ha evidenciado a partir de

los registros de temperatura en la base de datos Landsat un incremento en la temperatura del suelo en la ciudad de Bogotá, en las zonas con mayor densidad poblacional. A partir de este hallazgo, se realizó un análisis exploratorio donde se demostró que el incremento de temperatura tiene una relación con la densidad poblacional de la zona en cuestión, que son denominadas como islas de calor (Salas Pérez, 2019).

Por otro lado, también estadísticamente, mediante el índice de Moran bivariado local, se logra corroborar que el suelo urbano incide en el aumento de la temperatura de superficie, mientras que las zonas verdes pueden actuar como factor mitigador. Adicional a esto, la localidad 11 está inmersa en la no valoración y disposición adecuada de los residuos orgánicos que trae como consecuencia la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2), producidos por la actividad microbiológica del proceso de descomposición.

De acuerdo con lo estipulado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), es de suma importancia hacer el cálculo de la huella de carbono y del factor de emisiones como un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad asociada con la liberación de ese contaminante (Nordahl, 2023) (Méndez y Castañeda, 2016), especialmente cuando en las comunidades se opta por adoptar procesos de compostaje aerobio como tecnología limpia para la reducción de GEI en el manejo de los residuos orgánicos (Arguedas, 2020). Atendiendo al planteamiento anterior, cabe rescatar las orientaciones de política del plan para la gestión del riesgo ante el cambio climático (PGRCC) y lo estipulado en el plan de desarrollo distrital Bogotá camina segura 2024-2027. En su objetivo 4, Bogotá ordena su territorio y avanza en su acción climática, justicia ambiental e integración regional para el desarrollo de territorios equilibrados con criterios de sustentabilidad para contar con sistemas de bosques y páramos.

Le ha permitido al Colegio Gerardo Molina Ramírez plantear el desarrollo de una propuesta transversal para abordar procesos de educación transversal para el cambio climático desde la propuesta “Páramo Aula Viva” (Hernandez, 2010), asumiendo los lineamientos establecidos por

la IPCC, las Estrategias Distritales (PDGRDCC) y E2050 (de Colombia, 2021), contrato interadministrativo No. 843 de 2022, UAESP y Aguas de Bogotá S. A. STEAM+ H (Estrochio, 2022). La metodología está orientada a generar procesos de compostaje que permiten orientar procesos de sustentabilidad en una región del páramo de la cuenca alta del río Gameza (Medina Moreno, 2017). Para lo cual la institución educativa distrital plantea vincular los procesos de avance en educación ambiental para la conservación de páramos y los procesos de investigación para ajustar sustrato a partir de compostaje destinado para germinación y siembra de frailejones, al igual que el planteamiento de un factor de emisión al proceso de restauración de la Fundación Adopta un Frailejón. Busca unir a las personas que viven en zonas de páramos con las personas u organizaciones que hacen uso y aprovechamiento del agua para en conjunto preservar áreas de ecosistema de páramo, ubicando como zona de conservación el nacimiento del río Gameza, área de aproximadamente 1000 hectáreas de páramo, donde se capta el agua para 9 acueductos veredales y 3 acueductos municipales y dos distritos de riego, proveyendo de agua a cerca de 30 000 personas.

La fundación, en el desarrollo de su proceso de sustentabilidad, desarrolla dos propuestas:

- a) La primera es la de evitar la ampliación de la frontera agrícola, perder cada frailejón y cada metro de ecosistema de paramo, es muy difícil recuperarlo, por lo cual se trabaja con las familias dueñas de predios, haciendo pedagogía y conciencia de la protección, a la vez creando nuevas alternativas para la reconversión a actividades económicas sostenibles.
- b) La segunda es restaurar predios donde ya ha habido afectaciones por tala o quema de frailejones, para esto En el año 2022 se creó el vivero de germinación Frailejón donde se están germinando tres especies de Frailejones, propias de la zona como la *Espeletia lopezii*; *Espeletia Ocetana* y *Espeletia Murilloi*. Actualmente se adelanta acciones de restauración en predio del municipio de Gameza, ubicado en las siguientes coordenadas 5°46'18.2"N 72°42'26.3"W.

Los propósitos de vinculación de una entidad territorial educativa distrital a los propósitos de una fundación regional permiten concretar en una propuesta de doble vía que orienta procesos de restauración, ya que permite orientar nuevos modelos en gestión de residuos sólidos a un modelo de economía circular en el marco de restauración de ambientes naturales, ya que un sistema económico que se basa en modelos de negocio que sustituyen el concepto de “fin de vida” por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en procesos de producción de compost/distribución y consumo, operando a nivel macro (ciudad, región) (Seguí, 2018).

De igual forma, cobra relevancia en el panorama actual de cambio climático el ejercicio de una ecocidadanía y el tratamiento curricular de tener una mirada crítica transversal hacia realidades socioecológicas en procesos de restauración, a redefinir la economía y a desarrollar un poder-hacer para reconstruir los lazos entre sociedad y naturaleza, y que además incluya la justicia social (Rodrigo-Cano, 2019). Y los objetivos de desarrollo sostenible: 4 educación de calidad, 11 ciudades y comunidades sostenibles, 13 acción por el clima, 17 alianzas para lograr objetivos, acción por el clima, 17 alianzas para lograr objetivos.

2. Materiales y métodos

El estudio se aborda desde la investigación-acción-participación, enfoque que se basa en la cuantificación de la información. El tipo de investigación empleado es básica exploratoria, aquel que se aproxima a un tema poco estudiado e identifica componentes del comportamiento de la muestra en estudio (Hernández-Sampieri et al., 2014). El diseño fue el experimental transversal, el cual se desarrolló en el laboratorio Compostera del colegio Gerardo Molina y en el vivero de la fundación Adopta un Frailejón, al igual que en la zona de siembra cuenca alta del río Gameza. A nivel pedagógico se asumen los principios de la pedagogía dialogante.

La interestructuración, la escuela debe trabajar la Zona de Desarrollo Próximo porque permite abordar las acciones educativas que el individuo solo puede realizar inicialmente con la colaboración de otras personas. El desarrollo de la presente investigación se realizó en tres fases:

Fase 1. Transversalización de la propuesta de educación para el cambio climático en el marco STEAM+ H y desarrollo sostenible

En esta fase, en la primera parte, se realiza una apropiación del territorio a través de salidas a los páramos de Chingaza, Guacheque y Sumapaz con la finalidad de contextualizar las problemáticas asociadas al cambio climático. A través de las técnicas de encuestas y manejo de dos matrices para la obtención de datos sobre las competencias ambientales y el cambio climático, siguiendo los lineamientos de ALEC y los principios rectores de la educación (Camacho-Tamayo, 2024) y los principios de integridad ecológica en páramos (Garzón Suárez, 2018). Generar una propuesta curricular transversal de educación ambiental encaminada a la adaptación ante el efecto del cambio climático, que articule el manejo integral de residuos sólidos, recuperación de espacios para la productividad ambiental y conectividad e integridad ecológica en procesos de restauración orientados por la fundación Adopta un frailejón.

Desde la restauración se apunta a generar herramienta educativa desde e-book que integre desarrollo de actividades de matemáticas, ciencias ambientales, química, física, ingeniería y tecnología, informática, artes y humanidades. Empleando como principio básico realizar procesos de educación ambiental transversal orientada a ilustrar la relación compositiva del frailejón en el marco de la restauración de páramo.

Fase 2. Estandarización de las condiciones de manejo de residuos orgánicos destinados para composta a través de la técnica SAC-4500

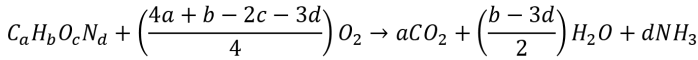
El método empleado corresponde al uso de la técnica SAC-4500 con una capacidad de 4000 litros y una capacidad de carga diaria de 72 kg/día. Se considera que el material de mezcla es indispensable en el proceso, ya que lo que hace es reducir la humedad del residuo orgánico. Hay que tener en cuenta que la proporción es 3 en 1, es decir, 3 porciones de residuos por 1 porción de material de mezcla (aserrín, viruta, hojarasca seca, entre otros), con un tiempo estimado de 35 días en descomposición aerobia y 15 días de maduración. Importante considerar lograr temperaturas mayores o iguales a 55 °C; el tipo de mezcla estructurante

que para el presente caso se trabaja es aserrín y hojarasca. Se integra la recolección de residuos orgánicos desde la fuente de los integrantes de grado cuarto, quinto y séptimo del Colegio Gerardo Molina Ramírez bajo el lema “De basura cero a cero emisiones”. Se realizan cargas diarias en tres periodos: diciembre 2023 a febrero 2024; marzo a mayo 2024; julio a septiembre 2024. Se realiza seguimiento de temperatura, PH y peso de carga empleando registro en formato 1.

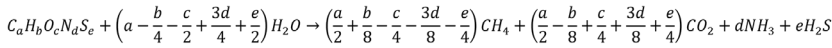
Una vez termina el proceso de maduración, se realizan pruebas fisicoquímicas y análisis microbiológicos como herramienta de control; este ente toma como referencia la Norma Técnica colombiana 5167, NTC 5167. Para este caso y con el fin de apoyar el programa, compoterías in situ, se analizarán los resultados de laboratorio a la luz de la NTC 5167-2011 y la NTC 5167-2022. Para este caso y con el fin de apoyar el programa, compoterías in situ, se analizarán los resultados de laboratorio a la luz de la NTC 5167-2011 y la NTC 5167-2022. Como elementos de análisis de las pruebas para determinar estabilidad se consideran las siguientes variables de estabilidad: La concentración de amonio y relación amonio/nitratos, a relación C/N (como C y N orgánico total), recomendándose valores menores a 20-25 para evitar inmovilización de N del suelo; los indicadores de madurez se basan en estudios de fitotoxicidad (Mazzarino, 2012).

Apoyados en los resultados de pruebas fisicoquímicas, se plantea un factor de emisión (fe). Para la estimación de las emisiones de la composta, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de identificar las metodologías utilizadas para la estimación de las emisiones. En el trabajo de Nordahl et al. 2023, se realizó una revisión de diferentes trabajos donde se calculan las emisiones de compostaje de diferentes fuentes. Allí, se identificó que la principal metodología utilizada para el cálculo de las emisiones es la medición directa de los gases emitidos por la compostera directamente. Por otra parte, en el trabajo de Hernández-Gerónimo et al. 2022, se realizó la estimación de las emisiones mediante la composición elemental de la composta, usando el contenido de C, H, N, O y S y las siguientes ecuaciones 1 y 2 (Hernández-Gerónimo, 2022).

(1)



(2)



Tomado de Hernández-Gerónimo et al. (2022), la ecuación 1 corresponde a la descomposición aerobia de los desechos, mientras que la ecuación 2 muestra la descomposición anaerobia de los desechos sólidos, en donde se incluye, además del CO_2 , la descomposición del metano (Nordahl, 2023). Estas metodologías mencionadas anteriormente pueden ser difíciles de aplicar en un contexto donde no se cuentan con los recursos suficientes para realizar las mediciones de gases o realizar los análisis necesarios para determinar la composición elemental de la composta. Por esta razón, se encontró el método de cálculo de las emisiones propuesto por el RTI, en donde se utiliza una metodología para el cálculo de emisiones a partir de la composición de los residuos sólidos, usando las ecuaciones 3, 4, 5:

(3)

$$E_{CO_2} = FE_{composta, CO_2} * \sum_{n=1}^N (M_{composta, n} * \%S_n)$$

(4)

$$E_{CH_4} = FE_{composta, CH_4} * M_{composta}$$

(5)

$$E_{N_2O} = FE_{composta, N_2O} * M_{composta}$$

Tomado de: (RTI, 2010). Donde E son CO_2 , CH_4 o N_2O , según corresponda; las emisiones de FE son el factor de emisión de la composta dado por el Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC), para el CO_2 , CH_4 o N_2O , según corresponda; N es el número total de fuentes

distintas añadidas a la composta; n es el índice de material de desperdicio añadido a la composta y $\%Sn$ es el porcentaje de sólidos del material n (CAEM, 2015). Aplicando las ecuaciones 3, 4 y 5, se encuentran las emisiones de CO_2 , CH_4 y N_2O , y para estandarizar estas emisiones en las mismas unidades, se utiliza la siguiente ecuación 6.

(6)

$$Emisiones\ totales = E_{CO_2} * 1 + E_{CH_4} * 21 + E_{N_2O} * 310$$

Donde 1, 21 y 310 corresponden a los valores de potencial de calentamiento global para el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso, respectivamente. Para aplicar las ecuaciones mostradas anteriormente, se organizó la información disponible para tener la cantidad de material añadido a la composta según el tipo de material, y con ello se realizó la búsqueda del contenido de sólidos totales del material en sí. (Tabla 1).

Tabla 1

Carga por tipo de residuo sólido orgánico y su % de sólidos

Material RSO	Humedad (%)	Sólidos (%)	Carga (kg)	Fuente
Cascara de banano	11,91	88,09	486,60	(López et al. 2014)
Cascara de papa	85,10	14,90	62,50	(Javed et al. 2019)
Residuos de jardín (Pasto)	90,00	10,00	550,00	(Bohl et al. 2009)
Manzana	85,60	14,40	102,50	(USDA, s. f.)
ranadilla	86,40	13,60	20,00	(Sittipa et al. 2020)
Café	2,00	98,00	12,50	-
Cascaras de huevo	0,95	99,05	32,50	(Rosnah et al. 2021)

Fuente: Oscar Monrroy, 2024.

Fase 3. Prueba de germinación de semillas y plantulación de frailejones para determinar la madurez del compost

La prueba utilizada para comprobar la madurez del compost se conoce como el test de fitotoxicidad o prueba de germinación de Zucconi. El objetivo es determinar si la estabilidad está relacionada con la disminución de carbono degradable y actividad microbiana y la madurez se refiere a la finalización efectiva del proceso de compostaje en un producto sin sustancias fitotóxicas que puedan afectar el crecimiento vegetal (Mazzarino, 2012). En esta etapa se hacen dos consideraciones: preparación del sustrato y el trasplante de las plántulas del germinador proveniente de rosetas de *Espeletia lopezzi* y *Espeletia oetana* que inicialmente se realizó en camas de algodón o en camas de compost, compost + fibra de coco y compost + tierra de jardín. Para ello, inicialmente se hace siembra de apio en la muestra de carga 1 y carga 2; se realizaron germinadores de semillas de frailejón *lopezzi* y *oetana* y la replantación de 120 plántulas de frailejón *Espeletia lopezzi* donadas por la fundación Adopta un frailejón. Como indicadores se consideran el índice de germinación >80 % (CCQ 2010) y el índice de crecimiento >90 % (norma alemana) (Mazzarino, 2012).

Fase 4. Eficiencia del compost a través de los cálculos de rendimiento

El cálculo de rendimiento para el presente caso corresponde a la relación de planteada en la ecuación 7 (Martínez, 2013):

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{kg de compost}}{\text{kg de residuos}} \times 100 \% \quad (7)$$

El enfoque del modelo de economía circular es implementado por el colegio Gerardo Molina Ramírez y la fundación adopta un frailejón que corresponde a transformar en acciones los postulados del sistema y alcanzar eficiencia en el reciclaje, la reutilización y la valoración de los residuos (Romero-Sáez, 2022). La producción de compostaje es viable

para proponer sustrato adecuado para realizar procesos de germinación y plantulación y disminuir los costos, ya que en la actualidad la fundación para realizar procesos de plantulación emplea Klasmann TS 1-876, cuyo valor corresponde a \$800.00 por bulto de 30 kilos. Klasmann TS 1-876 corresponde a una turba rubia fertilizada, moderadamente descompuesta, con adición de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, trazas de microelementos y agente humectante Hydro-S Estructura fina de 0-5 mm, pH 6.

3. Resultados y discusión

Transversalización de la propuesta de educación para el cambio climático en el marco STEAM+H y desarrollo sostenible. Los resultados obtenidos están relacionados con procesos de educación sostenible en el marco de transversalidad de la formulación de cartilla para abordar componentes ambientales del páramo. Se formula un e-book con los siguientes componentes relacionados en la Tabla 2.

Tabla 2

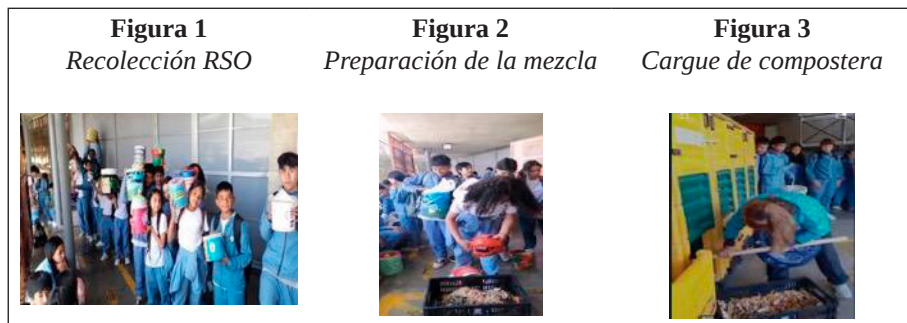
Estrategia STEAM +H e-book para el abordaje composave of frailejón

Enfoque	Área	Eje transversal
S	Ciencias ambientales	Bioma páramo- frailejoón
	Química	Análisis de condiciones fisicoquímicas del compost- sustrato
	Física	Aplicación de los principios de la termodinámica
T	Tecnología	Elaboración estructuras para germinadores plantuladores
	Informática	Procesamientos de datos proceso de compostaje y Crecimiento de frailejones
E	Ingeniería	Construcción sensor de CO ₂
A	Artes	Diseño de comic - compost - arte expresión frailejón
M	Matemáticas	Tratamientos estadístico de datos de compostera - germinadores y plantuladores, haciendo uso de las medidas de tendencia central
H	Humanidades	Cambio climático en América Latina - Abordaje política E 2050 .Uso de segunda lengua

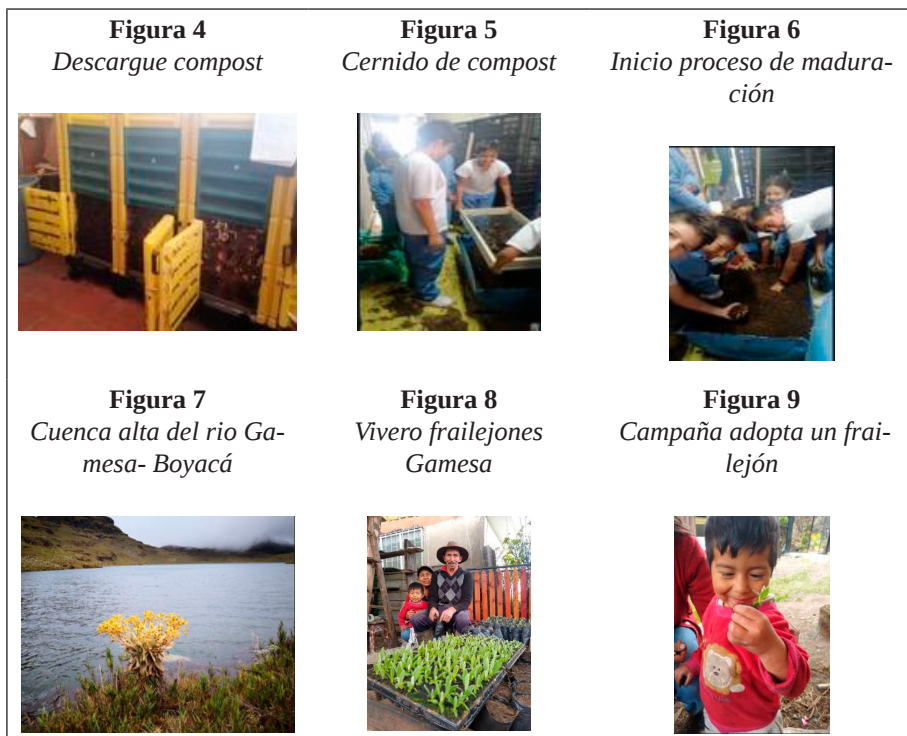
Fuente: Fanny Hernández Quintero, 2024.

De igual forma, se propicia un ambiente de aprendizaje contextualizado y aterrizado a una necesidad de abordar una problemática local: el manejo de residuos orgánicos (Figuras 1-6) con su correspondiente relación a

nivel regional, como es proteger y salvaguardar un bioma tan importante como es el páramo (Figuras 7-9).



Fuente: Fanny Hernández Quintero, 2024.



Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024

3.1. Análisis de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas

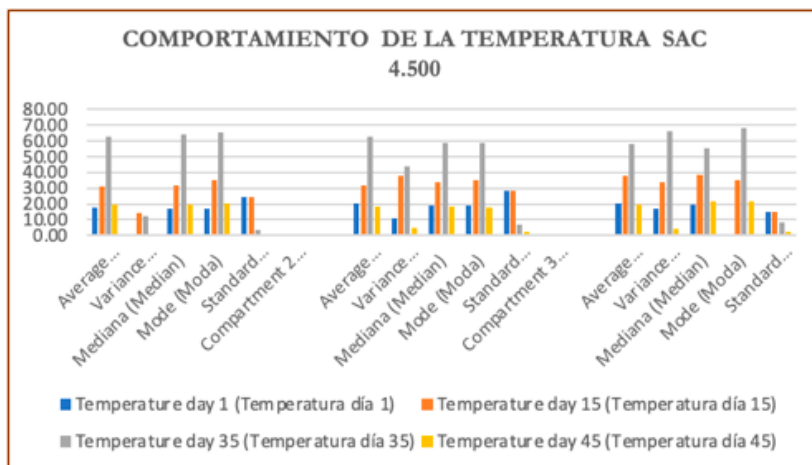
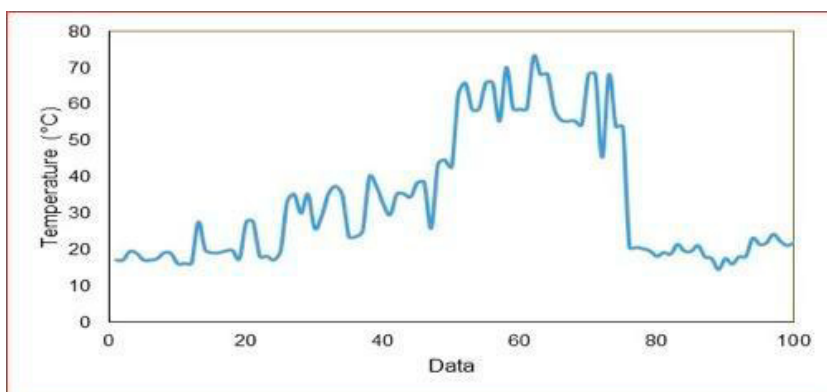
En cuanto a los seguimientos de temperatura registrados en la Tabla 3 y Figura 10, en la que se analiza que entre los días 1 al 15, correspondiente a la fase mesófila, varían en un intervalo de 17-33 °C con desviación estándar, indica una dispersión de los datos como se muestra en las gráficas 1 y 2 que se alejan de la media. Excepto en el caso del comportamiento 3, cuyo valor de desviación corresponde a 14.7. Esto podría estar indicando fallas en la frecuencia de toma de temperatura. El comportamiento de la temperatura del día 35 corresponde a la fase termófila, cuyo valor promedio oscila entre 55 y 64.20 °C y una desviación comprendida entre 3.50 y 8.14, lo cual indica que los datos están agrupados muy cerca de la mediana, logrando una adecuada eliminación de patógenos, situación ajustada a los análisis microbiológicos.

La muestra cumple con los parámetros microbiológicos mínimos exigidos para productos orgánicos susceptibles a ser usados como abonos, fertilizantes, enmiendas o acondicionadores de suelos, ya que, según esta versión el material debe contener <1.000 NMP/g de coliformes totales y para este caso se encontraron 460 NMP/g de coliformes totales. En cuanto a las temperaturas promedios del día 45 donde finaliza el proceso de maduración se logra temperaturas promedias 18.3-21.8 °C con una desviación estándar 0.97-2.15 lo que indica una desviación mínima lo que a través de las pruebas físico químicas de muestreo 2 y 3 lo que podría indicar estabilidad, madurez y calidad del compost.

Tabla 3*Seguimientos de las Temperaturas en tres compartimentos SAC 4.500 2024*

Compartiment 1 (Compartimiento 1)				
	Temperature day 1 (Temperatura día 1)	Temperature day 15 (Temperatura día 15)	Temperature day 35 (Temperatura día 35)	Temperature day 45 (Temperatura día 45)
Average (Promedio)	17,80	31,40	62,82	19,72
Variance (Varianza)	1,21	14,24	12,27	0,94
Mediana (Median)	17,10	31,60	64,20	19,90
Mode (Moda)	17,10	35,20	65,70	20,60
Standard deviation (Desviación estándar)	24,49	24,49	3,50	0,97
Compartiment 2 (Compartimiento 2)				
	Temperature day 1 (Temperatura día 1)	Temperature day 15 (Temperatura día 15)	Temperature day 35 (Temperatura día 35)	Temperature day 45 (Temperatura día 45)
Average (Promedio)	20,53	31,93	62,40	18,38
Variance (Varianza)	10,99	38,10	43,64	4,64
Mediana (Median)	19,00	33,90	58,60	18,35
Mode (Moda)	19,10	35,20	58,60	17,50
Standard deviation (Desviación estándar)	28,28	28,28	6,61	2,15
Compartiment 3 (Compartimiento 3)				
	Temperature day 1 (Temperatura día 1)	Temperature day 15 (Temperatura día 15)	Temperature day 35 (Temperatura día 35)	Temperature day 45 (Temperatura día 45)
Average (Promedio)	20,53	37,57	57,94	19,72
Variance (Varianza)	16,68	33,79	66,23	4,29
Mediana (Median)	19,50	38,30	55,20	21,80
Mode (Moda)	#N/A	35,20	68,00	21,80
Standard deviation (Desviación estándar)	14,87	14,87	8,14	2,07

Fuente: Oscar Monrroy, 2024.

Figura 10*Tratamiento estadístico seguimientos de temperaturas**Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024***Figura 11***Toma de temperaturas**Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024*

El muestreo de la primera carga de diciembre de 2023 identifica Muestra No. AM000288202 (anexo 1). La muestra cumple con los parámetros microbiológicos mínimos exigidos para productos orgánicos susceptibles de ser usados como abonos, fertilizantes, enmiendas o acondicionadores

de suelos, ya que, según esta versión, el material debe contener <1.000 NMP/g de coliformes totales y para este caso se encontraron 460 NMP/g de coliformes totales. Otro de los parámetros importantes e indicativos del avance del proceso es la humedad. Para este parámetro se obtuvo un valor de 58.1 %, valor por encima del rango exigido por la norma y lejano a lo esperado al final de la primera etapa del proceso (32 días). Esta pérdida de humedad se da debido al arrastre de agua por el calor metabólico exotérmico generado por la flora microbológica asociada al proceso y a procesos de evapotranspiración. Con esto se puede presumir que el sistema pudo alcanzar temperaturas superiores a la ambiental que no fueron suficientes para perder la humedad esperada.

Con respecto a la densidad, se espera que, realizando la mezcla recomendada de material biodegradable y estructurante al inicio del proceso y bajo un adecuado desarrollo del proceso de compostaje, al final de la primera etapa (32 días de proceso), la densidad no debe superar 0.6 kg/L. El valor encontrado para esta muestra fue de 0.25 kg/L; si bien el valor encontrado está por debajo de lo máximo permitido, este parámetro es un indicativo de las materias primas usadas. Por esto, presuntamente se puede determinar que el material alimentado en el sistema presenta una mezcla con baja densidad o rica en material estructurante.

En términos de los macronutrientes, se obtuvo 0.515 % de nitrógeno, 0.675 % de fósforo, 0.443 % de potasio y 16 % de carbono orgánico oxidable, valores representativos para muestras de residuos sólidos orgánicos separados en la fuente. Así mismo, se evidencia un porcentaje de carbono orgánico oxidable por encima de lo mínimo establecido con el que se da satisfactorio cumplimiento a la norma. Las cargas marzo-mayo 2024, julio a septiembre 2024, se anexa informe y análisis de los respectivos análisis de recuento microbológico de suelo con los métodos (Norma interna para la enumeración de bacterias fijadoras de nitrógeno, NTC 4458:2018, NTC 5264:2023, Potenciometría 300-0301-000012, Bacterias mesófitas aerobias ISO 4833-2:2013, Norma interna para la enumeración de actinobacterias y/o compost), análisis de metales pesados totales en suelos fueron entregados y a la fecha de la elaboración de este artículo no han sido entregados, por tanto, en un anexo se entrega tabla de resultados y análisis de los mismos (Anexo 2).

Destacando que uno de los factores a controlar en una correcta producción de compost se encuentra su relación Carbono-Nitrógeno (C/N) inicial, cuyo rango ideal se encuentra entre los 25 y 35. Se realiza mediante la selección de materiales atendiendo a la tipología de materiales utilizados en la preparación de mezclas carga 2 y carga 3. Para aplicar las ecuaciones mostradas anteriormente, se organizó la información disponible para tener la cantidad de material añadido a la composta según el tipo de material, y con ello se realizó la búsqueda del contenido de sólidos totales del material en sí. Obteniendo la siguiente Tabla 4 y se aplican las ecuaciones 1 a 6 citadas en métodos.

Tabla 4

Carga por tipo de residuo solido orgánico y su % de sólidos

Material RSO	Humedad (%)	Sólidos (%)	Carga (kg)	Fuente
Cascara de banano	11,91	88,09	486,60	(López et. al. 2014)
Cascara de papa	85,10	14,90	62,50	(Javed, et. al. 2019)
Residuos de jardín (Pasto)	90,00	10,00	550,00	(Bohl, et. al. 2009)
Manzana	85,60	14,40	102,50	(USDA, s.f.)
Granadilla	86,40	13,60	20,00	(Sittipa, et. al. 2020)
Café	2,00	98,00	12,50	-
Cascaras de huevo	0,95	99,05	32,50	(Rosnah, et. al. 2021)

Fuente: Oscar Monrroy, 2024.

Como se puede ver en la Tabla 4, el mayor aporte a la composta proviene de los residuos de jardín, seguido de las cáscaras de banano, los cuales representan un 82 % del peso total de los residuos sólidos agregados a la composta. Aplicando las ecuaciones 3-5, con los datos mostrados anteriormente se calcularon las emisiones de GEI reportadas en la Tabla 5. Molina Ramírez I.E.D.

Tabla 5*Emisiones calculadas para el proceso de compostaje del Colegio Gerardo*

Contaminante	Factor de emisión	Emisiones totales	Unidades
CO ₂	0.44	244 147	kg CO ₂
CH ₄	0.004	5066	kg CH ₄
NO ₂	0.0003	0.380	kg N ₂ O
Emisiones totales		468 335	kg CO ₂ eq

Fuente: Oscar Monrroy, 2024.

En el cálculo realizado con la composición aproximada de RSO añadidos a la compostera, se obtuvo que las emisiones totales del proceso capturaron 469 kg de dióxido de carbono equivalente secuestrado en el SAC 4.500. Sin embargo, hay que considerar que, mediante el uso de las fórmulas reportadas, se considera que toda la fracción sólida de los residuos emite GEI, algo que hay que corroborar midiendo directamente las emisiones en la compostera, para lo cual se propone la construcción de un sensor MQ-135 de calidad del aire Arduino CO₂ en la unidad STEAM+ H.

3.2. Prueba de germinación de semillas y plantulación de frailejones para determinar la madurez del Compost

En procesos de germinación se emplearon tres técnicas la primera la técnica de algodón la que dio una efectividad del 30 % y luego se llevó a plantulación en una mezcla de 3 partes de compost por una de suelo de jardinería la cual ser efectiva con 32 frailejones plantulados y llevado a proceso de exposición de 4 horas exposición/diaria a bombillos foto periodo luz blanca (Figuras 1-14). Como elemento de discusión el proyecto de prueba de germinación indica estabilidad y madurez del compost lo que ha permitido una respuesta de crecimiento de especies de frailejónespecialmente los géneros: *Espeletia lopezzi* y *Espeletia pycnophylla*.

Figura 12

Geminación de semillas de frailejón en compost



Figura 13

Geminación de semillas de frailejón en algodón



Figura 14

Plantulación en sustrato compost



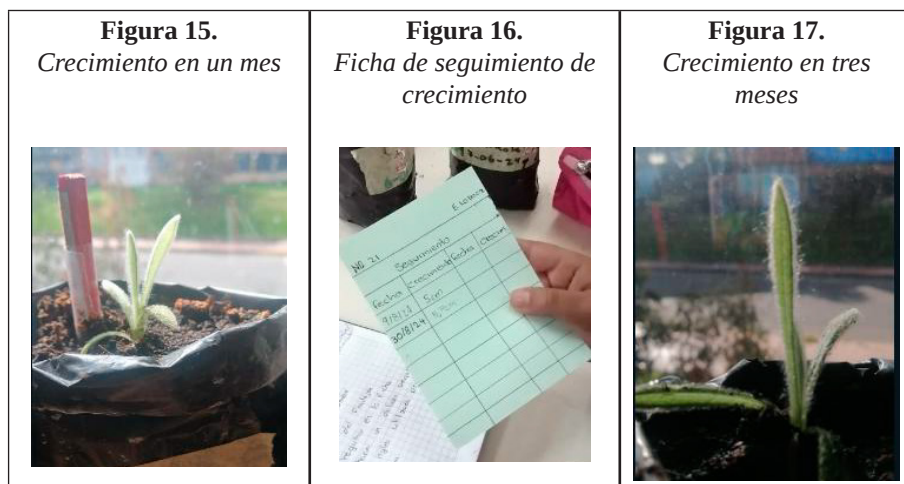
Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024

Se reportan hallazgos de crecimiento 1-6 cm de crecimiento durante un periodo de 3 meses como se observa en la Tabla 6. Y se ilustra en las figuras del 15 a 17.

Tabla 6*Seguimiento crecimiento Espeletia lopezzi*

Nº planta	Crecimiento en Espeletia lopezzi (cm)			
	Abril	Julio	Agosto	Septiembre
1	1.00	3.00	3.00	4.00
2	1.00	2.00	2.80	3.80
3	1.00	1.80	1.80	2.00
4	1.00	2.00	2.00	2.50
5	1.00	2.00	4.00	4.50
6	1.00	2.00	3.00	4.00
7	1.00	3.00	5.00	5.50
8	1.00	3.00	3.00	4.00
9	1.00	5.00	0.00	0.00
10	1.00	3.50	3.50	4.50
11	1.00	2.50	3.00	3.50
12	1.00	2.00	3.50	4.00
13	1.00	0.00	0.00	0.00
14	1.00	2.00	4.00	5.00
15	1.00	1.50	0.00	0.00
16	1.00	2.50	3.80	4.80
17	1.00	2.00	3.00	4.00
18	1.00	2.00	0.00	0.00
19	1.00	3.00	3.00	4.00
20	1.00	2.00	3.50	4.50
21	1.00	4.00	5.00	5.50
22	1.00	4.50	5.50	6.50
23	1.00	3.00	4.00	5.00
24	1.00	2.10	3.50	4.00
25	1.00	2.50	0.00	0.00
26	1.00	2.50	3.00	4.00
27	1.00	3.50	4.50	5.00
28	1.00	4.50	5.50	6.00
29	1.00	4.00	4.50	5.00
Promedio	1.00	2.67	3.01	3.64

Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024



Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024

3.3. Cálculos de rendimiento- economía circular y compostaje

Los rendimientos son determinantes a la hora de pensar en economía circular; en este caso se ha establecido un rendimiento del 69 % sin tomar en cuenta el material estructurante, es decir que con 100 kg de residuo orgánico se podrían obtener 69 kg de compost y tomando en cuenta el material estructurante se puede afirmar que con 2183g de mezcla se puede obtener 21 kg de compost, reportado en la Tabla 7.

Tabla 7
Cálculos de rendimiento

Carga RSO (KG)	Carga ME (kg)	Compost (kg)	Materia orgánica compost (MO)	Rendimiento %
1602	2183	1120	0,69	69

Fuente: Pilar Vargas Clavijo, 2024.

4. Conclusiones

Las características del compost se pueden agrupar en tres ámbitos: las relacionadas con el rendimiento del producto, que arrojó un dato de 69 %, es decir, que por cada 100 kg de materia orgánica se obtienen 69 kg de compost sin tomar en cuenta el material estructurante, y sumando el material estructurante se obtiene un rendimiento del producto del 69 %, es decir, por cada 100 kg de materia orgánica se obtienen 69 kg de compost. De la misma forma, cabe anotar que no hay ningún tipo de desperdicio en la etapa final de cernido del compost, ya que el material sobrante después del filtrado se reincorpora a la compostera. Las muestras cumplen con los parámetros microbiológicos mínimos exigidos para productos orgánicos susceptibles de ser usados como abonos, fertilizantes, enmiendas o acondicionadores de suelos, ya que, según esta versión, el material debe contener <1.000 NMP/g de coliformes totales y para este caso se encontraron 460 NMP/g de coliformes totales. Situación que se corrobora con el seguimiento de temperatura, especialmente en la fase termófila. La composición aproximada de RSO añadidos a la compostera se obtuvo de las emisiones totales del proceso de captura: 469 kg de dióxido de carbono equivalente secuestrado en el SAC 4.500.

El proyecto de prueba de germinación indica un 30% de efectividad, lo que indica estabilidad y madurez del compost, lo que ha permitido una respuesta de crecimiento de especies de frailejón, especialmente los géneros *Espeletia lopezzi* y *Espeletia pycnophylla* han mostrado en plantulación 1 cm promedio de crecimiento por mes y un promedio de 30 días de germinación en sustrato. Lo que puede sugerir que el compost podría ser adaptado para hacer reemplazo TS1, lo que podría ser un manejo de procesos de economía circular y procesos de sustentabilidad ambiental relacionado con captura de carbono y recuperación de zona de frailejón cuenca alta río Gamesa. A nivel de procesos de educación ambiental orientada a encauzar medidas contempladas EN E-20250, el proyecto facilita el desarrollo de una propuesta pedagógica transversal de e-book en el marco STEAM + H, lo que facilita el desarrollo del pensamiento crítico y el empoderamiento de procesos de justicia climática.

Referencias bibliográficas

- Arguedas, A. A. (2020). Emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de residuos orgánicos en San Rafael de Heredia. *Ambientico*, (274), 56-62. <https://www.ambientico.una.ac.cr/revista-ambientico/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-tratamiento-de-residuos-organicos-en-san-rafael-de-heredia/>
- Arroyo Narváez, M. (2017). *Políticas públicas de adaptación al cambio climático en Bogotá D.C.: Un análisis de la implementación* [Tesis]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59629>
- Arteaga, L. E., & Burbano, J. E. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAEM). (2015). *Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa*. https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf
- Camacho-Tamayo, E. (2024). Educación STEAM como estrategia pedagógica en la formación docente de ciencias naturales: Una revisión sistemática. *EduTec: Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (87), 220-235. <https://doi.org/10.21556/edutec.2024.87.2929>
- Gobierno de Colombia. (2021). *Estrategia climática de largo plazo de Colombia para cumplir con el Acuerdo de París (E2050)*. <https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/2021/05/040521-DOCUMENTO-LTS-E2050-COLOMBIA.pdf>
- Estrochio, H. K. (2022). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible como impulsores del crecimiento de STEAM en el País Vasco: prácticas de excelencia. *DYNA Management*, 10(1), 1-15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8288334>
- Garzón Suárez, Y.(2018). Integridad ecológica de la laguna de páramo La Virginia (Colombia) basada en indicadores biológicos y del hábitat. *Repositorio Utadeo*. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/4148>
- Hernández, F. (2010). *Componentes ambientales del páramo de Sumapaz*.
- Hernández-Gerónimo, G. (2022). Cálculos estequiométricos de facto-

- res de emisión para estimar emisiones fugitivas de gases de efecto invernadero en un centro de acopio de residuos sólidos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 165-179. <https://doi.org/10.20937/RICA.54024>
- Huanchi, D. (2023). Educación y cambio climático: respuestas y retos a la turbulencia del siglo XXI. *Revista Revoluciones*, 5(12), 134-147. <https://doi.org/10.35622/j.rr.2023.012.007>
- Martínez, M. P. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. FAO. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- Mazzarino, M. J. (2012). *Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost*. En *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso* (pp. xx-xx). UNRN y Orientación Gráfica Editora. <https://asacomp.com.ar/wp-content/uploads/2021/12/Mazzarino-et-al-2012-Libro-compost-Indicadores.pdf>
- Medina Moreno, J., Pulido Ochoa, J., Sánchez Gómez, N. et al. (2017). *Participación comunitaria y evaluación técnica para la gestión integral del recurso hídrico en el área de influencia de las cuencas de la quebrada Honda, el Río Salitre, el Lago Sochagota, los ríos Pesca y Tota, la subcuenca del río Gámeza*. Repositorio UPTC. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/6879>
- Nordahl, L., Preble, C., Kirchstetter, T., & Scown, C. (2023). Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting. *Environmental Science & Technology*, 57(6), 2235-2247. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>
- Rodrigo-Cano, D. P. (2019). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible como marco para la acción y la intervención social y ambiental. Retos: *Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 9(17), 25-36. <https://doi.org/10.17163/ret.n17.2019.02>
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas*, 25(54), e2505. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Salas Pérez, C., & Coy Castro, D. (2019). *Análisis espacial de islas de calor en la ciudad de Bogotá: los efectos de la urbanización, un estudio desde la teledetección*. Repositorio UD. <https://repository.udistrital.edu.co/items/0b4ab667-19fa-42f9-93e8-df27dbd811a8>

Seguí, L. M., Medina, R., & Guerrero, H. (2018). *Gestión de residuos y economía circular*. EAE Business School. https://www.economiadehoy.es/adjuntos/35637/SRC_Residuos.pdf

Capítulo 4

Educación comunitaria para un manejo responsable de residuos sólidos en la comunidad campesina de la Finca Providencia (Fundación-Magdalena)

*Francis Yuliana Rodríguez Fonseca
Yiniva Camargo Caicedo
Patricia Paola Miranda Villa*

*Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA), Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
E-mail: francisrodriguezyf@unimagdalena.edu.co*

<https://doi.org/10.61728/AE20252120>



1. Introducción

La educación comunitaria es un enfoque integral que tiene como objetivo formar ciudadanos empoderados, participativos, empáticos y capaces de abordar los desafíos de su entorno. No se limita únicamente a la escolarización o a la reducción del analfabetismo, sino que también hace parte de todas las diferentes etapas de la vida, promoviendo un aprendizaje continuo que contribuya a mejorar las oportunidades de empleo y el bienestar de las personas (Martínez Sabogal, 2019).

El Plan Decenal Nacional de Educación 2016-2026 en Colombia, en su octavo desafío estratégico, aborda la necesidad de priorizar el desarrollo de la población rural a través de la educación. Este desafío reconoce las desigualdades históricas entre diferentes zonas urbanas y rurales, teniendo en cuenta el acceso y la calidad educativa, el cual propone una serie de medidas para cerrar esa brecha, promoviendo la equidad y el desarrollo sostenible en las áreas rurales. El plan plantea que la educación en las áreas rurales no solo debe centrarse en el aprendizaje académico, sino también en contribuir a la transformación social y económica de estas comunidades, generando oportunidades que contribuyan a una mejor calidad de vida y apoyen el desarrollo territorial (Ministerio de Educación Nacional, 2017).

En el año 2017, en nuestro país se pusieron en marcha los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET), para transformar el campo, reducir la pobreza y promover el desarrollo integral a través de inversiones en zonas de conflicto armado (ZOMAC) (Presidencia de la República, 2017). El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, con el lema “*Colombia, Potencia Mundial de la Vida*”, implementará el Programa Ciencia para la Paz y la Ciudadanía en los municipios priorizados PDET. Este programa buscará aplicar conocimientos e innovaciones para resolver conflictos entre los sectores agropecuario y ambiental, actualizar la información agrológica y ambiental, y estructurar proyectos productivos sostenibles para campesinos (Departamento Nacional de Planeación, 2022).

Fundación, Magdalena, es un municipio prioritario para estos programas. Con una población de aproximadamente 72.934 habitantes (Departamento Nacional de Planeación, 2023), Fundación enfrenta serios desafíos en su zona rural. Entre ellos se incluyen la falta de cobertura en la recolección de residuos, insuficiencia en el suministro de agua potable, deforestación y prácticas agrícolas insostenibles que afectan la productividad y la seguridad alimentaria (Alcaldía Municipal de Fundación, 2020).

A pesar de los esfuerzos realizados con la implementación de los PDET, Fundación aún enfrenta desafíos significativos en áreas clave como el manejo correspondiente de los residuos, la educación comunitaria, el abastecimiento de agua potable, la conservación ambiental y la mejora de la productividad agrícola y ganadera. Abordar estas problemáticas de manera integral es fundamental para promover el desarrollo sostenible y elevar la calidad de vida en la población.

Dentro de este contexto, el objetivo del trabajo es promover la educación comunitaria como una herramienta clave para la correcta gestión de los residuos sólidos en la población campesina de la finca Providencia, a través de actividades que fortalezcan el conocimiento y fomenten prácticas sostenibles entre sus habitantes.

1.1. Objetivos específicos

- a) Facilitar encuentros con los representantes de la comunidad para identificar las principales necesidades y desafíos relacionados con la gestión de residuos sólidos.
- b) Evaluar prácticas actuales de gestión de residuos y su impacto ambiental, utilizando herramientas diagnósticas adecuadas.
- c) Impulsar la participación comunitaria en talleres, capacitaciones, así como en campañas de concienciación ambiental, con el fin de fortalecer las capacidades para un manejo adecuado de residuos sólidos.
- d) Fortalecer el conocimiento comunitario sobre la gestión ambiental sostenible mediante la elaboración de materiales educativos que integren las buenas prácticas adquiridas durante el proyecto.

2. Metodología

Se utilizó un enfoque metodológico cualitativo-descriptivo, empleando técnicas como encuestas, observación sistemática, fotografías, mapas, entrevistas y matrices de diagnóstico ambiental para caracterizar el entorno y su problemática.

2.1. Reconcomiendo de la comunidad

Se llevó a cabo un reconocimiento en la zona mediante observación sistemática, registrando evidencia fotográfica y recopilando información a través de notas de campo, que permitieron una descripción detallada del entorno. Se elaboró un mapa geográfico del área de influencia, utilizando el software ArcGIS versión 10.8 (Esri, 2020), en el cual se identificaron los sitios donde se producen los residuos sólidos en la finca Providencia. Además, se aplicaron encuestas semiestructuradas a los miembros de la comunidad con el fin de recolectar datos demográficos y evaluar el impacto que tuvieron las capacitaciones, talleres y campañas desarrollados.

2.2. Diagnóstico ambiental

La matriz de Leopold (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019) se utilizó para realizar la evaluación de los impactos ambientales en el contexto de las actividades agrícolas. La estructura de la matriz se diseñó con filas y columnas, asignando las acciones, factores e impactos correspondientes. Se empleó una escala ascendente del 1 al 10 para medir la magnitud del impacto, y se utilizó un signo “+” o “-” para indicar si el impacto era positivo o negativo, respectivamente. La aplicación de la matriz de Leopold permitió evaluar y comprender el estado actual del entorno, haciendo énfasis en la gestión adecuada de los residuos sólidos. Esto facilitó identificar y analizar las condiciones ambientales, proporcionando información clave para mejorar la sostenibilidad y contrarrestar los impactos negativos que se producen sobre el medioambiente.

2.3. Caracterización de residuos sólidos

La recolección e identificación de los residuos sólidos consistió en su separación en diferentes recipientes o espacios, distinguiendo entre residuos orgánicos e inorgánicos. Este proceso se realizó con el objetivo de definir estrategias de disposición final que ayuden a prevenir la acumulación excesiva de desechos en el área de estudio. Una vez separados, los residuos orgánicos fueron identificados para su posible reutilización en la producción de abonos o compost. Mientras que los residuos inorgánicos se clasificaron para determinar su destino final, considerando que cualquier reutilización debe llevarse a cabo de manera responsable y sostenible (ICA, 2005).

2.4. Desarrollo de capacitaciones y talleres

Se ejecutaron diversas actividades que incluyeron capacitaciones, talleres y campañas ambientales, en las que se impartieron conocimientos sobre conceptos básicos de gestión de residuos sólidos y se presentaron alternativas prácticas para su manejo adecuado. Entre los talleres ofrecidos se incluyeron la construcción de un huerto comunitario sostenible y el manejo integral de residuos sólidos. Además, se realizó una campaña enfocada en el acopio de aceite de fritura usado, que fue reutilizado en la fabricación de velas. Se implementó un sistema de compostaje utilizando los desechos orgánicos generados en el huerto y los cultivos comunitarios, y se estableció una zona específica para la adecuada clasificación de los residuos sólidos.

3. Resultados y discusiones

3.1. Reconocimiento de la comunidad

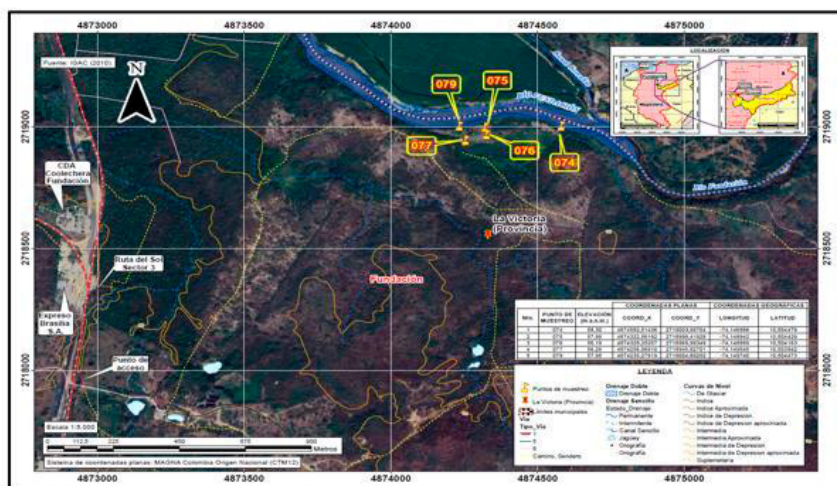
La comunidad de la finca Providencia, ubicada en la zona periurbana de Fundación, ha sido impactada por la violencia, los desplazamientos y la presencia de grupos armados ilegales, generando así condiciones de pobreza. Esta comunidad está conformada por 25 personas, de las cuales

el 64 % son hombres y el 36 % mujeres, con una mayoría en la franja etaria de 27 a 59 años. El 76 % de la comunidad tiene la agricultura como actividad principal, mientras que el 32 % la considera como actividad secundaria. Las familias, en promedio, tienen entre 4 y 6 miembros. Solo el 68 % de los integrantes ha completado la educación primaria o secundaria, y de estos, el 28 % no terminó sus estudios. La finca ha llegado a ser un lugar seguro donde la comunidad puede sembrar yuca, frijol, maíz y plátano, para su sustento diario y para la venta en el mercado municipal. Algunos miembros han cultivado de manera individual en la finca durante los últimos 10 años, valorando el espacio como un sitio para trabajar y compartir conocimientos con otros miembros.

En la Figura 1 se puede observar la ubicación de la finca Providencia, destacando los puntos georreferenciados donde se identificaron residuos sólidos, tales como recipientes y bolsas plásticas, tapas de plástico, cauchos de mangueras, icopor, cartón, papel, empaques con aluminio y cáscaras de los frutos en cosecha. Es importante señalar que estas áreas son frecuentadas por trabajadores que realizan labores agrícolas durante más de 8 horas al día, muchos de los cuales almuerzan en el lugar, lo que contribuye a la generación de residuos.

Figura 1

Ubicación de la comunidad e identificación de residuos



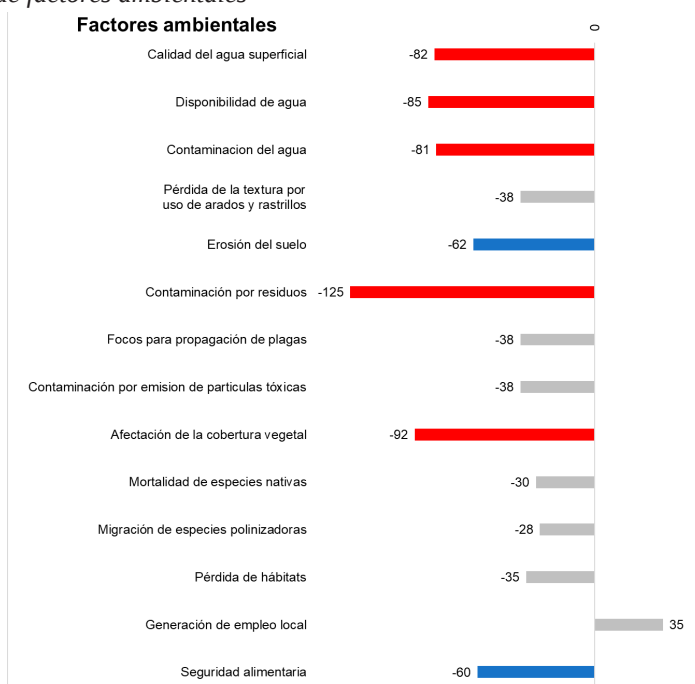
Fuente: Elaboración propia utilizando ArcGis 10.8.

3.2. Diagnóstico ambiental

En la Figura 2, se observa que los factores ambientales con mayor impacto negativo en las actividades de la finca Providencia son la contaminación por residuos, con un factor crítico de -125, ya que esta puede tener múltiples efectos perjudiciales. Le sigue la afectación de la cobertura vegetal, con un factor crítico de -92, lo que puede provocar problemas como disminución de la diversidad biológica del suelo. Otros factores críticos incluyen: disponibilidad de agua (-85), calidad del agua superficial (-82) y contaminación del agua (-81), que afectan directamente los ecosistemas y pueden producir efectos negativos hacia el medioambiente. Factores como erosión del suelo (-62) y seguridad alimentaria (-60) también representan riesgos severos a largo plazo, aunque su impacto dentro de la finca es menor en comparación a los críticos, siguen siendo relevantes y requieren seguimiento y control debido a su importancia en el manejo ambiental de la finca.

Figura 2

Análisis de factores ambientales

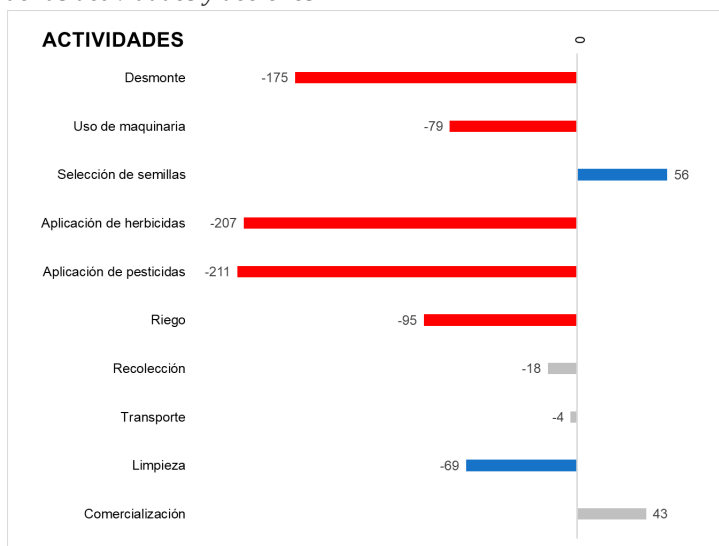


Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los factores ambientales mostró que prácticas como la quema de maleza, la recolección inadecuada de residuos y el uso de fertilizantes no orgánicos agravan los problemas ambientales y representan riesgos para la salud debido a la acumulación de desechos. Además, la falta de una adecuada infraestructura para la recolección de residuos, la escasa educación ambiental y problemas como la insuficiencia de agua potable, la deforestación y la agricultura insostenible, exacerbados por las variaciones climáticas, contribuyen a la contaminación del suelo y del agua.

Los restos de cultivos como yuca, maíz, plátano, frijol, melón y patilla incluyen hojas, ramas, tallos y raíces; pueden ser aprovechados para el compostaje, la cobertura del terreno, la prevención de la erosión y sedimentos, la construcción, elaboración de artesanía y la producción de humus. Sin embargo, al dejar expuestos estos residuos a la intemperie, su descomposición, facilitada por hongos y bacterias, puede causar agotamiento de nutrientes agrícolas, malos olores, contaminación de frutos en buen estado, contaminación hídrica y la difusión de enfermedades (Hernández Ruiz et al., 2017).

A estos residuos orgánicos se suma el estiércol producido por el ganado, cuyo mal manejo —al no ser recolectado ni aprovechado en su mayoría— puede generar emisiones significativas de gases responsables del efecto invernadero, como el metano, además de contaminación por patógenos y generación de malos olores. Esto impacta negativamente la salud y ocasiona la pérdida de nutrientes valiosos que podrían ser reincorporados al suelo (FAO, 2018). Por otro lado, los residuos no orgánicos, como plásticos de botellas y bolsas, caucho de mangueras y etiquetas de papel, generan contaminación en las zonas de cultivo. El aceite de cocina desechado en el suelo también puede tener varios efectos negativos, como la alteración de la estructura del suelo, el impacto en la vida microbiana, la contaminación del agua y malos olores (Figura 3).

Figura 3*Análisis de las actividades y acciones**Fuente: Elaboración propia.*

Al analizar las actividades y acciones relacionadas con la producción agrícola, como se observa en la Figura 3, se logró determinar varias prácticas con un impacto ambiental negativo considerable. Entre ellas, la aplicación de pesticidas (-211), la aplicación de herbicidas (-207), el desmante (-175) y el uso de maquinaria (-79) se destacan como factores críticos, indicando su alto grado de influencia negativa en el medioambiente. Los valores más bajos reflejan un mayor impacto negativo, lo que resalta la necesidad de mitigar los efectos de estas prácticas para proteger los ecosistemas. Otras actividades, como la limpieza (-69), se consideran factores severos, aunque con un impacto relativamente menor en comparación, siguen siendo relevantes para el manejo ambiental dentro de la finca.

Por otro lado, la selección de semillas, con un valor positivo de +56, destaca por su influencia favorable en las actividades agrícolas. Es importante mencionar que la correcta selección de semillas es crucial para mejorar la productividad, la resiliencia de los cultivos y la sostenibilidad a largo plazo. Optar por semillas adecuadas no solo puede aumentar el

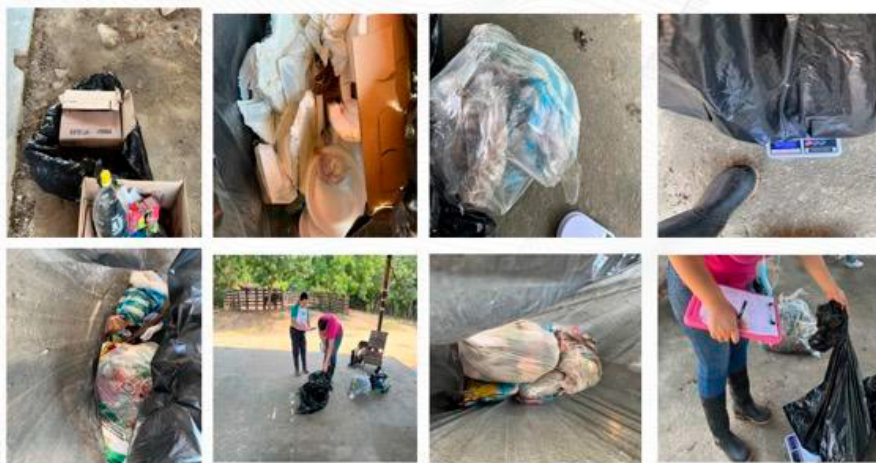
desempeño y la calidad de los productos, sino también reducir el uso de insumos agroquímicos como pesticidas y herbicidas. Además, la selección de variedades locales o resistentes a condiciones climáticas extremas puede promover una agricultura más sostenible, reduciendo el uso de recursos y minimizando el impacto ambiental (Gianella Estrems et al., 2007).

3.3. Caracterización de residuos sólidos

En el análisis de los residuos sólidos, se registró una generación promedio semanal de 3.6 kilos. De este total, el 35 % corresponde a plástico, el 30 % a cartón, el 21 % a icopor y el 14 % a papel (Figura 4). En cuanto a los residuos orgánicos, se identificó una notable presencia de maleza, hojas, palos y raíces, generados principalmente durante el desmonte y la cosecha de los cultivos. Cabe destacar que los residuos orgánicos no incluyen restos de comida.

Figura 4

Caracterización y pesaje de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Desarrollo de capacitaciones y talleres

La implementación de la educación comunitaria como estrategia para fortalecer la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental es una práctica que estamos realizando con la comunidad involucrada dentro del proyecto en la finca Providencia. La capacitación fomenta la conciencia ambiental y la educación sobre la relevancia de reducir, reutilizar y reciclar. Esto empodera a los participantes de la población para tomar decisiones informadas y responsables respecto a la gestión de residuos.

Al presentar nuestro interés en establecer un huerto, la comunidad expresó no tener conocimiento sobre el cultivo de hortalizas ni mucho menos colaborar en cultivos comunitarios. Sin embargo, reconocieron el potencial económico de sembrar diversas hortalizas debido a su rápido crecimiento, fácil mantenimiento y manipulación. En la finca se implementó un huerto comunitario de tipo horizontal en zona blanda, es decir, con cultivos sembrados directamente en el suelo. El huerto tiene una extensión total de 206 m², cuenta con una zona para hacer los semilleros, una zona de hortalizas de fruto que requieren soporte (berenjena, tomate, pimentón y pepino) y ocho camas para las hortalizas de hojas (col, lechuga, perejil, cilantro y cebolla larga).

En lo relacionado con la capacitación en manejo integral de residuos sólidos, se destacó la relevancia de una gestión adecuada para mitigar la contaminación del suelo, agua y aire. Esto, a su vez, puede minimizar la acumulación de residuos en vertederos y prevenir la liberación de sustancias tóxicas. Se presentaron e implementaron diversas prácticas de aprovechamiento de residuos sólidos, que a su vez fueron campañas de recolección de plásticos, residuos orgánicos y aceite de fritura usado. Las actividades desarrolladas incluyeron:

- a) Relleno de botellas plásticas con tierra para la construcción de camas de cultivo en el huerto (Figura 5).
- b) Preparación de compost utilizando tierra negra, hojas verdes, hojas secas, residuos de alimentos vegetales y estiércol de animales de granja (vaca, cerdo o caballo) (Figura 6).
- c) Aprovechamiento del aceite de cocina usado para la elaboración de velas (Figura 7).

- d) Implementación de una zona para la correcta gestión final de residuos sólidos en la entrada de la finca (Figura 8).

Figura 5

Implementación de huerto comunitario y aprovechamiento de botellas plásticas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Preparación de compost utilizando residuos orgánicos generados en el huerto y otros cultivos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Aprovechamiento del aceite de cocina usado para la elaboración de velas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8

Implementación de zona para una correcta gestión final de residuos sólidos.



Fuente: Elaboración propia.

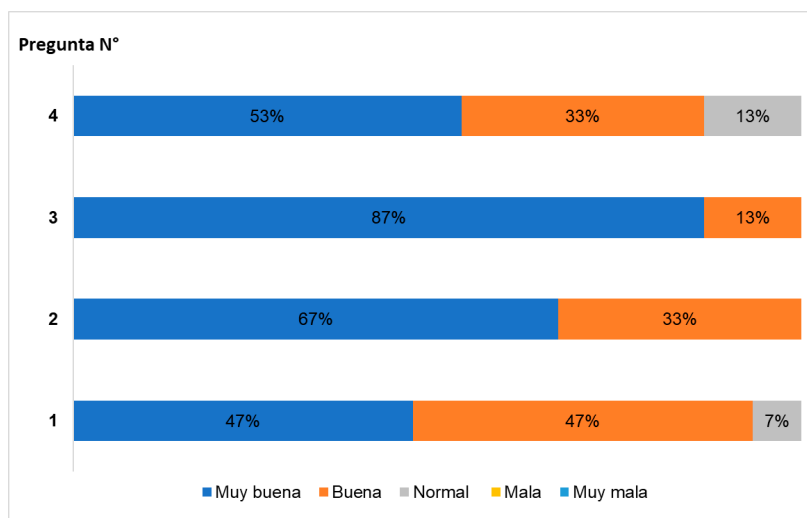
Para evaluar el impacto que tuvieron las capacitaciones, talleres y campañas desarrolladas en la comunidad, se aplicaron encuestas semiestructuradas a los participantes. A continuación, se presentan las preguntas realizadas:

1. ¿Cómo calificaría la temática de la capacitación?
2. En términos generales, ¿cómo describiría la capacitación?
3. ¿Cómo calificaría en general a las profesoras?
4. ¿Cómo calificaría los materiales entregados en las capacitaciones?

Los resultados de estas encuestas se pueden observar en la Figura 9, donde la asistencia alcanzó el 70 % de la comunidad. No se registraron valoraciones negativas, la mayoría de las respuestas se agruparon en las categorías “muy buena” y “buena”, lo que reflejó un alto grado de satisfacción con las actividades ofrecidas.

Figura 9

Resultados de las encuestas de participación.



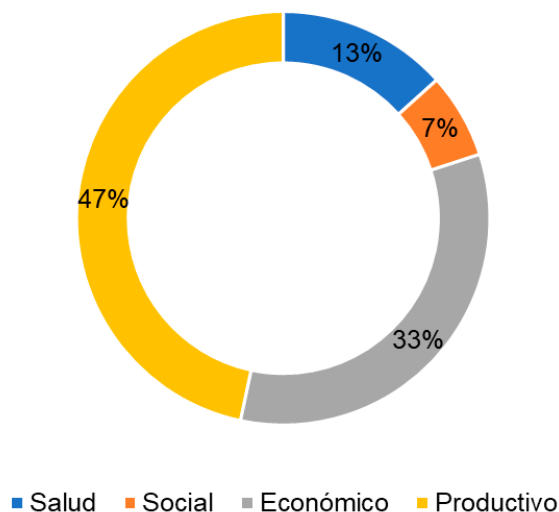
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la pregunta: “¿En cuál de las siguientes áreas ha generado un aporte significativo la construcción del huerto?”, el 47 % de los participantes señaló que fue altamente beneficioso para el aspecto productivo,

seguido por el área económica con un 33 %, ya que consideran que representa una oportunidad para producir y comercializar los productos aprendidos durante las capacitaciones (Figura 10). Adicionalmente, se elaboraron dos cartillas educativas sobre el manejo adecuado de residuos sólidos y huertos comunitarios sostenibles, con el propósito de brindar a la comunidad campesina de la finca y al público en general una guía con información básica, confiable, precisa y actualizada sobre estos temas. Dado que muchos en la comunidad tienen limitaciones en lectura y escritura, las cartillas incluyen ilustraciones para facilitar la comprensión. Este recurso busca garantizar que la comunidad acceda a una forma de aprendizaje accesible y significativa, orientada a adquirir habilidades y conocimientos prácticos. Actualmente, las cartillas están en proceso de edición en colaboración con la editorial de la Universidad del Magdalena.

Figura 10.

¿En cuál de las siguientes áreas, las capacitaciones han generado un aporte significativo?



Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

La promoción de la educación comunitaria fue clave para fortalecer el conocimiento básico sobre la gestión responsable de los residuos sólidos en el área de influencia. A través de capacitaciones, talleres y actividades prácticas, como la correcta disposición de residuos, la elaboración de compost y el aprovechamiento de aceite de cocina para la elaboración de velas, se logró un mayor aprovechamiento de los residuos sólidos. Esto no solo mejoró las capacidades de la comunidad campesina, sino que les brindó herramientas prácticas que podrán implementar en el futuro.

Mantener encuentros continuos con los representantes de la comunidad aportó diversos beneficios, entre los que se destaca una comunicación más fluida con los actores comunitarios y el intercambio de información clave. Estos espacios permitieron fortalecer expectativas y escuchar las necesidades de los involucrados, lo que facilitó un ambiente de confianza y transparencia, esenciales para una comunicación efectiva durante el proyecto.

El uso de herramientas de diagnóstico, como la matriz de Leopold, resultó fundamental para evaluar el estado ambiental actual del territorio. Esta metodología permitió identificar cómo las actividades agrícolas y los factores ambientales están afectando el entorno, proporcionando la información necesaria para desarrollar estrategias adecuadas de gestión ambiental. Las guías y campañas educativas impulsaron el aprendizaje activo, ayudando a los participantes a tomar decisiones informadas. Este enfoque también motivó a la comunidad a involucrarse más en proyectos ambientales promovidos por otras instituciones, aumentando su conciencia y compromiso con la sostenibilidad.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Fundación. (2020). *Plan de desarrollo municipal*. <https://fundacion-magdalena.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/PLAN%20DE%20DESARROLLO.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (2022). *Colombia potencia de la vida: Bases del plan nacional de desarrollo 2022-2026*. <https://img>.

- lalr.co/cms/2022/11/14124020/Bases-PND2022-2026-PDF-arte-final-ajustado-13-10-2022_compressed-1.pdf
- Departamento Nacional de Planeación. (2023). *TERRIDATA*. https://terridata.blob.core.windows.net/fichas/Ficha_47288.pdf
- Environmental Systems Research Institute. (2020). ArcGIS Desktop (Version 10.8) [Computer software]. <https://www.arcgis.com/index.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Contaminar nuestros suelos es contaminar nuestro futuro*. <https://www.fao.org/newsroom/story/Polluting-our-soils-is-polluting-our-future/es>
- Gianella-Estrems, T., Maza, C., & Pinzás, T. (2007). Asegurando las semillas. *Revista LEISA América Latina*, 23(2). <https://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol23n2.pdf>
- Hernández-Ruiz, G. M., Álvarez-Orozco, N. A., & Ríos-Osorio, L. A. (2017). Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: Revisión sistemática. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 139-159. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449949161008.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2005). *Buenas prácticas agrícolas: Sistemas de aseguramiento de la inocuidad de los alimentos*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/b51b85e3-7824-44f7-858d-c0af5a653568/Publicacion-3.aspx>
- Martínez Sabogal, L. A. (2019). Educación comunitaria: Una retrospectiva en Iberoamérica. In *Revista Posacuerdo, paz y pedagogía*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33958/Capitulo5educaci%C3%B3n2019LauraBallen.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_elaboracion_eia-2.pdf
- Ministerio de Educación Nacional. (2017). *Plan nacional decenal de educación 2016-2026: El camino hacia la calidad y la equidad*. https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-392871_recurso_1.pdf
- Presidencia de la República de Colombia. (2017). *Decreto 893 de 2017: Por el cual se crean los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial - PDET*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=8375>

Capítulo 5

Trabajos de colaboración entre el IIUNAM y recicladores de recicladoras de la CdMx

*María Neftalí Rojas Valencia
Hugo Alberto Quintero Navarro*

*Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de
México. E-mail: nrov@pumas.iingen.unam.mx*

<https://doi.org/10.61728/AE20252137>



1. Introducción

El problema del mal manejo de los residuos de construcción y demolición (RCD) no termina. Hay un gran desconocimiento sobre su potencial de aprovechamiento como materia prima. Su reutilización como material de construcción abonaría a la disminución de afectaciones que se generan al ambiente, al evitar la sobreexplotación de materiales vírgenes y su traslado desde el banco de materiales. El aumento de construcciones debido al desarrollo urbano que presenta la Ciudad de México (CdMx) por actividades antropogénicas, como la autoconstrucción y el desarrollo inmobiliaria, ha traído repercusiones al ambiente y a la ciudadanía; por ello se vuelve cada vez más necesario mejorar las áreas verdes urbanas, ya que este tipo de espacios renuevan la calidad de vida de las personas (Shen et al., 2017), y contribuyen a frenar el crecimiento desbordado en las ciudades (ANPR, 2019), además de aportar beneficios ambientales como la reducción de la escorrentía y la mitigación de inundaciones (Venkataramanan et al., 2019) o la regulación del clima a través de la sombra y la evapotranspiración (Doick et al., 2014). En ocasiones, aun los parques urbanos son utilizados como tiraderos clandestinos e incluso se desechan RCD en ellos; esta situación provoca daños ambientales, deterioro de la imagen urbana, proliferación de fauna nociva y afectaciones a la salud (Figura 1).

Figura 1

Tiraderos clandestinos en parques urbanos de la CDMX



Fuente: Elaboración propia.

2. Desarrollo

Para el desarrollo de este estudio, en una primera etapa se hizo una revisión documental y cualitativa del aprovechamiento que se le ha dado a los RCD en la Ciudad de México (CdMx). La revisión sistemática se basó en las publicaciones científicas que se relacionan con el aprovechamiento de los RCD. Se realizó una búsqueda de artículos en plataformas internacionales de datos, incluyendo: ScienceDirect, Scopus y Web of Science. Se seleccionaron artículos basados en criterios de inclusión y exclusión, y se sintetizó la información más relevante. La investigación registró las preguntas y definiciones para la búsqueda, selección y extracción de los artículos, guiada por las afirmaciones y temas de investigación.

En una segunda etapa, se empleó el método cualitativo, que permitió realizar un análisis de los procesos de urbanización en la CdMx que han incentivado en la generación de RCD. De igual forma, se utilizó el método cuantitativo; este método fue en la investigación social, ya que proporciona una base para establecer comparaciones con la investigación

cualitativa. Esto permite descubrir los procesos de cambio dentro de un ecosistema y prevenir los fenómenos que vayan surgiendo. Asimismo, sirvió para realizar métodos estadísticos y análisis cartográficos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En la tercera y última etapa, en trabajo de campo, se harán observaciones y exploraciones del sitio de estudio in situ.

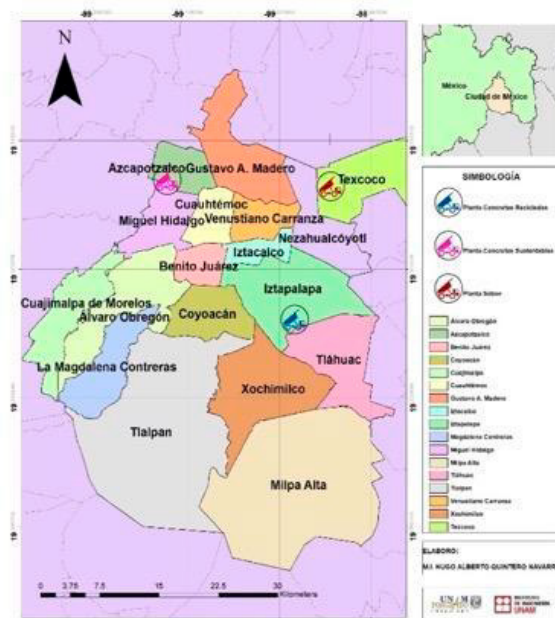
3. Resultados

3.1. Situación de los RCD en la CdMx

En México, la industria de la construcción genera anualmente 12 millones de toneladas de RCD, es decir, 32.877 t/día; de estas solo el 4 % se reutiliza o recicla (Rojas et al., 2022). Respecto a la CDMX, al día se generan 17 000 toneladas de RCD y solo se reciclan 206 toneladas (SEDEMA, 2019), con lo cual la ciudad llega a generar el 52 % de la generación total de RCD del país. Ahora bien, los residuos provenientes de desastres naturales, particularmente sismos y terremotos, representan una fuente importante de RCD; Reyes y Rojas (2020) exponen que en el sismo ocurrido el 19 09 2017 en la CDMX se generaron aproximadamente 364 598(t) de residuos derivados del colapso y la demolición de edificaciones dañadas. Esta cifra equivale a la acumulación de RCD generados por 26 días en la CdMx.

La CdMx tiene tres plantas de tratamiento y aprovechamiento de RCD (Lomelí, 2022): una en el oriente, en Iztapalapa; otra en el poniente, en Miguel Hidalgo; y la tercera ubicada en la cuarta etapa del relleno sanitario de Bordo Poniente (Texcoco, Edo. de México). En la Figura 2 se puede apreciar su ubicación.

Figura 2.
Ubicación de plantas de reciclaje de RCD



Fuente: elaboración propia.

Usos que se les ha dado a los RCD LAS recicladoras en la CdMx, en colaboración o no con las universidades como la de la UNAM. En las Figuras 3 y 4 se exponen algunos sitios donde se han dado uso a los RCD en la CdMx.

Figura 3

Ejemplo de usos que se han dado de los RCD en la CdMx

Proyectos realizados por concretos reciclados

Bosque de Tlalpan. Acondicionamiento de 15 km de caminos (Alcaldía Tlalpan)



Línea del metro

*Recepción en concretos reciclados 518,279 t

*Consumo de 114,431 t de materiales reciclados



Autopista urbana sur

*Recepción en CR de 175,022 t

*Consumo de 11,918 t de materiales reciclados;
principalmente bases hidráulicas y materiales para rellenos

Fuente: elaboración propia

Figura 4

Ejemplo de usos que se han dado de los RCD en la CDMX



Utiliza RCD como complemento de los agregados pétreos en la elaboración de mezclas asfálticas, las cuales pueden ser utilizadas en la construcción de carpetas asfálticas de vialidades urbanas (Ossa y García, 2014)



Fuente: elaboración propia

4. Proyectos en curso

4.1. Parques urbanos en la CdMx

La compilación de Áreas Verdes 2017 de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) registra que en la Ciudad de México existen 1447 parques urbanos, lo que significa que la extensión de áreas verdes promedio por habitante en la ciudad es de 7.54 m², cuando el estándar recomendado por la OMS es de por lo menos 9 m² por habitante. Cabe mencionar que los datos oficiales presentados por la SEDEMA se deben tomar con prudencia, ya que los inventarios de áreas verdes incluyen información de áreas verdes de nula o escasa accesibilidad, como es el caso de barrancas, jardines privados y algunas reservas ecológicas (Téllez y Castro, 2020).

La mayoría de los parques urbanos se encuentran en las alcaldías Iztapalapa con 452, Coyoacán con 253 y Gustavo A. Madero con 128. En la Tabla 1 se expone la cantidad de parques urbanos en las diferentes alcaldías, mientras que en la Figura 5 se expone la ubicación de cada uno de los parques.

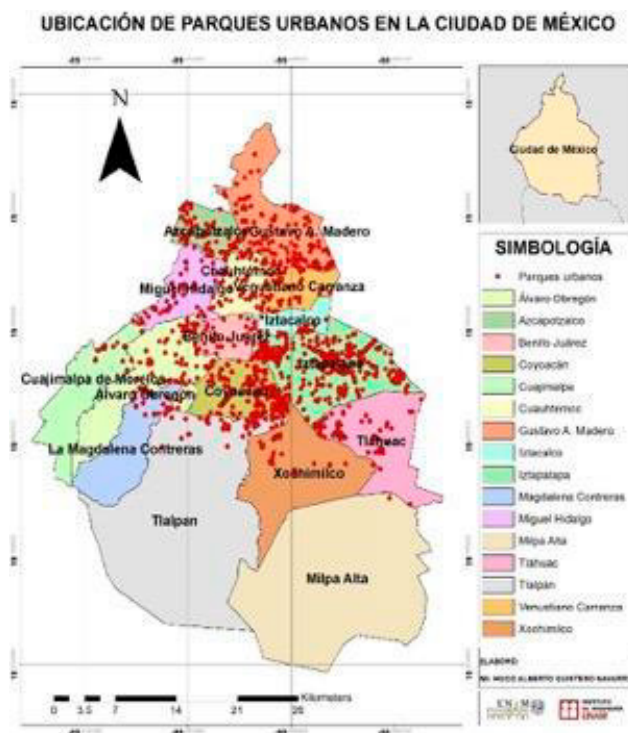
Tabla 1
Cantidad de parques urbanos por alcaldía

Alcaldía	Número de parques urbanos
Iztapalapa	452
Coyoacán	253
Gustavo A. Madero	128
Tláhuac	111
Álvaro Obregón	86
Azcapotzalco	77
Miguel Hidalgo	66
Tlalpan	65
Venustiano Carranza	52

Alcaldía	Número de parques urbanos
Cuauhtémoc	47
Xochimilco	30
Benito Juárez	27
Magdalena Contreras	22
Cuajimalpa	15
Iztacalco	15
Milpa Alta	1

Fuente: SEDEMA, 2021.

Figura 5
Parques urbanos en CDMX



Fuente: elaboración propia

Por otra parte, en el 2022 se anunció la NOM-001-SEDATU-2021, la cual menciona las áreas públicas en los establecimientos poblacionales. En dicha normativa se considera a los parques urbanos como espacios públicos, que influyen en mejorar la vida de las poblaciones, tanto en las actividades recreativas y culturales como en los estratos sociales.

4.2. Reciclaje de RCD en parques urbanos

Entre las afectaciones que se originan debido al manejo inadecuado de los RCD está el acaparamiento de terrenos, fin de la vida útil de los sitios de disposición final, consumo de energéticos y no energéticos, sobreexplotación de los bancos de materiales y contaminación del aire (Akanbi et al., 2018); asimismo, el transporte que conlleva el acarreo de los RCD presenta diversos impactos ambientales, como generación de gases, emisión de polvos y contaminación acústica (Ding et al., 2016). Evitar del todo el agotamiento de estos recursos es prácticamente imposible y, por ello, es necesario considerar la sostenibilidad al planificar diferentes proyectos de aprovechamiento por medio del reciclaje de los RCD.

De acuerdo con la NACDMX-007-RNAT-2019, el agregado reciclado que se logra obtener de los RCD se puede utilizar en elementos no estructurales: el equipamiento de parques urbanos (véase figura 6), por ejemplo, en concreto para fabricación de banquetas y guarniciones, jardineras, mobiliario urbano, ciclopistas y trotapistas, entre otros.

Figura 6

Ejemplo de ciclopistas, jardineras y caminos de parques urbanos



Fuente: elaboración propia.

En la actualidad se han desarrollado estudios sobre la factibilidad técnica de los agregados y concretos reciclados para la manufactura de mobiliario urbano (Sánchez, 2019; Rojas y Ossa, 2022), tal como se puede ver en las Figuras 7-9, con resistencias a la compresión mayores a 35 MPa; además, se examina que el comportamiento del concreto fabricado es mejor con agregado grueso reciclado y no de forma conjunta agregado grueso y fino. También se ha demostrado que, al emplear agregados reciclados para fabricar ladrillos y bloques, se obtienen materiales que cumplen con creces lo que marca la normativa mexicana (ver Figura 10) (Rojas y Ossa, 2022).

Figura 7

Bardas y jardineras hechas con RCD



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8

Comedores fabricados con RCD



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Bancas, banquetas y huellas fabricadas con RCD

Otros usos desarrollados en el IIUNAM



Mobiliario urbano

En todos los casos se ha cumplido con la normativa vigente

Fuente: Elaboración propia

Figura 10
Bloques fabricados con RCD



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

Se puede concluir que es viable usar RCD para el mantenimiento y remodelación de parques urbanos; paralelamente, se deben considerar factores como las condiciones del área de estudio, el volumen estimado y el costo que conlleva usar RCD para el equipamiento del sitio. También es factible emplearlas en los otros espacios urbanos, como plazas públicas que se encuentren descuidadas y en malas condiciones, ya que se lograría equipar con elementos como jardineras, mesas, bancas, ciclopistas, etcétera.

Con el reciclaje de los RCD, se contribuiría a disminuir el daño ambiental ocasionado por la explotación de bancos vírgenes, y se reducirían los costos asociados al manejo de RCD para el desarrollo de una ciudad sostenible con la rehabilitación de espacios recreativos para la ciudadanía.

Un aspecto importante a tener en cuenta al momento de rehabilitar parques urbanos o espacios de este tipo es la gestión, debido a que la mayor parte de los esfuerzos se focalizan en el diseño y construcción, pero al mantenimiento del espacio no se le presta la importancia necesaria.

Mantener un parque en buenas condiciones ofrecerá un lugar atractivo para las futuras generaciones. Finalmente, se puede decir que el mal manejo de RCD puede alterar el entorno urbano de la CdMx, lo cual se puede evitar empleándolos adecuadamente.

Referencias bibliográficas

- Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Dávila Delgado, M., Bilal, M., & Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>
- Ding, Z., Wang, Y., & Zou, P. X. W. (2016). An agent based environmental impact assessment of building demolition waste management: Conventional versus green management. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1136-1153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.054>
- Doick, K. J., Peace, A., & Hutchings, T. R. (2014). The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of The Total Environment*, 493, 662-671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.048>
- Núñez, J. M. (2022). Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21(67). <https://doi.org/10.22136/est20211661>
- Reyes, A., & Rojas, M. A. (2020). *Propuesta de gestión de residuos por sismo caso de estudio: Ciudad de México 2017* [Undergraduate thesis]. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/17221>
- Rojas, M. N., López, J., García, P., & Martínez, R. (2022). Recovery of mixtures of construction waste, PET and sugarcane bagasse for the manufacture of partition blocks. *Materials*, 15(19), 1-26. <https://doi.org/10.3390/ma15196836>

- Rojas, M. N., & Ossa, A. (2022). Generación de residuos de la construcción y normativa aplicable en la Ciudad de México. *Ingeniería Civil*, 634. https://issuu.com/cicm_oficial/docs/ic634_final_cicm
- Sánchez, Z. (2019). *Utilización de árido reciclado para la fabricación de piezas de hormigón prefabricado de mobiliario urbano* [Doctoral dissertation]. Universidad de Granada. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/55703/81240.pdf>
- Shen, Y., Sun, F., & Che, Y. (2017). Public green spaces and human wellbeing: Mapping the spatial inequity and mismatching status of public green space in the Central City of Shanghai. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.018>
- Téllez Montes, Y. N., & Castro Campos, J. (2020). Parques urbanos de la Ciudad de México: ¿Son suficientes? In *Factores críticos y estratégicos en la interacción territorial: Desafíos actuales y escenarios futuros* (pp. 1126-1142). Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A. C. <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/5204>
- Venkataramanan, V., Packman, A. I., Peters, D. R., Lopez, D., McCuskey, D. J., McDonald, R. I., Miller, W. M., & Young, S. L. (2019). A systematic review of the human health and social well-being outcomes of green infrastructure for stormwater and flood management. *Journal of Environmental Management*, 246, 868-880. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.028>

Capítulo 6

Análisis de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) a nivel nacional

Marco Tulio Espinosa López¹

Esperanza Padilla Murcia²

Clara Inés Pinilla Moscoso³

<https://doi.org/10.61728/AE20252144>



¹ MSc. Ciencias Ambientales, profesor investigador UDCA. E-mail: maespinosa@udca.edu.co

² MSc en Educación de la Universidad de los Andes, Bogotá Colombia. Docente investigadora del Politécnico Internacional. E-mail: esperanza.padilla@pi.edu.co

³ Doctorado Facultad Ciencias de La Tierra: Ecology & Environmental Health. E-mail: consultoriaclarapinilla@gmail.com

1. Introducción

La gestión de los residuos sólidos ha sido un tema crucial a lo largo de la historia de la humanidad. Es así como su avance en los países desarrollados ha significado la implementación de estrategias como la reutilización, el reciclaje, el compostaje, la incineración y el uso de rellenos sanitarios, que al final de su vida útil se convierten en áreas recreativas. Sin embargo, en países en vía de desarrollo como Colombia, a pesar del avance normativo y los esfuerzos del gobierno central y otras entidades locales, la implementación de estas normas, directamente en los municipios, enfrenta obstáculos y retos, ya que al parecer no hay claridad por parte de los actores involucrados, y los recursos a menudo se desvían o se destinan a otras necesidades.

De hecho, en Colombia se viene legislando en temas de residuos desde el Decreto Ley 2811 de 1974 (artículos 8, 18 y título 3 art. 34-38); pasando por la Ley 9 de 1979 (Art. 1 literal B) y potenciándose con la Constitución Política de 1991 en su artículo 80 y luego se complementa con la Ley 142 de 1994 Capítulo 2, (artículo 14.23 y 14.24), para aterrizar en la primera Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos en 1998 (Tabla 1); todo ello, para intervenir una realidad nacional de problemática de los residuos sólidos que en esos años, era vista como una situación netamente sanitaria, pero que en la actualidad es realmente un problema ambiental, que no solo afecta la salud, sino también al ambiente en su más amplia dimensión.

Es así como la presidencia de la república, en su momento en cabeza de Andrés Pastrana, produce el Decreto 1713 de 2002, por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 junto con la Ley 99 de 1993 en relación con la gestión integral de residuos sólidos. Esta última definida como:

Gestión integral de residuos sólidos: Es el conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final. (CONPES 3530 de 2008, p. 8)

Así mismo, los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS, que se entienden como:

Instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos. (Decreto 2981 2013, p.4; Decreto 1077 2015, p.596)

Por otro lado, con relación a las cifras de la gestión de residuos, en la actualidad, se observa que “en el mundo se producen 2100 millones de toneladas de residuos al año, de las cuales se reciclan el 16 %” (Semana Medio Ambiente, 2021); en América Latina y el Caribe se producen 231 millones de toneladas de residuos al año, de las que se reciclan menos del 5 % (Sturzenegger y Espinosa, 10 de marzo de 2023); y, en Colombia, se producen alrededor de 13 millones de toneladas de residuos al año, con un reciclaje del 16.5 % (CONPES 3874, 2016, p. 9). Lo anterior, con una proyección de aumento de más del doble para el 2050 a nivel mundial (Kaza, Yao, Bhada-Tata y Woerden, 2018). Conforme a esto, aquí caben las preguntas: ¿Cómo está el tema de la gestión de residuos en los municipios? ¿Qué estrategias se están implementando para ayudar a mitigar este problema? ¿En cuánto está la tasa de reciclaje en cada uno de los 1106 municipios de Colombia?

Ahora, la mala gestión de los residuos sólidos se evidencia cuando grandes cantidades de estos son llevadas a rellenos sanitarios, forman puntos críticos en la ciudad, son mal depositados en contenedores públicos o son depositados en los parques o ecosistemas naturales. Asunto que trae como consecuencia problemas de saneamiento básico, salud pública, contaminación y pérdida de ecosistemas (ríos, lagos, mares,

parques naturales), y un incremento del cambio climático por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este último, manifestado en los picos altos o bajos de temperatura, las épocas de sequía intensa donde se producen incendios forestales o las lluvias torrenciales que producen inundaciones, entre otros.

Desde el concepto de economía circular, representa un desaprovechamiento de los residuos como recursos (materiales que no son usados y que son pérdidas del sistema), limitando las oportunidades de “negocios verdes” para el desarrollo económico en las regiones. Por ello, la necesidad y oportunidad de gestionar adecuadamente los residuos por parte de los municipios, instituciones, empresas y viviendas aumenta cada vez más. Motivo por el cual, desde el año 2022, el Consorcio Universitario para la Gestión Sostenible de Residuos en ALC, La Red Colombiana PGIRS, La Red Colombiana de Formación Ambiental (RCFA), la red RAUS y sus aliados estratégicos empezaron a convocar a los diferentes actores del sector para abrir un espacio de encuentro y de intercambio de experiencias, y de esta manera, ver los avances, retos y oportunidades de la gestión sostenible de residuos en la actualidad. Desde entonces, se han realizado seis precongresos en las diferentes regiones de Colombia y un Congreso Nacional de Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, de donde han salido insumos clave que han permitido identificar y articular actores, iniciar una participación en política pública para el cambio de la normativa y elaborar una propuesta para los PGIRS de “tercera generación” en el marco de la economía circular, entre otros.

De ahí que los mismos aliados, más otras organizaciones del sector, realizaran el Congreso LATAM de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales (GIRSU), junto con la Universidad del Magdalena, la U.D.C.A. y el Politécnico Internacional, en la ciudad de Santa Marta, Colombia, del 25 al 27 de septiembre de 2024.

2. Metodología

Para este estudio se escogió la investigación cualitativa con análisis descriptivo. Para ello, el fenómeno a observar fueron los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) a nivel nacional, después de

los 20 años del Decreto 1713 de 2002. Lo anterior, con el propósito de comprender y describir las propiedades, características o rasgos de este fenómeno y la forma en que los participantes lo perciben y experimentan, desde su contexto (Hernández, Fernández y Baptista, 2003 y 2014). Además, el análisis descriptivo permite “la visibilización de los referentes tomados como relevantes al momento de la recolección y tratamiento de la información” (Lafitte y Sánchez Vásquez, 2013, p. 5).

Con base en lo anterior, se estimó el objetivo general como: realizar un análisis cualitativo descriptivo de los PGIRS a nivel nacional, después de los 20 años del Decreto 1713 de 2002, a través del intercambio de información y experiencias de los Precongresos y el Congreso Nacional de PGIRS. Igualmente, los objetivos específicos se definieron como: 1. Reconocer actores involucrados en el sector; 2. Abordar la normativa y el seguimiento por parte de las autoridades competentes; 3. Realizar análisis del estado de los PGIRS municipales; 4. Desarrollar una propuesta de PGIRS de tercera generación; y, 5. Incidir en política pública para un PGIRS de tercera generación. De los anteriores, en este escrito, los resultados que se presentarán serán de los cuatro primeros objetivos.

Esta información fue recolectada de documentos legales (PGIRS de municipios), documentos entregados por los ponentes participantes, presentaciones, relatorías, reuniones y una encuesta diligenciada por 50 municipios de Colombia. Para su organización y análisis se realizaron una matriz FODA y una de lecciones aprendidas, que permitieron definir una especie de “descriptor, rasgos y atributos” (Lafitte y Sánchez Vásquez, 2013, p. 4), traducidos en las características del FODA y en las áreas de proyección para el PGIRS de tercera generación.

Justamente, en cuanto al DOFA (o SWOT, Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats), se utilizó como herramienta para analizar el problema alrededor de los PGIRS, describiendo los factores o características internas (Fortalezas y Debilidades) que sugieren la capacidad misma de los PGIRS en los municipios, y factores externos (Oportunidades y Amenazas), que permiten ver las condiciones o situaciones que favorecen y afectan (Ponce Talancón, 2007). Al igual, esta herramienta permitió proyectar una propuesta de planeación para el mencionado PGIRS de tercera generación (Otero y Gache, 2004).

Entre los participantes e interesados en este análisis de los PGIRS en Colombia figuraron organizaciones y actores relevantes como el Consorcio Universitario para la Gestión Sostenible de Residuos en ALC, la Red Colombiana PGIRS, la Red Colombiana de Formación Ambiental (RCFA), la red RAUS y otros aliados del sector. Con ellos, se llevaron a cabo siete precongresos y un Congreso Nacional de PGIRS, de los cuales se recopiló la información relevante. A saber: los precongresos del Nodo Eje Cafetero y Norte del Valle (17 y 18 de mayo de 2022), Nodo Centro (22 y 23 de junio de 2022), Orinoquia (21 y 22 de julio de 2022), Pacífico (31 de agosto de 2022), Antioquia (18 de octubre de 2022) y Caribe (15 de noviembre de 2022); un conversatorio CAR (9 de noviembre de 2022); un encuentro taller (12 de diciembre de 2022); el Congreso Nacional de PGIRS (3 a 5 de mayo de 2023) y un Webinar Basura Cero (21 de octubre de 2023). Se estima que participaron más de dos mil personas (Espinosa y Padilla, 2023).

Para las lecciones aprendidas, se realizó la recopilación de experiencias y prácticas presentadas; posteriormente, las ideas principales se llevaron a una matriz, se realizó el análisis de los datos y, finalmente, se definieron las lecciones aprendidas. Para el procedimiento, se siguió adaptado de la línea de gestión de proyectos (Gido, Clements y Baker, 2018; LLedó y Rivarola, 2007), así como de investigación en gestión ambiental (Pinilla y Aguado, 2012). De esta manera, los pasos seguidos para el desarrollo del estudio se resumen de la siguiente forma:

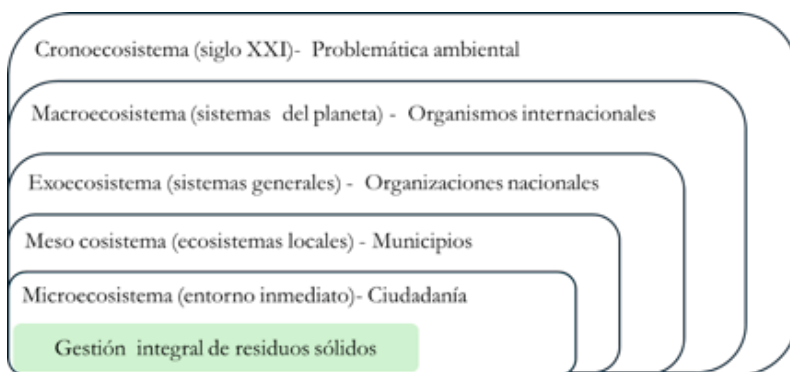
1. Inicio. Con respecto a este paso, se identificó el fenómeno y se formularon las preguntas. Esto es: ¿Qué ha sucedido con los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) a nivel nacional, después de los 20 años del Decreto 1713 de 2002? ¿Qué actores están involucrados? ¿Cuál es el estado actual de la normativa? ¿De qué manera se están realizando los PGIRS en los municipios? ¿Cómo podría ser una propuesta de PGIRS de tercera generación? ¿De qué manera incidir en la política pública actual?

Además, se pensaron los actores involucrados teniendo como base un modelo socioecosistémico de Stanger (2011), donde desde lo complejo se conciben todos los niveles socioambientales, involucrando a los ciudadanos (microecosistema), los municipios desde las comunidades

hasta los entes de gobierno, como entorno local, las organizaciones nacionales, tanto públicas como privadas (exoecosistema), los organismos internacionales que trabajan y dan lineamientos del tema, y finalmente el momento del siglo XXI en que se encuentra esta problemática ambiental (Figura 1). En este aspecto, desde la investigación y con base en el modelo socioecosistémico, se identificaron diferentes actores y se convocaron para los eventos.

Figura 1

Modelo socio ecosistémico del contexto socioambiental de la gestión integral de residuos sólidos



Fuente: Modificada de Padilla y Flores (2022).

2. Planeación de los eventos. Aquí se gestionó con el Consorcio de Gestión de Residuos de ALC, con la RCFA y la RAUS el apoyo y participación para conectar con los nodos a nivel nacional. Además, en el transcurso del proceso, se creó la REDPGIRS, al ir incorporando cada vez más actores de los diferentes sectores. Con este antecedente, se iniciaron conversaciones para, primero, planear los precongresos y, posteriormente, el congreso a nivel nacional. En este paso, también se definieron los objetivos, el tipo de investigación y las técnicas de recolección de información.
3. Ejecución y evaluación de los eventos. Con respecto a este, en el transcurso de un año (2022), se llevaron a cabo los precongresos y otros eventos simultáneos y al siguiente año (2023) se realizó el Congreso Nacional de PGIRS. En estos, se fue recopilando, procesando,

y haciendo el correspondiente análisis y sistematización de la información. De ello, durante los eventos se realizaron relatorías y registro de todas las presentaciones, de las cuales se extrajeron ideas clave en dos matrices, una para el FODA y otra para las lecciones aprendidas. Posteriormente, se fueron definiendo descriptores, características o rasgos que fueron ubicados como factores internos o externos que inciden en los PGIRS; y otras ideas fueron escritas como lecciones aprendidas.

Cabe decir que se tuvo una participación de más de 2000 personas y de diferentes sectores (ver resultados).

4. Cierre. Con lo surgido en los pasos anteriores, se realizaron informes y memorias digitales de las presentaciones, las cuales permitieron divulgar la información, conectar con más actores y programar el Congreso latinoamericano de Gestión Integral de Residuos Sólidos para el siguiente año (2024).

3. Resultados

Caracterización de los actores involucrados en el sector

En este aspecto, se observó que diferentes actores respondieron a la convocatoria. Estos fueron organizados, primero, según el modelo socioecosistémico y, posteriormente, de acuerdo con características como el rol, el nivel de responsabilidad y la incidencia que pueden tener en el tema de los PGIRS. Ahora, antes de describirlos, es clave mencionar que, teniendo en cuenta las reflexiones surgidas en los eventos, la responsabilidad y corresponsabilidad frente al PGIRS es de los diferentes actores, sobre todo si se habla del consumo y disposición. Sin embargo, en la cadena de la gestión de residuos sólidos, se tienen diferentes roles, responsabilidades y posibilidad de incidencia.

Entonces, de acuerdo con la organización de los participantes del evento en el modelo socioecosistémico (Figuras 1 y 2), se puede decir que el actor inmediato es cada ciudadano, responsable de la prevención, la generación, la separación y el aprovechamiento individual. Así, en los actores locales se observa una diversidad de organismos y organizacio-

nes a nivel local que representan el sector público y privado del entorno cercano, que, además de ser generadores, también son responsables de planear, gestionar y acompañar los procesos del PGIRS. Además, están los actores del sistema nacional, que legislan, hacen seguimiento, investigan, documentan y sistematizan, entre otros. Luego están los actores del sistema internacional que analizan, trazan lineamientos, financian y acompañan técnicamente proyectos. Todo lo anterior en el marco del momento que se vive actualmente en el mundo a raíz de la problemática ambiental de la gestión integral y sostenible de residuos sólidos.

Figura 2

Organización de los actores involucrados según el modelo socioecosistémico



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, desde la perspectiva del rol y del involucramiento, se definieron los actores directos, intermedios e indirectos (Figura 3); los primeros son aquellos que tienen responsabilidad en toda la cadena de gestión sostenible de residuos; los segundos son los que tienen corresponsabilidad y pueden incidir de manera clave en el acompañamiento técnico; y los terceros son los que, aunque su corresponsabilidad es menor, pueden ser partícipes del cambio y el avance de los PGIRS a nivel nacional.

Por otro lado, como resultado, todos estos actores identificados participaron en los eventos realizados en el 2022 y 2023, lo que permitió recolectar información valiosa del estado y las prácticas de los PGIRS a nivel nacional.

Figura 3

Categorización de los actores involucrados que participaron en los eventos

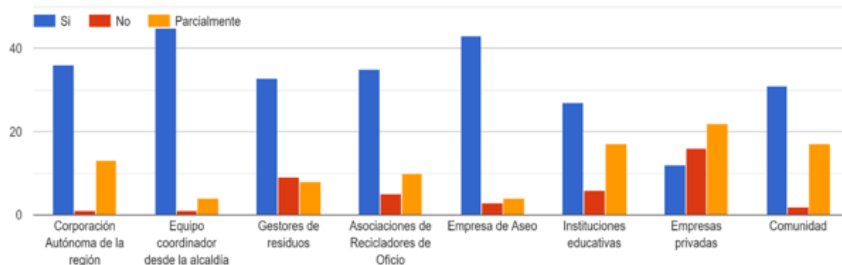


Fuente: Elaboración propia.

Ahora, frente a la opinión de los municipios acerca de qué actores están involucrados en el PGIRS, estos respondieron que los tres que sí están más involucrados son: el equipo coordinador de PGIRS de la alcaldía, la empresa de aseo y la corporación autónoma regional; que los tres que están parcialmente involucrados son las empresas privadas, la comunidad y las instituciones educativas; y los que NO están involucrados son las mismas empresas privadas, los gestores de residuos y las instituciones educativas (Figura 4).

Figura 4

Opinión de los municipios frente a los actores involucrados en los PGIRS del municipio



Fuente: Encuesta a municipios.

Construcción de una línea del tiempo con la normativa vigente

El desarrollo de todas estas jornadas permitió revisar los avances del PGIRS desde antes del Decreto 1713 de 2002 (LEY 142 de 1994 y normativas anteriores) hasta las nuevas propuestas del Plan de Desarrollo Nacional del actual gobierno (Ley 2294 de 2023, Art. 227, Programa Basura Cero) y el Decreto 1381 de 2024 (Recicladores de oficio y aprovechamiento); con ello se realizó una línea del tiempo de las diferentes leyes y normas (Tabla 1).

Tabla 1

Matriz legal y normativa de los PGIRS, en línea de tiempo

Normativas vigentes sobre PGIRS	Descripción
Ley 142 del 1994	Régimen de los servicios públicos domiciliarios
Decreto 1713 2002	Prestación del servicio público de aseo, modifica el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la “Gestión Integral de Residuos Sólidos”.
Resolución No. 1045 de 2003	Elaboración de planes integrales de manejo de residuos sólidos, PGIRS y otras decisiones.
Decreto 838 2005	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2981 2013	Reglamenta el Servicio de Aseo
Resolución 0754 2014	Metodología PGIRS
Decreto 1077 2015	Único reglamentario Sector Vivienda, Ciudad y Territorio MVCT

Normativas vigentes sobre PGIRS	Descripción
Resolución 754 de 2014. El PGIRS 2DA GENERACIÓN regional se aplica a los planes adoptados en una de dos o más municipalidades. Capítulo 1454 Planificación conjunta de la totalidad o parte de las actividades en los municipios, distritos o regiones a que se refieren los artículos 13, 14, 15 y 19.	- El manejo de residuos sólidos abarca actividades como separación en la fuente, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y eliminación. - Caracterización de los residuos. Determinación cualitativa y cuantitativa de características y propiedades de residuos sólidos. - Producción diaria per cápita se refiere a la cantidad de residuos sólidos generados por persona en kg/hab-día. - Separación en la fuente promueve clasificación y recuperación de residuos sólidos. - La presentación de residuos sólidos implica envasar, empacar e identificar para su gestión y disposición adecuada - El almacenamiento de residuos sólidos implica colocarlos temporalmente en recipientes antes de procesarlos, comercializarlos o recolectarlos para su tratamiento. - El aprovechamiento en la Gestión Integral de Residuos Sólidos implica reincorporar materiales recuperados al ciclo económico mediante reutilización, reciclaje, incineración para energía, compostaje u otras modalidades con beneficios diversos. - Recuperación: selección y retirada de residuos sólidos para convertir en materia prima para nuevos productos. -El reciclaje es crucial para convertir residuos en materia prima para nuevos productos a través de diversas etapas como tecnologías limpias, recolección selectiva y comercialización. - La reutilización implica extender la vida útil de los residuos recuperados para su uso original o relacionado sin requerir transformación adicional. - Residuo sólido aprovechable es un material sólido sin valor para el generador, pero útil en un proceso productivo. - Residuo sólido no aprovechable: material sólido de origen orgánico e inorgánico, sin posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación, requiere tratamiento y disposición final generando costos.

Normativas vigentes sobre PGIRS	Descripción
Resolución No. 1045 de 2003 Desarrollar métodos para la elaboración de planes integrales de manejo de residuos sólidos, PGIRS y otras decisiones. Decreto No. 2981 de 2013 regula la prestación de servicios públicos de Aseo, especialmente la comercialización de residuos sólidos disponibles, y la responsabilidad por los impactos ambientales en diferentes áreas del territorio. Resolución No. 0472 de 2017 permite y regula la Gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD), mecanismos especificados para su tratamiento, uso y disposición final efectivos de RCD, así como responsabilidades de generadores, gestores, municipios.	

Normativas vigentes sobre PGIRS	Descripción
Resolución No. 2184 de 2019	
Establece los códigos de colores blanco, negro y verde para la clasificación de residuos a partir de 2021, tienen como objetivo promover la cultura cívica de la clasificación de residuos en el país.	
Resolución No. 591 de 2024	
reglamenta la gestión de los residuos generados por la atención sanitaria y otras actividades deben gestionarse de forma integral para prevenir y reducir los riesgos para la salud pública y el impacto ambiental	
El CONPES 3874 de 2016 es la política nacional de gestión integral de residuos sólidos en Colombia, enfocada en residuos no peligrosos para el desarrollo sostenible y la lucha contra el cambio climático.	- La recolección de residuos sólidos consiste en recoger y retirar desechos de generadores por prestadores de servicios. - La micro ruta-transporte se refiere a la planificación detallada de calles y manzanas para la recolección de residuos. -El tratamiento de residuos sólidos modifica sus características para reutilización o minimizar impactos ambientales; la eliminación incluye disposición final, recuperación de recursos, reciclaje, compostaje y otros usos

Normativas vigentes sobre PGIRS	Descripción
Ley 1753 de 2015 (El artículo 88) regula la gestión de residuos sólidos en Colombia e incentiva el aprovechamiento de residuos en entidades territoriales con proyectos viables en su Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS).	-La disposición final de residuos sólidos se refiere a aislar y confinar estos desechos de manera permanente en sitios específicos para prevenir contaminación y riesgos ambientales. - Almacenamiento definida y cerrada para residuos sólidos temporales en cajas
Ley 1801 de 2016 Convivencia Ciudadana (Art. 94, Capítulo II Art. 111 y otros)	Por la cual se expide el Código Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana” conocida como CÓDIGO DE POLICÍA
Decreto 1381 2024 Recicladores de Oficio y Aprovechamiento	Por el cual se modifica el Capítulo 5, del Título 2, de la Parte 3, del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015 y se dictan otras disposiciones
Eje transversal: Ética, Responsabilidad social, Participación y Educación Ambiental	

Fuente: Adaptada y ajustada de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorial (2015); Tomado de Grupo Alianza IIIDEAS-Red PGIRS (2023).

Análisis FODA y lecciones aprendidas

Con relación al análisis FODA, una vez se definieron los descriptores y los rasgos o características, se establecieron las categorías de análisis, con base en los temas más recurrentes y de mayor saturación, como fueron: normativa, gestión, actores involucrados, programas de los PGIRS, educación, gobierno local o gobernanza, información y documentación, innovación y tecnología e investigación. Con estas, se pudo aplicar el FODA en cada categoría y hacer un diagnóstico y análisis de la situación interna y evaluación externa de los PGIRS a nivel nacional (Tablas 2-10).

Este análisis se realiza con una visión y postura analítica, poniéndose en los zapatos de los municipios, como actores directos.

Ahora, en cuanto a los factores internos, las fortalezas descritas en las tablas nos muestran acciones, avances o recursos favorables que se han logrado y hacen parte de los PGIRS en Colombia. Junto con las debilidades donde se observan falencias, acciones no realizadas o evidencias del mal manejo de los PGIRS (Tablas 2-10).

Por otro lado, al analizar los factores externos, se aprecian elementos potenciales, primordiales para el mejoramiento de los PGIRS. Así mismo, se perciben las amenazas, que ponen al manifiesto una serie de aspectos o problemas negativos que no se pueden controlar (Tablas 2-9).

Tabla 2
Normativa

Fortalezas	Debilidades
El avance del PGIRS de primera y segunda generación	Ausencia de armonía normativa e institucional.
La formalización de una metodología (MML) con 12 programas que responde a necesidades del sector.	Falta conocimiento, claridad y articulación de todas las normas por parte de los diferentes actores.
La regulación en el contexto de la economía circular que ha favorecido el cambio de enfoque, innovación e inversión.	Existen pocos incentivos normativos y financieros para fortalecer la gestión de los residuos en el marco de la economía circular, regenerativa y popular.
El avance en la normativa relacionada con los PGIRS, del 1994 al 2023, incluyendo la Estrategia Nacional de Economía Circular ENEC y con la apuesta nacional del Programa Basura Cero.	
Oportunidades	Amenazas
Las leyes y normativas de responsabilidad extendida del productor REP, de plásticos de un solo uso y de envases y empaques, para vincular a las empresas y a los consumidores.	Proliferación de normas, desde diferentes instituciones relacionadas con PGIRS.

Fuente: Tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Tabla 3
Gestión

Fortalezas	Debilidades
El aumento de la tasa de aprovechamiento y reciclaje en algunos municipios en Colombia. Existen dos vías de gestión de residuos complementarias en Colombia, que funcionan en los municipios, son: servicio público de aseo de empresas especializadas (E.S.P.) y Responsabilidad Extendida del Productor (REP). Colombia es un referente a nivel latinoamericano, en gestión sostenible de residuos; y tiene municipios que de igual forma son referentes.	Para el aprovechamiento y la transformación de los residuos, aún no existe una infraestructura suficiente para la cantidad de residuos. Falta de conocimiento en métodos de aprovechamiento y en general acciones de implementación de PGIRS. Falta de recurso humano cualificado para realizar la gestión.
Oportunidades	Amenazas
En la disposición final, encontrar otras alternativas, buscando terminar o al menos reducir al máximo los rellenos sanitarios, para erradicar la contaminación que estos lugares producen. Aplicar de manera adecuada y rigurosa la tarifa del servicio complementario de aprovechamiento, con un adecuado seguimiento. Implementar la agricultura regenerativa dentro del marco de la economía circular El conocimiento de prácticas de aprovechamiento de residuos orgánicos a través del compostaje realizada en diferentes partes del país.	Agendas de gobierno público sin la inclusión de gestión integral de residuos sólidos.

Fuente: Tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Tabla 4*Actores involucrados*

Fortalezas	Debilidades
La identificación e inclusión de más actores en el proceso. El reconocimiento de los recicladores de oficio como actores importantes en los PGIRS.	Desarticulación de los municipios con los demás actores.
Oportunidades	Amenazas
Realizar una clusterización de alianza publico-privada comunitaria, a partir de la cadena de valor que se produce con la iniciativa de los PGIRS de tercera generación con enfoque de economía circular, a nivel nacional, que se aterrice en el contexto local. (Economía Circular Local y Distribuida, es decir, IN SITU) .	Existen demasiadas instituciones involucradas, que están desarticuladas y sin espacios de cooperación y colaboración.

Fuente: Tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Tabla 5*Programas de los PGIRS*

Fortalezas	Debilidades
Los 12 programas estimados para los PGIRS dentro de la norma con la metodología de la Resolución 0754 2014.	Ausencia de manejo de los RCD. Inexistencia de un programa para el manejo de residuos orgánicos, lo que lleva a no tener rutas selectivas para estos residuos o programas, que permitan el aprovechamiento in situ de los residuos. Se privilegia únicamente como solución la disposición final. En la disposición final, debido a la ubicación regional de los rellenos sanitarios, los desplazamientos con los residuos son muy largos, desde los municipios hasta los rellenos sanitarios.

Oportunidades	Amenazas
Aprovechar los residuos RCD para elaborar “recobloques” (Tecnología desarrollada por la UNAM, patente: ECO-LADRILOS), por parte de los recicladores de oficio u otras alternativas disponibles a diferentes escalas y sectores. Replicar modelos de Gestión Integral de Residuos Orgánicos a nivel Municipal, como lo es el programa de “Caneca Verde” del Municipio de Cajicá, Cundinamarca Colombia (ejemplo no solo nacional sino Latinoamericano).	Que la ley en proceso los debilite.

Fuente: Tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Tabla 6
Educación

Fortalezas	Debilidades
Desde la Política de Educación Ambiental Nacional se establecen estrategias que pueden favorecer a los municipios. Desde algunos municipios y corporaciones autónomas implementan programas de capacitación.	Insuficientes programas y procesos de educación ambiental y cultura ciudadana en PGIRS dentro de los Municipios. No se diseña e implementar un programa de educación ambiental como tal, sino solo diferentes tipos de capacitaciones.
Oportunidades	Amenazas
Presencia e interés de universidades y redes de formación locales, regionales, nacionales e internacionales en colaboración con colegios –PRAE (proyectos ambientales escolares) y con comunidades –PROCEDA (proyectos ciudadanos de educación ambiental), así como de los CIDEAS (Comités Interinstitucionales de Educación Ambiental).	Desconexión o desinterés del tema, por parte del Ministerio de Educación.

Fuente: Tomado de Espinosa y Padilla (2023; Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Tabla 7*Gobierno local/gobernanza*

Fortalezas	Debilidades
Cuenta con presupuesto para los PGIRS	No existe apropiación del tema de los PGIRS, en las Alcaldías. Las alcaldías no tienen el personal cualificado para la labor del PGIRS, y su rotación no permite la continuidad de los Fuente: tomado de Espinosa y Padilla (2023). Procesos. Existe baja asignación presupuestal para los PGIRS. El presupuesto que se tiene para los PGIRS en las alcaldías, no se ejecuta al 100% para tal fin. Desconocimiento de los PGIRS por parte de los concejos municipales. Limitación de los PGIRS en la ruralidad.
Oportunidades	Amenazas
Tomar el planteamiento del PND (capítulo de transición energética) acerca del desarrollo de las ciudades circulares (basura cero y economía popular). Contar con la voluntad política adecuada para el desarrollo de los PGIRS, a nivel local, regional y nacional. Promover y fortalecer la descentralización de la gestión. Asignar los recursos necesarios para la gestión de los residuos sólidos en los municipios, con el fin de lograr un manejo sostenible de los mismos. (ej. presupuestos participativos).	En la agenda pública (planes: de desarrollo, de inversión, otros) no se incluyen los PGIRS. Ausencia de voluntad política en la gran mayoría de las instituciones municipales. Legislación general y normativa descontextualizada para los diferentes niveles de categorización de municipios en Colombia (categoría especial, Cat. 1, Cat. 2, Cat. 3, Cat. 4, 5 y 6).

Fuente: tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Tabla 8*Información y documentación*

Fortalezas	Debilidades
Existe el Sistema Único de Información Superservicios (SUI).	Inconsistencia en los datos de aprovechamiento registrados por los municipios. No existe sistematización del seguimiento de los PGIRS.
Oportunidades	Amenazas
Sistematizar toda la información dispersa, que existente de los diferentes actores. BIGDATA DANE, Internet de las cosas ACODAL/ANDESCO/SSP/CRA/MADS/MVCT.	Desaparición de los PGIRS por falta de datos, medición y mejora.

Fuente: tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Tabla 9*Innovación y tecnología*

Fortalezas	Debilidades
Implementación de algunas plantas de tratamiento y parques agroindustriales Modelos de empresas y emprendimientos relacionados con economía circular.	Escasa cualificación en algunos municipios para aplicar tecnología (importadas) Desconocimiento de tecnologías e innovaciones para aplicar en programas de PGIRS.
Oportunidades	Amenazas
Incluir el desarrollo de programas de regeneración de suelos (seguridad alimentaria, autosuficiencia en la producción de alimentos “bioeconomía”). Maximizar el desarrollo de proyectos de aprovechamiento y tratamiento que se soporten en la separación desde la fuente, el compostaje in situ, la recolección selectiva y en general los diferentes aprovechamientos, tratamientos y procesos de valorización de residuos. El desarrollo de tecnología y de procesos que lleven al aprovechamiento, valorización y tratamiento de los residuos en el marco de la economía circular (EC).	Desaparición de los PGIRS por falta de innovación.

Fuente: tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Tabla 10
Investigación

Fortalezas	Debilidades
Algunas investigaciones de temas específicos relacionados con los PGIRS tanto de IES como de particulares.	Poco número de investigaciones en Colombia. Mayor número de investigaciones teóricas, y menor aplicadas en los contextos reales.
Oportunidades	Amenazas
Generar procesos de investigación aplicada, innovación y emprendimiento, en el marco de la economía circular local, regenerativa y popular.	Inexistencia de generación de conocimiento para el desarrollo y evolución de los PGIRS en las IES.

Fuente: tomado de Espinosa y Padilla (2023): Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Estos resultados del FODA permitieron establecer una serie de estrategias que se nutrieron con las lecciones aprendidas, para definir nueve categorías necesarias para abordar los PGIRS y hacer la propuesta de un PGIRS de tercera generación.

Lecciones aprendidas

Las nueve categorías que surgieron como parte del FODA y las lecciones aprendidas se tradujeron en áreas de intervención de los PGIRS, en donde se plantearon diferentes estrategias como alternativas para mejorar las condiciones de los PGIRS colombianos. De allí, se menciona el resumen de las estrategias principales de cada área de intervención. En estas estrategias se resalta y prioriza la educación ambiental, resaltando que es muy relevante acompañar y fortalecer las capacidades municipales (Unión Iberoamericana de Municipalistas, 2023), ya que el fundamento teórico-práctico de la educación ambiental es clave para que las demás áreas sean efectivos a la hora de implementar el PGIRS. Las demás también deben ser abordadas y comprendidas por los diferentes actores dentro de una mejora de los PGIRS de tercera generación (Tabla 11).

Tabla 11*Áreas de trabajo con estratégica principal*

Categoría /áreas de trabajo	Resumen de las estrategias principales (Con base en FODA y lecciones aprendidas)
1. Educación ambiental y cultura ciudadana	Tener una mirada interdisciplinar. Vincular a las instituciones de educación superior y redes ambientales, para elaborar programas y acompañar procesos.
2. Articulación de actores y participación “empoderamiento comunal”	Identificar, caracterizar, articular y empoderar actores para definir roles y generar alianza público- populares.
3. Inclusión de los Recuperadores o Recicladores de Oficio en los PGIRS	Cambiar el rol de los recicladores de oficio o recuperadores de materias primas secundarias a convertirse en transformadores y valorizadores de esos materiales. De igual forma, acompañar procesos de emprendimiento.
4. Planeación, administración, desarrollo y seguimiento de los PGIRS de tercera generación	Apoyar la gestión de los PGIRS, sobre todo en los municipios (capacitaciones, metodologías, diálogos con la comunidad)
5. Investigación, Innovación y emprendimiento	Generar alianzas estratégicas con organizaciones multilaterales, empresariales y ONG, internacionales y nacionales. Crear un sistema de indicadores apropiados para los PGIRS.
6. Tratamiento y valorización energética	Capitalizar oportunidades desde la cooperación público-privada (mixto). Para residuos orgánicos, contar con rutas selectivas a cargo de entidades públicas- populares o privadas.
7. Información relacionada con PGIRS	Desarrollar una arquitectura tecnológica como un Big Data global de gestión sostenible de residuos.
8. Legislación y normatividad de los PGIRS hacia PGIRS de tercera generación	Alinear, conjugar y dar a conocer de manera pedagógica las diferentes normas sobre residuos y de economía circular.
9. Compromisos internacionales en Gestión Sostenible de Residuos	Cumplir con los compromisos adquiridos por Colombia (ODS, OCDE, Ministerios) con la normativa de la segregación de las tres fracciones de los residuos urbanos (según los decretos 2184 de 2019 y 1344 de 2020), haciendo énfasis en el componente orgánico y el cierre de basurales-botaderos a cielo abierto en LATAM y mejorar los RESA (rellenos sanitarios).

Fuente: tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Propuesta para la proyección de los PGIRS de tercera generación en el marco de la economía circular

Adicionalmente, el análisis de la información recolectada nos lleva a la propuesta de lo que podría ser un PGIRS de tercera generación en el marco de la economía circular. Pero, antes de describir el PGIRS de tercera generación, se recuerda que el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) actual está ajustado a la metodología de la Resolución 0754 de 2014 y consta de tres pasos principales: datos del generador, diseño del programa y seguimiento y monitoreo. Estos pasos, para crear un programa de residuos sólidos, incluyen la identificación de residuos, el establecimiento de objetivos, la aplicación del marco legal, la fijación de medidas efectivas, la integración y registro del plan y la definición del almacenamiento. Sin embargo, no incorporan técnicamente los temas de la economía circular ni mucho menos los lineamientos centrales propuestos en la Estrategia Nacional de Economía Circular – ENEC 2019: cierre de ciclos de materiales, innovación, tecnología, colaboración y nuevos modelos de negocio.

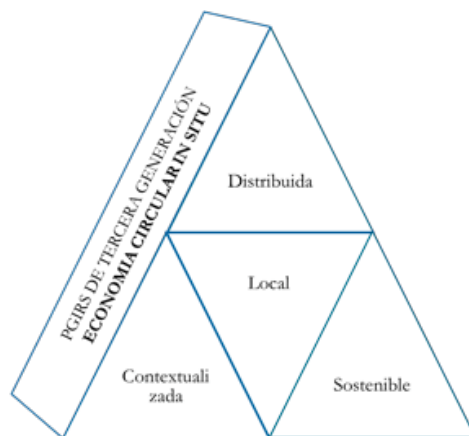
Dicho lo anterior, la estrategia de los PGIRS de tercera generación estaría definida como aquel plan de gestión integral de residuos sólidos que incorpora la economía circular de manera local, distribuida, contextualizada y sostenible, es decir, que propende por realizar una real circularidad en las áreas administrativas territoriales (veredas, localidades, comunas, corregimientos, barrios) con cierre de ciclos IN SITU (Figura 5). Donde lo local representa cuando el municipio y sus comunidades logran valorar y utilizar sus residuos como recursos en su entorno próximo; lo distribuido, cuando el PGIRS se trabaja en las diferentes zonas del municipio; contextualizada, cuando un municipio diseña e implementa su PGIRS con base en sus necesidades y la realidad de su entorno; y por último, sostenible, cuando el PGIRS trabaja la interconexión entre la conservación de los recursos naturales y ecosistémicos, el bienestar social y la prosperidad económica.

Justamente, entendiendo que la economía circular tiene sentido para la sostenibilidad integral si funcionan todos los eslabones: ecodiseño, innovación tecnológica, incrementar contenido de material reciclado;

compostaje, separación en la fuente y acondicionamiento; mercado de la transformación, generación de ingresos y empleo; “transformando residuos en ingresos y empleo –TRIE” en busca de “poner a dieta los rellenos sanitarios” (Espinosa, Caycedo y Castro, 2021).

Figura 5

PGIRS de tercera generación en el marco de la economía circular IN SITU



Fuente: Elaboración propia.

A lo mencionado, para ir más allá del cumplimiento de la Resolución 0754 de 2014 e ir incorporando los retos que lanza la ENEC, se puede tomar como base la propuesta de ONU HABITAT 2010, ajustada por ONU MEDIO AMBIENTE – PNUMA 2013, rescatada por el CONPES 3874 2016, adaptada por el DNP (Figura 6), y adicionarle la construcción elaborada por el curso de posgrado PGIRS de la Maestría en Gerencia y Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UDCA (Figura 7).

Figura 6*Gestión sostenible e integrada de residuos*

Fuente: Adaptación del DNP, PNUMA (2013, p. 9).

A partir de estas dos gráficas, se deduce que siendo la gestión de los residuos un proceso complejo y de conformidad con postulados teóricos de la complejidad “La complejidad es una forma de analizar y de reflexionar sobre determinados aspectos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, los cuales presentan ciertas características que los clasifican como sistemas de comportamiento complejo” (González, 2009, p. 243-245) y del paradigma de la complejidad, según los estudios de Edgar Morin, que buscan cambiar el sistema “simplificante” y entender que “el todo, no es la suma de las partes”; que aplica directamente a la gestión sostenible de residuos, pues esta se mira como si el servicio de aseo fuera el todo, y realmente no es así, es uno de los componentes, ni siquiera es el más relevante. De hecho, aquí se reitera que cada una de las categorías que emergieron en el análisis del FODA y las lecciones aprendidas se deben contemplar en esta complejidad.

Figura 7*Lápiz normativo y regulatorio de los PGIRS DE TERCERA GENERACIÓN*

Educación Ambiental y Cultura de la “No basura”		
Regulación	Tarifario	CRA
Legislación	Ley Gestión Sostenible de Residuos	Congreso MADS/MVCT
Parámetros línea base	Indicadores Índices	Sanciones Incentivos
Articulación público-privada-comunitaria		
Innovación, tecnología y emprendimiento		
¿Qué? ¿Por qué? ¿De qué? ¿De quienes?		

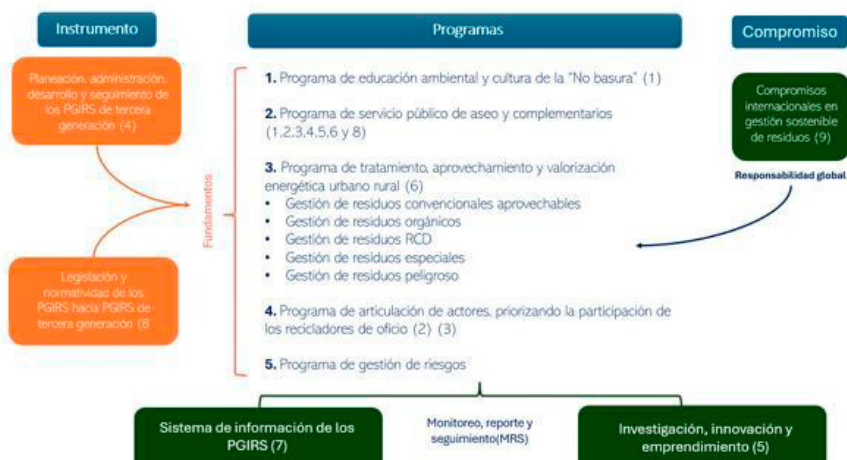
Peso Jurídico

Fuente: Tomado de Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023). Curso de posgrado PGIRS de la Maestría en Gerencia y Gestión Integral de Residuos Sólidos de la UDCA.

Entonces, por ello, desde el territorio se deben desarrollar soluciones que sean validadas por la comunidad y sus autoridades, así que tomando el siguiente postulado: “La gestión sostenible de residuos sólidos municipales se considera uno de los elementos claves para lograr la sostenibilidad urbana a través de la mitigación del cambio climático, recursos de reciclaje y recuperación de energía” (Bustamante et al., 2020, p. 10). Se ratifica la necesidad de avanzar hacia PGIRS de tercera generación, con la visión compleja que se desarrolla como resultado de este estudio (Figura 8), donde se ubican todas las áreas de intervención mencionadas anteriormente.

Figura 8

Esquema de las categorías dentro de una estructura de PGIRS de tercera Generación



Fuente: Tomado de Espinosa y Padilla (2023); Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023).

Por otra parte, finalmente, como parte de los resultados, la RED PGIRS y los aliados estratégicos también han venido trabajando con varios congresistas y representantes a la Cámara, junto con sus Unidades Técnicas Legislativas, desde el año 2022, en un Proyecto de Ley Nacional de Gestión Integral y Sostenible de Residuos Sólidos, que está en curso en el Congreso de la República, y de esa forma lograr participación incidente en política pública, con miras a poder incorporar temas relevantes para la proyección de los PGIRS de tercera generación.

4. Conclusiones

Con relación a la caracterización de actores, vemos que el modelo socioecosistémico de los PGIRS es amplio y complejo. Se identifican diferentes personas, grupos, empresas y organizaciones, tanto privadas como públicas, que normalmente no se encuentran ni se reconocen como parte del PGIRS. Por ello, es de gran importancia los espacios de encuentro para conocer quiénes están involucrados directa o indirectamente con los PGIRS, cuáles son sus roles y cómo pueden colaborar unos con

otros, generando alianzas y proyectos para solucionar los problemas. Justamente, es fundamental que todos y cada uno de los ciudadanos, la comunidad en general y cada uno de los actores entiendan que debemos pasar de ser “parte del problema” para convertirnos en “parte de la solución”: sociedad civil, empresas, organizaciones, ONG, sector público y todas las fuerzas vivas de los territorios, pues todos somos generadores de la problemática y corresponsables del statu quo situacional. “Basura y contaminación, dos males de la civilización” (Espinosa y Espinosa, 2010).

En cuanto a las normas, desde que se promulgó la primera normativa y regulación colombiana de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, se vienen diseñando y definiendo los PGIRS en los municipios de Colombia (indistintamente de su categoría). Existen obstáculos grandes no solo desde el punto de vista técnico y operativo, sino desde los asuntos de “decisión política”, que son los que mayor dificultad generan para el avance, apropiación, desarrollo y efectividad frente a los compromisos de reducción de generación de residuos, aumento de aprovechamiento y valorización para lograr disminuir la disposición final, ya sea en rellenos sanitarios o en disposición no controlada. Al igual, en esta temática, otra gran limitante es la maraña normativa, regulatoria y la multiplicidad de entidades involucradas y no concurrentes en la ejecución y seguimiento a los PGIRS de primera y segunda generación.

A lo anterior, le adicionamos el fenómeno NIMBY (Not in my Backyard, no en mi patio trasero, por sus siglas en inglés), donde se crea zozobra cuando hay oportunidades y posibilidades de cambiar de paradigma de la economía lineal a la economía circular, por efectos de desinformación, mala prensa y desentendimiento cuando de residuos se trata: se cree que cualquier alternativa de trabajar con residuos es al final crear “basureros” o rellenos sanitarios, en el mejor de los casos.

También se puede afirmar que existen varios problemas en la implementación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). Estos incluyen deficiencias en la formulación y ejecución de los PGIRS, falta de educación ambiental, poca continuidad en los procesos municipales, falta de responsabilidad designada para implementar los PGIRS, capacidad limitada de gestión humana, técnica y financiera en los municipios, desarticulación entre las dependencias municipales, falta de

recursos para la implementación de actividades planificadas, entre otros. Se señala también la falta de articulación en la implementación de las actividades del PGIRS, dando prioridad a unos programas sobre otros, y la falta de seguimiento y control efectivo de los PGIRS.

En cuanto a la gestión como tal, en resumen, se puede decir que varios de los PGIRS de los municipios en Colombia no cumplen con la metodología requerida por el Gobierno Nacional, lo que resulta en una implementación deficiente. Se destaca la necesidad de evaluar y reformular las condiciones actuales, para que la Gestión Integral de Residuos Sólidos sea una labor conjunta que involucre a todos los actores responsables de los residuos sólidos, en lugar de recaer únicamente en los municipios. Así mismo, incorporar las áreas de intervención mencionadas en el estudio y el PGIRS de tercera generación, en el marco de la economía circular IN SITU.

De igual modo, la información ausente relacionada con los municipios o con los prestadores de disposición final requiere la puesta en práctica de técnicas estadísticas, tales como la proyección e imputación de datos, con el fin de completar las series de datos. Esto permitirá garantizar la coherencia y consistencia de los resultados que se presentan en el informe. Por lo tanto, es posible que se observen diferencias entre la cantidad de toneladas que han sido efectivamente dispuestas y el dato que se ha estimado mediante la imputación. En este contexto, se recomienda utilizar la información de manera adecuada y conforme al objetivo para el cual se destina. Asimismo, se considera fundamental incorporar propósitos como proteger la salud humana, proteger los recursos de suelo, aire y agua, conservar la estética del paisaje y promover alternativas de manejo, tales como el reciclaje y la reutilización.

Es importante considerar que el documento CONPES 3874 de 2016 establece que: “Se puede apreciar la insostenibilidad del modelo lineal en los hallazgos del estudio: Flujos de materiales y productividad de los recursos a nivel global”. Así, se sugiere una transición hacia la economía circular, cuyo objetivo es garantizar que el valor de los productos y materiales se conserve en el ciclo productivo por el periodo más largo posible, manteniendo la generación de valor.

Referencias bibliográficas

- Bustamante V., Carrillo A., Prieto J. A., Corral, J. J. y Hernández J.C. (2020). *Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión*. https://www.researchgate.net/publication/323273151_Quimica_de_la_biomasa_vegetal_y_su_efecto_en_el_rendimiento_durante_la_torrefaccion_revision
- Constitución Política de Colombia [Const]. Art. 80. *el estado deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales*. 7 de julio de 1991 (Colombia).
- Decreto 2811 de 1974 [con fuerza de ley]. Por medio del cual se expide el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 27 de enero de 1974. D.O. No. 34243. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>
- Decreto 1713 de 2002. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5542>
- Decreto 1077 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
- Departamento Nacional de Planeación DNP. (2022). El Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos. Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2022
- Documento Conpes 3530. *Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos*. 23 de junio de 2008. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3530.pdf>
- Documento Conpes 3874. *Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos*. 21 de noviembre del 2016. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Espinosa, M. T. y Padilla, E. (2023). *Informe y propuesta PGIRS de tercera generación del Congreso de Planes de Gestión Integral de Residuos*

- Sólidos en el marco de la Economía Circular y Basura Cero- mayo 3 al 5 de 2023*, Bogotá D.C. <https://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/2023/10/PROPUESTA-PGIRS-3RA-GENERACION.pdf>
- Espinosa y Espinosa (2009). *Proyecto de Grado Educación Media*. Colegio Pureza de María.
- Espinosa, Caycedo y Castro (2022). *PROCEDA CALLE 222, Presupuestos Participativos Localidad de Suba Bogotá D.C.* <https://subalab.gov.co/trie/>
- Gido, J., Clements, J. y Baker, R. *Administración exitosa de proyectos*. <https://salazarvirtual.sistemaeducativosalazar.mx/assets/biblioteca/f2e5b6a31265231f91e70d5ca1526e1e-Ensayo%20%20Administraci%C3%B3n%20Exitosa%20de%20Proyectos%205a%20ed%202012%20Parte%20%20-%20Gido%20y%20Clements.pdf>
- Grupo Alianza IIDEAS-Red PGIRS (2023). *Webinar Basura Cero*. <https://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/2023/10/Resultados-Precongreso-y-Congreso-Nacional-PGIRS-Webinar.pdf>
- González, J. (2009,). *Revista Dyna Universidad Nacional*. p243-245
- Hernández-Sampieri, r, Hernández-collado,c, y Baptista-lucio, p. (2014). *En Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill. [https://www.uca.ac.cr/wp\[1\]content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf](https://www.uca.ac.cr/wp[1]content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf)
- Kaza, Yao, Bhada-Tata, and Woerden (2018). *What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Group. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>
- Lahitte, H. B. y Sánchez Vázquez, M. J. (2013). Tratamiento de resultados en diseños cualitativos: La aplicación del Análisis Descriptivo. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 3 (2). En Memoria Académica. http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.6157/pr.6157.pdf
- Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan medidas sanitarias. 24 de enero de 1979. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=1177
- Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. 11 de julio de 1994. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>

- Lledó P. y Rivarola G. (2007) *Gestión de proyectos* 1a ed. - Prentice Hall - Pearson Education. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25596w/Gestion_De_Proyectos_c.pdf
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2015). Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS). <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-pgirs.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente (1998). Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos. https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Polit%C3%ACcas_de_la_Direcci%C3%B3n/Pol%C3%ADtica_para_la_gesti%C3%B3n_integral_de_1.pdf
- Morín, E. (2011). *Introducción al pensamiento complejo*. España. Gedisa.
- Otero, D., y Gache, F. L. (2006). EVOLUCIONES DINÁMICAS EN EL DIAGRAMA FODA. *Revista Científica “Visión de Futuro”*, 6(2), .[fecha de Consulta 1 de Diciembre de 2024]. ISSN: 1669-7634. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357935465001>
- Pinilla C. I. y Aguado J. (2012). *La investigación en gestión ambiental*. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49611942024.pdf>
- Pinilla C. I. y Aguado J. (2012). La investigación en gestión ambiental. Fundación Universitaria del Área Andina Bogotá. <https://digitk.areandina.edu.co/entities/publication/fa18fc05-3118-4bf8-b1a5-b8ee-bac49a4>
- Ponce Talancón, H. (2007). La matriz foda: alternativa de diagnóstico y determinación de estrategias de intervención en diversas organizaciones. *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 12(1), 113-130. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29212108>
- Semana Medio Ambiente (2021). *Crisis mundial por la basura: solo el 16% de los desechos son reciclados*. <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/crisis-mundial-por-la-basura-solo-el-16-de-los-desechos-son-reciclados/44932/>
- Sturzenegger G. y Espinola N. (10 de marzo de 2023). *Apoyando el reciclaje inclusivo en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://blogs.iadb.org/agua/es/apoyando-el-reciclaje-inclusivo-en-america-latina-y-el-caribe/>

Unión Iberoamericana de Municipalistas y Coalición cierre de Basurales de América Latina y el Caribe (2023). *Consulta municipal sobre gestión sostenible de residuos y necesidades de formación en América Latina y el Caribe*. <https://www.unep.org/es/resources/informe/informe-de-resultados-de-la-consulta-municipal-sobre-gestion-sostenible-de>

Capítulo 7

Biodegradación de bolsas plásticas, compatibilidad y toxicidad

María Neftalí Rojas Valencia¹

Karla Barrón Hernández¹

Erik Saúl Huidobro Medina¹

Alfredo Martínez Cruz²

Juan Antonio Araiza Aguilar³

<https://doi.org/10.61728/AE20252151>



¹ Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México: nrov@pumas.iingen.unam.mx

² Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero del Tecnológico Nacional de México

³ Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

1. Introducción

La contaminación causada por las bolsas de plástico (BP) y otros plásticos se ha transformado en uno de los desafíos ambientales más apremiantes de esta época. La fabricación y quema de plástico tiene un gran impacto en el cambio climático. Además, las BP en realidad no desintegran, biodegradan o compostean; solo se fragmentan. Con el tiempo, la luz solar y la elevación de la temperatura descomponen lentamente el plástico en pedazos muy pequeños hasta quedar en microplásticos.

Las BP que más contaminan son las provenientes de hidrocarburos, ya que representan el 50 % de la producción anual, seguidas en la actualidad por las bolsas de un solo uso. Los BP desechables (de un solo uso) son productos que contienen resinas biodegradables como son el almidón de maíz, trigo, papa, nopal u otra harina, y se destruyen inmediatamente después de su uso (normalmente en plantas de composta). El plástico se utiliza más comúnmente en el transporte y en la industria de alimentos, medicina, residuos y otros. Además, a menudo no son aceptados en los centros de reciclaje al no tener la composición para poder ser reciclables (Lindwall, 2024).

La demanda de estas bolsas está fuera de control y este comportamiento provoca que las bolsas aumenten y fluyan hacia calles, cuerpos de agua (océanos, mares, lagos y ríos), paisajes naturales y rellenos sanitarios, afectando el ambiente circundante, especialmente los organismos marinos (García Liñán, 2022; García-Llobodanin et al., 2020).

En función de lo anterior, se quiere disminuir el uso de bolsas plásticas derivadas del petróleo, ya que tardan más de cincuenta años en degradarse. Cabe señalar que en el mundo se derrochan 12 millones de BP/segundo, siendo ingeridos los microplásticos por los animales, las plantas y el humano. Las medidas, alternativas y oportunidades actuales para disminuir el uso de bolsas plásticas incluyen el consumo consciente y responsable, el uso racional de bolsas de un solo uso fabricadas con

materiales biodegradables y la reutilización, de acuerdo con la normativa ambiental (Santiago y Quispe, 2014, García-Llobodanin et al., 2020).

Este problema ambiental ha sido afrontado de diferentes formas. Mientras que algunos países prohíben completamente el uso de bolsas de plástico, otros solo toman ciertas medidas para reducir el uso de bolsas de plástico. El objetivo de este estudio fue evaluar el proceso de biodegradación de bolsas fabricadas con ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés) a través de larvas de gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) y evaluar la toxicidad utilizando semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) y de pasto (*Chloris barbata*).

2. Metodología

2.1. Descripción y preparación de las bolsas prueba

Se usaron cuatro diferentes muestras de bolsas: Ácido Poliláctico (PLA), Fécula de Maíz (FM), Tereftalato de Adipato de Polibutileno (PBAT) y Polietileno (PE). Las bolsas se cortaron en cuadrados de aproximadamente 1.5 cm por lado y como control en las pruebas con *T. molitor* se utilizó salvado de trigo comprado en una forrajera.

2.2. Biodegradación de bolsas con *Tenebrio molitor*

Para el desarrollo de esta prueba, se consideraron algunas investigaciones relacionadas con la biodegradación de polímeros utilizando *T. molitor* (Molina et al., 2016; Portocarrero, 2021). La población constó de 250 larvas de *T. molitor* de tamaño similar, de las cuales se utilizaron 60 larvas para cada bolsa, que a su vez se dividieron en tres grupos de 20 larvas, es decir, la unidad experimental fue de 20 larvas con cinco g de bolsa preparada (HAPPI, CARE y BIO) y 20 g de salvado de trigo para el control, y se realizaron tres repeticiones por tratamiento. En la Figura 1 se muestran algunas larvas de *T. molitor* que fueron empleadas.

Figura 1
Larva de *Tenebrio molitor*



Fuente: Elaboración propia.

Las larvas *T. molitor* fueron colocadas en contenedores con el alimento correspondiente (bolsa prueba o control) y se les dejó durante siete semanas a temperatura ambiente. Pasadas las siete semanas, se pesó la cantidad de alimento que no fue consumida, para así calcular el porcentaje de consumo empleando la Ecuación 1.

(Ec. 1)

$$\% \text{ de consumo} = \frac{\text{Peso del alimento inicial} - \text{Peso del alimento final}}{\text{Peso del alimento inicial}} * 100$$

Para determinar el aumento o disminución en el peso corporal de la larva de *Tenebrio molitor*, se registraron datos del peso de las larvas cada siete días para todas las clasificaciones determinadas durante el período de prueba de siete semanas y se calcularon utilizando la Ecuación 2. Cabe mencionar que el registro de ganancia o pérdida de peso se basó en el peso corporal total de 20 larvas.

(Ec. 2)

$$\% \text{ de ganancia o pérdida de peso} = \frac{\text{Peso de larva inicial} - \text{Peso de larva final}}{\text{Peso de larva inicial}} * 100$$

Por otro lado, la tasa de supervivencia larvaria se registró cada dos días para todas las clasificaciones determinadas durante el mismo período mencionado anteriormente.

2.3. Germinación y toxicidad de las semillas de lechuga (*Lactuca s.*) y pasto (*Chloris barbata*)

Para determinar la germinación y toxicidad de ambas semillas, se utilizaron los métodos propuestos por Sobrero y Ronco (2008) y la norma NMX-E-273-NYCE-2019 (DOF, 2020). Fueron empleadas 450 semillas de cada especie, seleccionando semillas que tuvieran aproximadamente el mismo tamaño y apariencia (ver Figura 2).

Figura 2

Semillas de a) *Lactuca sativa* y b) *Chloris barbata*



Fuente: Elaboración propia.

Se usaron 30 cajas de Petri de 5 cm de radio, 15 cajas para las semillas de *L. sativa* y 15 cajas para las semillas de *C. barbata*. Cada caja de Petri contó con una ligera capa de bolsa prueba como sustrato y 30 semillas distribuidas uniformemente; así mismo, fueron colocados controles positivos y negativos, los cuales contaron con una ligera capa de algodón como sustrato y 30 semillas según la especie. Los tratamientos y controles se realizaron por triplicado.

Posteriormente, a las cajas de Petri con plásticos prueba se agregaron 4 ml de una solución que previamente fue preparada de la siguiente forma: 10 g de bolsa prueba fueron molidos junto con 125 ml de H_2O ultrapura (resistividad de 18.2 M Ω .cm, carbono orgánico total <10 ppb),

esta mezcla se colocó en un recipiente de plástico con tapa, la cual se dejó reposar durante cinco días. Pasado el tiempo, la mezcla se filtró y el líquido resultante estuvo listo para ser agregado de acuerdo con su tratamiento. Para las semillas del grupo control positivo se utilizaron 4 ml de agua purificada, y para el control negativo se agregaron 4 ml de ZnSO₄ (sulfato de zinc) a 500 mg/L.

Para evitar la pérdida de humedad, las cajas de Petri se taparon y se guardaron en una bolsa plástica. En el caso de los experimentos con *L. sativa*, considerando la recomendación de que su germinación se ve favorecida por poca intensidad lumínica, las cajas de Petri se cubrieron de la luz y se mantuvieron durante 120 horas (cinco días) a temperatura ambiente. Las cajas de semillas de *C. barbata* se colocaron con luz indirecta y se mantuvieron durante 240 horas (10 días), también a temperatura ambiente.

Una vez que pasó el tiempo de incubación de las semillas, se contaron y se registraron las semillas que germinaron en cada una de las cajas. Con la ayuda de una regla se midió con cuidado el tamaño del hipocótilo y radícula en las semillas de *L. sativa*. En el caso de las semillas de *C. barbata*, se midió la longitud del tallo y raíces.

En las semillas de *L. sativa*, la longitud de elongación de la radícula se midió desde el ápice radicular (región más ancha entre la radícula y el hipocótilo) hasta el ápice radicular; mientras que la longitud de elongación del hipocótilo se midió desde la inserción de los dos cotiledones hasta el nudo. En las semillas de *C. barbata*, la medida de elongación de la raíz se consideró desde la corona hasta el apéndice de la raíz, mientras que la medida del tallo se consideró desde la corona hasta el término de este.

El control negativo generó un porcentaje de germinación que fue determinado con la Ecuación 4 propuesta por Saetama et al. (2018).

(Ec. 4)

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{No. semillas germinadas en cada grupo de bolsa}}{\text{No. semillas germinadas en el control}} \times 100$$

Para el cálculo del porcentaje de inhibición o estimulación de las semillas se empleó la Ecuación 5.

(Ec. 5)

$$\% \text{ inhibición o estimulación} = \frac{\text{promedio elongación muestra} - \text{promedio elongación control}}{\text{promedio elongación control}} \times 100$$

2.4. Composición química de las bolsas

Para identificar los polímeros contenidos en las bolsas probadas, mediante espectroscopia *FTIR*-ATR se empleó un espectrómetro de infrarrojo NICOLET 6700 THERMO SCIENTIFIC. Para establecer el contenido de metales pesados (Cu, As, Cd, Cr, Ni, Pb y Zn), se utilizó un espectrofotómetro *ICP-OES* Agilent Technologies 5100, usando un horno de microondas EtHOS EASY Milestone para la digestión previa de las muestras.

2.5. Análisis estadístico

Fue realizado un análisis de varianzas (ANOVA) para establecer discrepancias significativas entre las bolsas seleccionadas con respecto al porcentaje de consumo, porcentaje de pérdida o ganancia de biomasa y porcentaje de sobrevivencia de las larvas de *T. molitor*. Se usó un nivel de significancia (α) del 5 %. De igual forma, fue realizado el análisis estadístico para obtener los porcentajes de germinación y de inhibición o elongación con las semillas de *L. sativa* y *C. barbata*.

3. Resultados y discusión

3.1. Biodegradación de las muestras de bolsas mediante las larvas de *Tenebrio molitor*

3.1.1. Porcentaje de consumo

Después de las siete semanas de alimentar a las larvas *T. molitor*, se obtuvieron los porcentajes de consumo de las muestras de bolsa y el control, mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1

*Porcentaje de consumo de los diferentes muestras de bolsa y control realizado por las larvas *T. molitor**

Muestra	% de consumo
HAPPI	2.000
CARE	1.333
BIO	0.667
Control	10.167

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se observa que hubo un mayor porcentaje de consumo en la muestra control; esto se debe a que el salvado de trigo es la dieta principal en cautiverio de las larvas de *Tenebrio molitor*, por lo que hay un mayor uso de este (Garrucho, 2017; Houbraken et al., 2016; Makkar et al., 2014). En cuanto a las bolsas prueba, la HAPPI fue la que tuvo un mayor porcentaje de consumo con respecto a las otras bolsas; este resultado puede relacionarse con que dicha bolsa tenga un mayor porcentaje de ácido poliláctico en su composición comparada con las otras muestras. Con respecto al BIO, se observa que este tuvo un porcentaje de consumo menor comparado con las bolsas compostables, lo que sugiere que efectivamente las larvas de *T. molitor* optan por alimentarse de bolsas fabricadas a base de ácido poliláctico y otros polímeros compostables. De acuerdo con el análisis estadístico, los porcentajes de consumo con *T. molitor* de las diferentes bolsas mostraron diferencias significativas ($p = 5.4 \times 10^{-9}$).

3.1.2. Porcentaje de pérdida o ganancia de peso

La Tabla 2 enlista los datos obtenidos de porcentajes de pérdida o ganancia en peso con la larva de *T. molitor* al consumir las diferentes muestras de bolsa y el control en periodos de siete semanas.

Tabla 2

*Porcentaje de pérdida o ganancia de peso de una larva de *T. molitor**

Muestra	% de ganancia o pérdida de peso
HAPPI	-2.56
CARE	-2.29
BIO	-2.09
Control	2.78

El signo (-) indica pérdida de peso.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se registran los valores de disminución de peso de las larvas en HAPPI, CARE y BIO, siendo la mayor pérdida de peso en HAPPI, mientras que el BIO tuvo una menor pérdida comparada entre las bolsas probadas. Esto indica que el *PLA* no influye en el aumento de peso de las larvas. Por otro lado, se observa un porcentaje de ganancia de peso en las larvas con la muestra control, ya que este alimento es óptimo para su crecimiento y desarrollo. El porcentaje de pérdida o ganancia de peso promedio de una larva no fue estadísticamente igual entre las muestras de bolsa y control ($p=5.6 \times 10^{-5}$). Además, no hubo diferencia significativa del porcentaje del peso de la larva de cada muestra de bolsa y control, conforme fueron transcurriendo las semanas ($p = 0.44$).

3.1.3. Porcentaje de sobrevivencia

La Tabla 3 expresa los valores de sobrevivencia en las larvas *T. molitor* que se llevó a cabo durante 49 días.

Tabla 3.

*Porcentaje de sobrevivencia de *T. molitor* al consumir las diferentes bolsas y el control*

Muestra	% de sobrevivencia
HAPPI	99
CARE	100
BIO	98
CONTROL	97

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de sobrevivencia se tomaron en cuenta aquellas larvas que pasaron a ser pupas. En la Tabla 3 se aprecia que las muestras CARE y HAPPI tuvieron la mayor sobrevivencia con un 100 y 99 %, respectivamente. La presencia de pupas en estas bolsas se presentó a los 17 y 25 días, mientras que en BIO y control se presentó al principio de la prueba.

Al comparar los resultados obtenidos con las tres bolsas, se sugiere que la composición de estas influye en la sobrevivencia de las larvas, pues las bolsas que contiene *PLA* (HAPPI y CARE) presentaron un mayor porcentaje de sobrevivencia comparado con la bolsa que no contiene *PLA*.

3.2. Germinación, elongación y toxicidad en *Lactuca sativa* y *Chloris barbata*

3.2.1. Germinación de las semillas

La Tabla 4 muestra los datos obtenidos en la germinación de semillas de lechuga (*L. sativa*).

Tabla 4.

Porcentaje promedio de germinación de semillas de lechuga (L. sativa)

Muestra	Semillas germinadas (%)	Germinación (%)
HAPPI	24.67	100
CARE	23.67	100
BIO	25.67	100
CONTROL	22.67	75

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se puede observar que las muestras BIO, HAPPI y CARE tuvieron el 100 % de germinación. Cabe mencionar que se utilizó como control negativo el ZnSO₄ a una concentración de 500 mg/L. Sánchez y Sánchez (2009) obtuvieron germinaciones menores al 75% con concentraciones de 0.1, 1, 10 y 100 ppm de ZnSO₄. Poi de Neiff y Ramos (2002) indicaron que, en comparación con el grupo de control negativo, las muestras con más del 90 % de germinación podrían considerarse no tóxicas; las semillas con una germinación entre el 75 % y el 90 % podrían considerarse tóxicas. Con una tasa de germinación inferior al 75 % puede considerarse altamente tóxicas; por lo anterior, los resultados obtenidos sugieren que no existió un efecto tóxico o nocivo con las tres bolsas muestra, ya que estos fueron superiores al 90 %. Con respecto a la baja germinación del control negativo, probablemente se debió a que el agua utilizada no aportó los nutrientes necesarios para la germinación de la semilla. Los altos porcentajes de germinación de las muestras de bolsa comparados con el control negativo probablemente se deban a la manifestación de compuestos esenciales presentes en las bolsas. Los micronutrientes (Cu, B, Mo, Fe, Mn, Zn y Cl) son micronutrientes fun-

damentales para las plantas en concentraciones muy bajas (Rodríguez y Flores, 2004). No existieron diferencias estadísticamente significativas en la germinación de las semillas de *L. sativa* expuestas a las bolsas muestra y control ($p=0.97$).

La Tabla 5 muestra los valores obtenidos en la germinación de semillas de *C. barbata*. También se observa que la muestra BIO y HAPPI obtuvo el mayor porcentaje de germinación con 100 % y CARE con 96 %, y finalmente el control negativo con 91 %. Así mismo, se observa que ningún resultado obtenido con las bolsas muestra presenta una reducción inferior al 70 % en relación con el control (-).

Tabla 5

Porcentaje promedio de germinación de las semillas de C. barbata

Muestra	% de semillas germinadas	% de germinación
HAPPI	28.00	100
CARE	26.33	96
BIO	28.67	100
CONTROL -	27.33	91

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que con los resultados obtenidos con *L. sativa*, estos resultados tampoco parecen estar relacionados con las diferentes concentraciones de PLA, debido a que en primer lugar se encuentra el BIO (0 % PLA), como segundo lugar el HAPPI (5-15 % PLA) y como tercer lugar el CARE (15 % PLA). Todas las muestras de bolsa se encuentran en la categoría de no tóxicos, ya que tienen un porcentaje de germinación mayor al 90 %. No existieron diferencias estadísticamente significativas en los valores de germinación de las semillas de *C. barbata* expuestas a las diferentes bolsas de pruebas y control ($p = 0.33$).

3.2.2. *Elongación de las plántulas emergidas de las semillas*

La Tabla 6 expone los datos obtenidos de inhibición/estimulación de la elongación en las semillas de *L. sativa*. Se observa una inhibición tanto en la elongación del hipocótilo en CARE como en la elongación de la

radícula en BIO. Por otro lado, se observa una mayor estimulación de la elongación de hipocótilo en el HAPPI y BIO, y una mayor estimulación de la elongación de la radícula en el HAPPI. Únicamente se observa una estimulación de hipocótilo y de radícula en el HAPPI. Por lo anterior, los resultados sugieren que el PLA influye tanto en la estimulación del hipocótilo como en la elongación de la radícula de las semillas de *Lactuca sativa*.

Tabla 6

Porcentaje promedio de inhibición/estimulación de la elongación en las plántulas de L. sativa para cada muestra de bolsa y controles

Muestra	X ⁻ de inhibición/estimulación de elongación		% de inhibición/estimulación de elongación	
	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo	Radícula
HAPPI	2.06	2.50	19.54	25.59
CARE	1.45	2.05	-15.80	2.62
BIO	2.02	1.53	17.09	-23.30
Ctrl -	1.72	1.99	NA	NA

El signo (-) indica inhibición.

Fuente: Elaboración propia.

Existieron diferencias estadísticamente significativas entre los procedimientos en los porcentajes de inhibición/estimulación de la elongación del hipocótilo ($p = 0.01$). Asimismo, también se presentaron diferencias estadísticamente en los porcentajes de inhibición/estimulación de la elongación de la radícula ($p = 0.00$). La Tabla 7 indica los valores de inhibición/estimulación de la elongación del tallo y de las raíces de las semillas de *C. barbata* que estuvieron expuestas a las diferentes muestras de bolsas.

Tabla 7

Porcentaje promedio de inhibición/estimulación de la elongación en las plántulas de C. barbata con cada muestra de bolsa y controles

Muestra	X ⁻ de inhibición/estimulación de elongación				% de inhibición/estimulación de elongación			
	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
HAPPI	4.64	4.39	0.62	0.20	-14.34	-9.51	-40.45	-53.08
CARE	5.04	4.29	0.83	0.25	-7.05	-11.45	-19.85	-43.33
BIO	5.55	5.17	1.01	0.21	2.52	6.67	-3.31	-51.79
Ctrl -	5.42	4.85	1.04	0.43	NA	NA	NA	NA

El signo (-) indica inhibición.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se observa que hay una mayor inhibición de la elongación tanto del tallo como de las raíces en el HAPPI y CARE, mientras que el BIO obtuvo una estimulación de la elongación en el tallo y raíz 1, y una inhibición de la elongación en las raíces 2 y 3. Por lo tanto, estos resultados indican que las muestras del HAPPI, CARE y BIO son tóxicas para las semillas de pasto. Pareciera ser que el PLA no influye en la estimulación del crecimiento de raíces y tallo.

En este caso, también se realizó un análisis estadístico, el cual indica que no hay diferencia entre los datos de inhibición/estimulación del crecimiento en el tallo en las diferentes muestras de bolsa ($p = 0.26$). De igual forma, se realizó un análisis estadístico para las raíces, por lo que se concluye que no existe diferencia entre los valores de inhibición/estimulación en el crecimiento de las raíces al estar expuestas a las diferentes muestras de bolsa ($p = 0.28$).

El efecto sobre el desarrollo del hipocótilo=tallo y radícula=raíz en *L. sativa* y del *C. barbata* fue distinto para cada tipo de semilla. En las semillas de *L. sativa* se presentó una mayor estimulación de la elongación del hipocótilo, mientras que en la semilla de *C. barbata* se reveló una mayor inhibición en el crecimiento de las raíces.

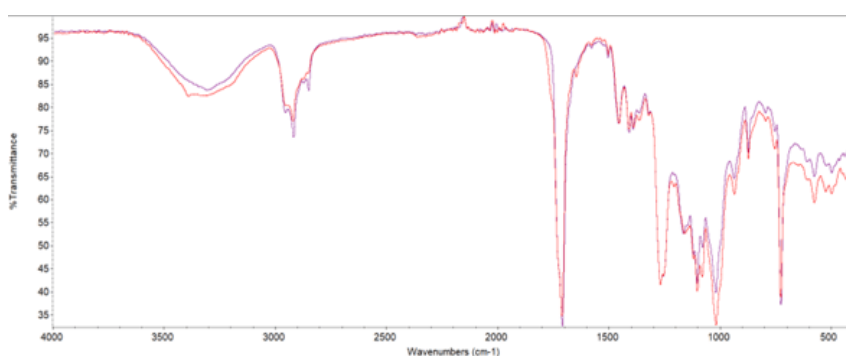
3.3. Composición química de las bolsas muestras

3.3.1 Espectroscopia de infrarrojo/ATR

La Figura 3 evidencia los resultados de *FTIR* (espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier) obtenidos en las bolsas HAPPI y CARE.

Figura 3

Espectro infrarrojo de HAPPI (línea roja) y CARE (línea morada)

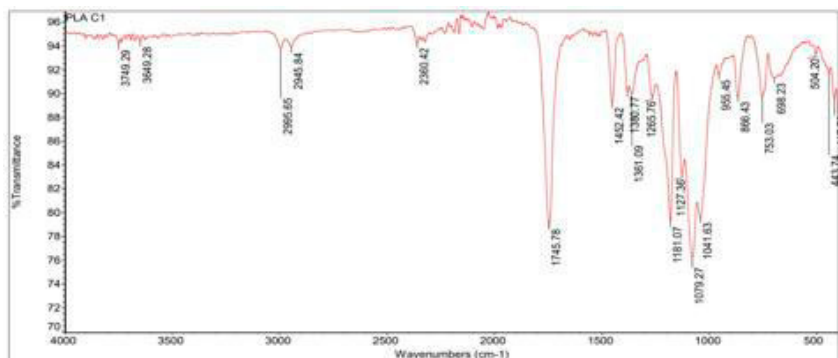


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 se registra el espectro infrarrojo de una bolsa fabricada 100 % con *PLA* con la cual se compararon las bolsas probadas. Se observó que las frecuencias del *PLA* que se asemejan a las frecuencias de HAPPI y CARE son 2995.65, 2945.84, 1745.78, y 753.03 cm⁻¹.

Figura 4

Espectro infrarrojo de una muestra hecha de ácido poliláctico al 100 %

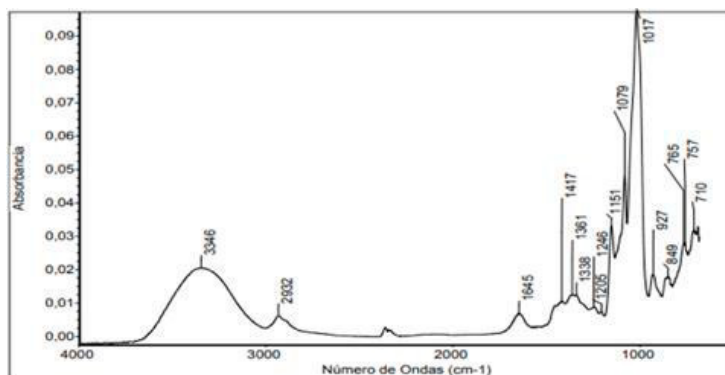


Fuente: Aguayo y Amaya (2020).

La Figura 5 expone el espectro *FTIR* de almidón puro con el que se compararon los espectros de HAPPI y CARE. Se observa que hay una similitud en las frecuencias de 3346 y 1017 cm⁻¹, representando el enlace O-H del alcohol y el C-O del éter presentes en la molécula.

Figura 5

Espectro infrarrojo de almidón

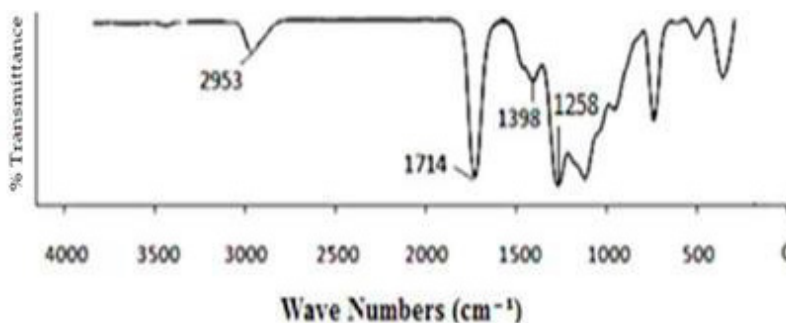


Fuente: Aguayo y Amaya (2020).

La Figura 6 señala el espectro infrarrojo del PBAT, usado para comparar los espectros de HAPPI y CARE. Se observó que hay una similitud con las bandas 2953 y 1714 cm⁻¹ las cuales representa los enlaces C-H del

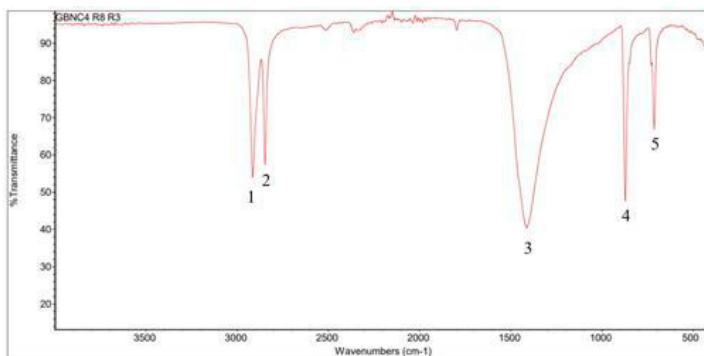
alcano y el enlace C=O del éster. La Figura 7 registra el espectro *FTIR* de la bolsa BIO. En el caso de las muestras BIO se observó que tienen menos bandas de absorción debido a que contienen únicamente polietileno y carbonato de calcio como aditivo.

Figura 6
Espectro infrarrojo del PBAT



Fuente: Siyamak et al. (2012).

Figura 7
Espectro infrarrojo de BIO, representando con números las bandas de interés



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Plasma de acoplamiento inductivo con espectroscopía de emisión atómica

La Tabla 8 muestra los metales y sus cantidades presentes en las bolsas.

Tabla 8

Concentraciones máximas de metales pesados (mg/kg) obtenidos de cada bolsa muestra mediante espectroscopía ICP-OES

Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
λ (nm)	188.98	226.502	267.716	327.395	231.604	220.353	213.857
LCP (mg/kg)							
LCP min	5.0	1.0	1.0	1.0	5.0	10.0	1.0
HAPPI	<LCP	<LCP	<LCP	5.0	<LCP	<LCP	6.7
CARE	<LCP	<LCP	3	75.7	<LCP	<LCP	18.0
BIO	<LCP	<LCP	5	69.0	<LCP	<LCP	91.7

LCP: Limite práctico de cuantificación.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 8 registra los contenidos de metales pesados de las bolsas muestra; dos de tres bolsas (CARE y BIO) contienen cromo, cobre y zinc en su composición, mientras que la bolsa HAPPI solo contiene cobre y zinc en su composición. La bolsa muestra con mayor concentración de Cr fue BIO con 5 mg/kg y la de menor concentración fue CARE con 3 mg/kg. Para Cu, se obtuvo una concentración mayor en CARE con 75.7 mg/kg y la menor concentración en el HAPPI con 5.0 mg/kg, obteniendo una diferencia de 15.14 veces. Y, por último, BIO presentó una mayor concentración de Zn con 91.7 mg/kg, mientras que el HAPPI mostró una concentración menor con 6.7 mg/kg, obteniendo una diferencia de 13.7 veces.

Los resultados obtenidos en metales muestran que todos los valores están por debajo de los límites máximos permitidos en la en NACD-MX-010-AMBT-2019 (GCDMX, 2022) (mostrados en la Tabla 9), con excepción del cobre en CARE ya que se obtuvo una concentración de 75.7 mg/kg mientras que la norma menciona una concentración máxima de 70.0 mg/kg.

Tabla 9

Concentraciones máximas de elementos traza en (mg/kg) en base seca, que deben cumplir los tipos de composta

Nivel – tipo	Cr	Cu	Zn
Nivel 1 – tipo A	70	70	200

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, los resultados también mostraron que las concentraciones de metales en BIO estuvieron dentro de los límites permitidos por la normatividad; sin embargo, se esperaba que estas fueran superiores, ya que la principal fuente primaria de metales en los plásticos en general son los aditivos funcionales. Los aditivos a base de metales pueden ser compuestos inorgánicos insolubles, compuestos orgánicos parcialmente solubles o líquidos o sales organometálicas.

Los aditivos de base metálica tienen diferentes aplicaciones en los plásticos y pueden servir como, por ejemplo, biocidas, agentes antimicrobianos, lubricantes y retardantes de llama. Sin embargo, sus principales usos son como rellenos inertes, pigmentos para el color y estabilizadores (Turner y Filella, 2021).

La mayor cantidad de Cu en CARE puede estar relacionada con la coloración verde de la bolsa, ya que los pigmentos orgánicos sintéticos incluyen ftalocianinas y complejos de coordinación de cobre que imitan las estructuras de las porfirinas (Turner y Filella, 2021). Los llamados oligoelementos sirven como micronutrientes para los cultivos porque son necesarios en pequeñas cantidades y son necesarios para que los organismos completen su ciclo de vida. Cuando alcanzan un determinado umbral, se vuelven tóxicos, como el boro, el cobalto, el cromo, el cobre, el molibdeno, el manganeso, el níquel, el hierro, el selenio y el zinc, así como el metaloide arsénico (Prieto et al., 2009).

4. Conclusiones

De acuerdo con la búsqueda de información sobre la composición de las bolsas utilizadas en esta investigación, el porcentaje de ácido poliláctico

en las bolsas muestra lleva el siguiente orden decreciente CARE (15 %) > HAPPI (5-15 %) > BIO (0 %). Además, del ácido poliláctico, las bolsas contienen fécula de maíz, tereftalato de adipato de polibutileno (HAPPI y CARE), carbonato de calcio y polietileno (BIO).

Las larvas de *Tenebrio molitor* tienen mayor capacidad de biodegradar las bolsas fabricadas con PLA en comparación con las bolsas hechas de polietileno. Se presentó un mayor porcentaje de consumo en las bolsas con mayor porcentaje de ácido poliláctico (HAPPI y CARE), por lo que el PLA sí influye en el consumo de bolsa. Además, no hubo un aumento de peso en las larvas al consumir las bolsas hechas a base de PLA, por lo que el PLA no influye en el aumento de peso. Las larvas fueron capaces de sobrevivir durante 7 semanas al consumir las diferentes bolsas, observándose que a mayor concentración de PLA mayor es la sobrevivencia.

Con respecto a la inhibición o estimulación de la elongación de las semillas, el PLA probablemente influye en la estimulación de la longitud del hipocótilo y de la radícula en las semillas de lechuga (*L. sativa*), ya que la muestra CARE (5 a 15 % PLA) presentó una mayor longitud del hipocótilo y de la radícula (25.59 y 19.54 %) comparado con el HAPPI (5 a 15 % PLA) (2.62 y -15.8 %). Sin embargo, en las semillas de *C. barbata*, el PLA no influye en el crecimiento de raíces y tallo debido a que el BIO (0 % PLA) fue el único en obtener una elongación positiva, con excepción de la tercera raíz.

La composición química de las bolsas evaluada mediante espectroscopia de infrarrojo/ATR, confirmó que las bolsas probadas están fabricadas de los polímeros que mencionan los fabricantes (PLA, fécula de maíz, tereftalato de adipato de polibutileno, polietileno y carbonato de calcio). Esto se confirma al comparar las frecuencias experimentales con las de la literatura.

Los metales que fueron detectados en las bolsas probadas fueron Cr, Cu y Zn. Las concentraciones de estos metales estuvieron por debajo de los límites establecidos por la Norma NACDMX-010-AMBT-2019 (Cr y Cu <70mg/kg; Zn <200mg/kg), con excepción del Cu el cual se encuentra en el CARE (75.7mg/kg).

Referencias bibliográficas

- Aguayo, y Amaya. (2020). *Base de datos de espectros FT-IR-ATR*. Versión actualizada. 2020. https://www.cncr.gob.cl/sites/www.cncr.gob.cl/files/2021-09/BASE_DATOS_ESPECTROS_2020.pdf
- Campos-Granados, M. (2021). *Biodegradación de plásticos convencionales: Estrategias y perspectivas* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Almería]. <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/13496/CAMPOS%20GRANADOS,%20MIGUEL.pdf?sequence=1>
- Comas, V. (2012). *Bolsas de plástico: los usuarios no lo tienen claro*. In *Interempresas*. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/101380-Bolsas-de-plastico-los-usuarios-no-lo-tienen-claro.html>
- DOF. (16 de abril 16, 2020). Norma Mexicana NMX-E-273-NYCE-2019. Industria del plástico-plásticos compostables-especificaciones y métodos de prueba. *Diario Oficial de La Federación* [Official Journal of the Federation]. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5591696&fecha=16/04/2020#gsc.tab=0
- García Liñán, S. (2022). Contaminación por bolsas de plástico. *El Financiero*. Recuperado el 05 julio de 2022. El Financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/contaminacion-por-bolsas-de-plastico/>
- García-Llobodanin, L., Ponce De León, N., Moreira, S., y Billiris, A. (2020). Efecto de la variedad y de la humedad de cosecha en la temperatura de transición vítrea de variedades uruguayas de arroz. *IN-NOTEC*, 20, 106–116. <https://doi.org/10.26461/20.01>
- Garrucho, R. N. T. (2017). *Tenebrio molitor for food or feed: Rearing conditions and the effect of pesticides on its performance* [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico de Coimbra]. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/18083?locale=en>
- GCDMX. (2022). *Norma Ambiental para la Ciudad de México NACD-MX-010-AMBT-2019, Especificaciones Técnicas que deben cumplir las bolsas y los productos*. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/NORMA%20AMBIENTAL%20NACDMX-010-AMBT-2019.pdf>

- Houbraken, M., Sprangers, T., De Clercq, P., Cooreman-Algoed, M., Couchement, T., De Clercq, G., Verbeke, S., y Spanoghe, P. (2016). Pesticide contamination of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) for human consumption. *Food Chemistry*, 201, 264-269. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.097>
- Lindwall, C. (30 de abril, 2024). Single-Use Plastics. <https://www.nrdc.org/stories/single-use-plastics-101>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., y Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Molina, F., Flores, K. P., y Hermosillo, M. (2016). Degradación de polímeros con *Tenebrio molitor*. In Red Nacional de Actividades Juveniles de Ciencia y Tecnología (Ed.), *Expociencias Nacional 2016* (pp. 1–26). https://dspace.umad.edu.mx/umad_server/api/core/bits-treams/29486222-c059-47cf-9f18-77c9125787bb/content
- Pineda, J. A. (2024). *Contaminación por bolsas de plástico: su impacto ambiental y prevención*. <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/bolsas-de-plastico/>
- Poi de Neiff, A. y Ramos, A. (2002). Utilización de *Lactuca sativa* y *Panagrellus redivivus* para el estudio ecotoxicológico de los ríos salado y negro (Chaco, Argentina). *FACENA*, 18, 2-9. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/fce/article/view/3601/3247>
- Portocarrero, F. R. (2021). *Biodegradación de poliestireno con tenebrio molitor para la sostenibilidad de empresas* [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana Cayetano]. <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/9025>
- Prieto, J., González, C. A., Román, A. D., y Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 29–44. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Rodríguez, M., y Flores, V. (2004). *Nociones Básicas del Ferti-riego, elementos esenciales y beneficiosos*. <https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf>
- Saetama, V., Vera, L., Vanegas, M. E., Cruzat, C., y Brazales, D. (2018). Evaluación toxicológica de soluciones acuosas de ibuprofeno me-

- diente bioensayos con *Artemia salina*, *Allium schoenoprasum* L. y *Lactuca sativa*. *Revista de Toxicología de AETOX*, 35, 112–118. <http://rev.aetox.es/wp/index.php/evaluacion-toxicologica-de-soluciones-acuosas-de-ibuprofeno-mediante-bioensayos-con-artemia-salina-allium-schoenoprasum-l-y-lactuca-sativa/>
- Sánchez, K. A., y Sánchez, L. M. (2009). *Determinación de la concentración de inhibición media (CE 50-120) del bario, hierro y manganeso mediante bioensayos de toxicidad acuática sobre semillas de lechuga (Lactuca sativa)* [Tesis de Licenciatura, Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/ing_ambiental_sanitaria/article/1060/&path_info=T41.09_S55de.pdf
- Santiago, S. Y., y Quispe, K. R. (2014). *Diseño de un plan de negocio para la introducción de bolsas plásticas biodegradables que contribuya a la conservación del medio ambiente en el mercado de San Juan de Lurigancho* [Tesis Licenciatura, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/7447f2d4-96d0-4776-9489-1b1790194e35>
- Siyamak, S., Ibrahim, N. A., Abdolmohammadi, S., Yunus, W. M. Z. W. y Rahman, M. Z. A. (2012). Effect of Fiber Esterification on Fundamental Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber/Poly(butylene adipate-co-terephthalate) *Biocomposites. International Journal of Molecular Sciences*, 13(2), 1327–1346. <https://doi.org/10.3390/ijms13021327>
- Sobrero, M. C. y Ronco, A. (2008). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. En SEMARNAT (Ed.), *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo* (1ra edición, pp. 55–68). Instituto Nacional de Ecología. http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/ensayo_toxicologico.pdf
- Turner, A., y Filella, M. (2021). Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts. *Environment International*, 156, 106622. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106622>

Gestión integral de residuos sólidos municipales. Nuevas tendencias en el contexto latinoamericano.

Se terminó de editar en abril de 2025

en los talleres de Astra Ediciones

Av. Acueducto No. 829

Colonia Santa Margarita, C. P. 45140

Zapopan, Jalisco, México.

33 38 34 82 36

E-mail: edicion@astraeditorial.com.mx

www.astraeditorialshop.com

En esta obra se ha conformado material de investigación, donde bajo el auspicio de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), se han conjuntado esfuerzos de profesores, investigadores, consultores, empresarios y autoridades universitarias para concretar este proyecto. No obstante, no hubiera sido posible este material sin la revisión minuciosa de los integrantes del Comité científico internacional y las gestiones administrativas de los integrantes del Comité Editorial.

ISBN: 979-13-87631-89-5



UDCA
Universidad de Ciencias
Aplicadas y Ambientales

Consulta y descarga