

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHILPANCINGO

Maestría en Ciencias de la Ingeniería

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
URBANOS**
TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

Presenta
Denisse Peralta Rojo

Directora

Codirector

Dra. Mirna Castro Bello

Dr. Carlos Virgilio Marmolejo Vega

In memoriam

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHILPANCINGO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHILPANCINGO

Revisor 1

Revisor 2

Dr. Daniel Angeles Herrera

Dra. Yanet Evangelista Alcocer

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHILPANCINGO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHILPANCINGO

Chilpancingo De Los Bravo, Guerrero, mayo 2026

Agradecimientos

A la Dra. Mirna Castro-Bello quien fue mi guía incondicional como directora de tesis y ha sido, metafóricamente, la madre y mentora de generaciones de estudiantes que hemos crecido bajo su cuidado; qué gran honor ser parte de ellos. Gracias por responder pacientemente a cada duda y por demostrarme que, en efecto, preguntando se llega a Roma. Mi profundo agradecimiento por permitirme aprender de su gran pasión y por enseñarme que, con disciplina, paciencia y una pizca de divinidad, alcanzar un artículo JCR es posible.

Al Dr. Carlos Virgilio Marmolejo-Vega (*In Memoriam*), mi más profundo agradecimiento por haber sido el fundador de la institución que me formó profesionalmente. Su pasión y entrega permanecerán siempre como un legado imborrable para todos los que tuvimos el honor de ser sus alumnos. Dedicó su vida y conocimiento al servicio de los demás, pero sobre todo al desarrollo de este posgrado; tenga por seguro que el G3 será siempre su casa.

A la Dra. Yanet Evangelista-Alcocer y al Dr. Daniel Angeles-Herrera, por su constante atención, paciencia y guía durante todo este camino.

A la M.D.I.S Areli Bárcenas-Nava y al Mtro. Sergio Zagal Barrera por su dirección a esta institución, por su apoyo al posgrado y personalmente por brindarme todas las herramientas para realizar mi investigación.

Al cuerpo académico y a los fundadores de la DEPI, ya que sin ustedes nada de esto sería posible. Mi más profundo agradecimiento por cada hora, día y esfuerzo extra que dedican incansablemente al crecimiento y excelencia de este posgrado. A mis compañeros, por hacer de este camino una experiencia compartida. A Brandon, porque como el binomio perfecto demostramos que no necesitamos más para alcanzar nuestros objetivos. A Diana, por escucharme, aconsejarme, compartir su amor por el arte y tener la sensibilidad de poner en palabras los sentimientos que muchos no sabemos expresar. A Lizandro y Mario, cuya colaboración fue fundamental para realizar los muestreos y la caracterización de residuos; sin su valioso apoyo, esta etapa no habría sido posible. A la M.C.I. Liz Gómez, quien me acompañó desde la introducción hasta la conclusión. Y al Mtro. Carlos Tello, por su invaluable apoyo tanto en el ámbito personal como en el académico.

A la Maestría en Ciencias de la Ingeniería y al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chilpancingo, por abrirme sus puertas durante estos dos años, compartiendo conmigo conocimiento, infraestructura y la guía de profesores de excelencia. Llevaré siempre con orgullo el nombre de mi institución. De igual manera, agradezco a la SECIHTI por la beca otorgada, un pilar fundamental que me brindó el respaldo necesario para dedicarme exclusivamente a este proyecto de investigación.

Dedico este logro a mi padre y madre, gracias por su completo respaldo para formarme profesionalmente, son mis guías en el cielo y la tierra, gracias por creer en mí, que su amor y sabiduría estén siempre conmigo.

A mi familia y amigos, gracias por su paciencia a la ausencia que este proceso involucró, en especial al Arq. Oliver, su presencia, cariño y respaldo absoluto en la recta final de este proceso fueron el pilar que me permitió mantener toda mi concentración en la culminación exitosa de esta meta, mi agradecimiento y cariño siempre. A la L.F.R. Jaqueline Rojo y al Lic. Axel Navarrete, por su apoyo en cada etapa de mi vida, que nunca me falte su presencia.



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Chilpancingo
DIPI

Chilpancingo, Guerrero **21/junio/2026**
Oficio No. 12DIT0002E/DEPI/039/2026

DENISSE PERALTA ROJO
CANDIDATO A MAESTRA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Presente

Por este conducto me es grato comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulada **"Evaluación de un Sistema de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos"**, ha informado a esta División de Estudio de Posgrado e Investigación (DEPI) que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Crear Tecnología es Forjar Libertad


MIRNA CASTRO BELLO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ccp. Subdirección Académica.
ccp. Archivo
MCB*rlgr.



2026
año de
Margarita
Maza



Av. José Francisco Ruiz Massieu No. 5, Colonia Villa Moderna, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero.
México.
Tel. (747) 45 4 1300, Ext. 1340, email: ssa@chilpancingo.tecnm.mx
<http://chilpancingo.tecnm.mx/> <https://www.facebook.com/TecNMcampusChilpancingo>



Chilpancingo, Guerrero **22/Junio/2026**
Oficio No. 035/2026

DRA. MIRNA CASTRO BELLO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CHILPANCINGO

PRESENTE

Por este medio los integrantes del comité Tutorial de la **C. Denisse Peralta Rojo** con número de control **G16520270** de la **Maestría en Ciencias de la Ingeniería**, le informamos que hemos revisado el trabajo de la tesis de grado titulado **"Evaluación de un Sistema de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos"**, una vez que se han atendido todas las observaciones que se indicaron, hemos acordado aceptar el documento por lo que solicitamos la autorización de impresión definitiva.

Sin más por el momento, le enviamos un cordial saludo.

Directora

Dra. Mirna Castro Bello

Codirector

Dr. Carlos Virgilio Marmolejo Vega
(In Memoriam)

Revisor 1

Dr. Daniel Angeles Herrera

Revisor 2

Dra. Yanet Evangelista Alcocer



2026
año de
Margarita Maza



Índice

Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Capítulo I. Introducción.....	11
Capítulo II. Antecedentes	12
2.1 A nivel Global.....	12
2.2 América.....	15
2.3 México	16
2.4 Conceptos	17
Capítulo III. Justificación	18
Capítulo IV. Objetivos	20
4.1 General.....	20
4.2 Específicos.....	20
Capítulo V. Metodología.....	21
5.1 Materiales	21
5.2 Área de estudio	21
5.3 Metodología.....	23
5.3.1 Revisión al PDMU	24

5.3.2 Análisis al SGA de RSU	25
5.3.3 Identificación de indicadores.....	26
5.3.4 Evaluación del SGA de RSU	31
Capítulo VI. Resultados.....	36
Capítulo VII. Discusión.....	46
Capítulo VIII. Conclusiones	48
Capítulo IX. Referencias	50
X. Anexos	56

Índice de tablas

Tabla 1	Criterios de análisis para la revisión del PMDU.....	24
Tabla 2	Indicadores de sostenibilidad aplicables al SGA.	27
Tabla 3	Clasificación de subproductos RSU.....	32
Tabla 4	La evaluación al SGA con indicadores de sostenibilidad.	33
Tabla 5	Evaluación del SDF.....	34
Tabla 6	Análisis del PMDU.	37
Tabla 7	Normatividad aplicable en la gestión de RSU.	38
Tabla 8	Características del parque Vehicular del municipio.	40
Tabla 9	Servicio de Recolección.....	41
Tabla 10	Características de las celdas del SDF.....	42
Tabla 11	Características del parque vehicular para el SDF.....	42
Tabla 12	Costos de operación anual.	43
Tabla 13	Caracterización de RSU camión recolector del servicio público. Fuente (Castro-Bello et al., 2026).	44
Tabla 14	Indicadores municipales.....	45

Índice de figuras

Figura 1 Municipio de Chilpancingo de los Bravo, Gro.	22
Figura 2 Proceso metodológico.	23
Figura 3 Sistematización de la información.	25
Figura 4 Validación causa-efecto de los indicadores de sostenibilidad según procesos del SGA.	26
Figura 5 Proceso de caracterización de residuos.	31
Figura 6 Fases del SGA de Chilpancingo, Gro., México.	39
Figura 7 Generación de RSU en Chilpancingo, Gro., México.	39
Figura 8 Rutas de recolección.	40
Figura 9 Clasificación de RSU reciclados.	41
Figura 10 Proceso del tratamiento de RSU.	42
Figura 11 Flujo del manejo de MSW en Chilpancingo de los Bravo (t/día). Fuente (Castro-Bello et al., 2026).	43

Resumen

La gestión inadecuada de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) constituye un desafío ambiental crítico, dado que aproximadamente el 40% de los residuos llega a sitios de disposición no controlados donde la incineración a cielo abierto genera una contaminación significativa del aire, suelo y agua. El objetivo de este estudio fue evaluar el Sistema de Gestión Ambiental (SGA) de RSU en Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, mediante indicadores de sostenibilidad, la normatividad ambiental mexicana aplicable con el propósito de identificar deficiencias operativas y estructurales que orienten la mejora integral de su gestión. Siguiendo una metodología que comprende el análisis del SGA a través del Plan de Desarrollo Municipal, la identificación de indicadores ambientales y normas mexicanas aplicables, evaluación del SGA mediante la caracterización de residuos e indicadores de sustentabilidad. Se definió una muestra de 208 kg conforme a las normas NMX-AA-015-1985 y NMX-AA-022-1985. Los resultados indican una tasa de generación de aproximadamente 350 toneladas por día (1.2 kg/habitante/día), con una cobertura de recolección municipal del 70% del territorio en 24 rutas diarias operadas por 30 vehículos. Los indicadores revelaron una porcentaje de reciclaje del 4.86%, cobertura de recolección 79.66%, tasa de tratamiento 0% por ausencia de instalaciones de compostaje o recuperación de materiales, y 95% de los residuos dirigidos al Sitio de Disposición Final (SDF), evidenciando deficiencias sustanciales en el SGA actual, subrayando que la aplicación sistemática de indicadores es una herramienta diagnóstica eficaz para identificar brechas y orientar mejoras basadas en evidencia en la gobernanza de RSU.

Palabras clave: Sistema de gestión ambiental, Evaluación, Residuos Sólidos Urbanos, Caracterización, Indicadores.

Abstract

Inadequate Municipal Solid Waste (MSW) management constitutes a critical environmental challenge, as approximately 40% of waste reaches uncontrolled disposal sites where open-air incineration generates significant air, soil, and water pollution. The objective of this study was to evaluate the MSW Environmental Management System (EMS) in Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, Mexico, through sustainability indicators and applicable Mexican environmental regulations to identify operational and structural deficiencies that guide a comprehensive improvement in its management. The methodology comprised an analysis of the EMS via the Municipal Development Plan, the identification of environmental indicators and applicable Mexican standards, and an evaluation of the EMS through waste characterization and sustainability metrics. A sample of 208 kg was defined in accordance with standards NMX-AA-015-1985 and NMX-AA-022-1985. The results indicate a generation rate of approximately 350 tons per day (1.2 kg/capita/day), with municipal collection coverage of 70% of the territory across 24 daily routes operated by 30 vehicles. Indicators revealed a recycling rate of 4.86%, collection coverage of 79.66%, a 0% treatment rate due to the absence of composting or material recovery facilities, and 95% of waste directed to the Final Disposal Site (FDS). These findings demonstrate substantial deficiencies in the current EMS, highlighting that the systematic application of indicators is an effective diagnostic tool for identifying gaps and guiding evidence-based improvements in MSW governance.

Keywords: Environmental management system; evaluation; municipal solid waste, Characterization, Indicators.

Capítulo I. Introducción

Los RSU comprenden desperdicios de alimentos, embalajes, artículos de uso doméstico, incluidos muebles rotos y productos electrónicos, ropa, calzado y productos de higiene personal (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [LGPGIR], 2003). Anualmente, la generación supera los dos mil millones de toneladas (United Nations Environment Programme [UNEP]], 2024), proyectando 3,400 millones para el año 2050 (UNESCO, 2021). Tendencia que agrava la “triple crisis planetaria” causando entre 400,000 y un millón de muertes anuales por enfermedades asociadas a una gestión deficiente. A nivel global, 40% de RSU terminan en vertederos a cielo abierto donde son incinerados, contaminando el aire, la tierra y el agua (ONU-Habitat, 2022). Mostrando la urgencia de fortalecer los SGA para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11,12 y 13), la aplicación de indicadores en los procesos de generación, recolección, reciclaje y tratamiento estima el funcionamiento de los SGA que funcionan como herramientas para evaluar el desempeño ambiental de una organización, verificar el cumplimiento de sus propósitos y metas establecidas en materia de economía circular y cambio climático (Dada et al., 2013; Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales [SNIARN], 2024).

La presente investigación busca contribuir al tema construyendo una línea base del desempeño del SGA de RSU en Chilpancingo de los Bravo, a partir del análisis de tres niveles de estudio: a. Revisión del marco institucional local contenido en el PMD; b. Caracterización física de los residuos con base en la normativa mexicana; y c. Aplicación de indicadores de sostenibilidad asociados a los procesos de generación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final, permitiendo contrastar lo que el municipio planea institucionalmente con lo que ocurre realmente en el sistema, generando evidencia cuantitativa que oriente la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas para favorecer la gestión integral de RSU a nivel municipal.

Capítulo II. Antecedentes

Diversas investigaciones reportadas en la literatura se han realizado referente a la gestión de RSU.

2.1 A nivel Global

Se reportan estudios referentes a SGA en distintos contextos, caso de Bhumkittipich et al. (2025) quienes desarrollaron y validaron empíricamente el Modelo ARUN, el cual consiste en la integración de la gobernanza participativa, basada en capacidades y competencias sociales en los niveles micro, meso y macro para la gestión comunitaria de residuos cero, diseñado para cerrar la brecha entre las políticas de residuos cero y su aplicación real en comunidades semirrurales de Tailandia. Emplearon un diseño de métodos mixtos secuencial explicativo que combinó una encuesta a 300 hogares del municipio de Saeng Arun. Los resultados confirmaron una organización de cuatro competencias: Advocacy, Responsibility, Understanding y Nurturing que en conjunto explicaron el 67.3% de la varianza, siendo la responsabilidad y el Nurturing los predictores más fuertes del comportamiento de residuos cero, mientras que, el conocimiento por sí solo resultó insuficiente para generar cambios conductuales sin el respaldo de estructuras institucionales y de liderazgo comunitario. Noudeng et al. (2024) realizaron un estudio comparativo sobre gestión de RSU basado en una revisión documental, componentes cualitativos y cuantitativos, señalando que en Laos la generación de residuos aumentó de 0.21 millones de toneladas en el año 2012 a 0.37 millones en 2021, mientras que, en la capital Vientiane se producen aproximadamente 1,004 toneladas diarias, de las cuales sólo el 50 % es recolectado, evidenciando limitaciones en la cobertura del servicio. En contraste, Japón redujo su generación de 45.23 millones de toneladas en 2012 a 40.95 millones en 2021 mediante sistemas integrados que incluyen separación de origen, reciclaje e incineración con recuperación energética, reflejando la importancia del desarrollo institucional y tecnológico para lograr una gestión sostenible de los residuos. En el ámbito de evaluaciones integrales, Singh et al. (2025) en Nagpur, India, midieron el sistema de gestión de RSU con 20 indicadores en cuatro categorías: limpieza, recolección, reciclaje y disposición. A partir de encuestas, recolección de muestras y análisis cuantitativo, identificaron que los residuos plásticos dominan el paisaje urbano de materiales no biodegradables (65%), el valor económico de reciclables en las calles comerciales alcanza 18.37 rupias por kilogramo, cobertura de limpieza y recolección adecuada en zonas centrales,

deficiente en periferias, y 85 % terminan en vertederos a cielo abierto. Identificaron que los recicladores informales son clave para el aprovechamiento de materiales valiosos como polietileno de alta y baja densidad. También Etim et al. (2024) en Lagos, Nigeria, indagaron el papel de las autoridades en la promoción de la gestión de residuos mediante 116 encuestas a hogares. El estudio evaluó cinco sostenibilidades: institucional, económica, técnica, sociocultural y ambiental, mostrando un índice general de 0.643 moderadamente sostenible, dimensión institucional 0.655, seguida por la económica (0.648), técnica (0.646), sociocultural (0.637) y ambiental (0.631) siendo la más débil debido a la baja recuperación de materiales y la contaminación, exponiendo que, aunque existen políticas y estructuras institucionales adecuadas, se requieren mejoras sustanciales en el desempeño ambiental para lograr una gestión integral más eficaz. Otros estudios muestran la aplicación de indicadores de sostenibilidad para evaluar aspectos específicos de los SGA.

Otros estudios muestran la aplicación de indicadores de sostenibilidad para evaluar aspectos específicos de los SGA. Por ejemplo, Volsuuri et al. (2023) quienes examinaron la eficiencia operativa de proveedores de recolección en el municipio de Sagnarigu, Ghana, por medio de Data Envelopment Analysis reflejaron la necesidad de optimizar la asignación de recursos productivos específicamente la combinación de activos físicos, personal operativo, unidades vehiculares con contenedores para alcanzar niveles óptimos de eficiencia y maximizar los resultados del servicio. En Khulna, Bangladesh, Noman et al. (2023) diagnosticaron el estado de las prácticas de gestión de RSU utilizando variables socioeconómicas (ingresos bajos, medios y altos) con una encuesta aplicada a 675 hogares, un análisis de correlación de regresión logística binaria multivariable y un intervalo de confianza clásico paramétrico del 95%, identificaron una correlación muy alta entre el nivel de ingreso y la generación de RSU. Derdera y Ogato, (2023) inspeccionaron las prácticas y el SGA de RSU en Etiopía, a través de una investigación descriptiva y cuantitativa en una muestra de 153 viviendas, obtuvieron que, 96.7% de los hogares cuenta con almacenamiento temporal, 94.8% de RSU son orgánicos, 79.7% realizan separación básica, 60% van a disposición final y 40% se dispersa en calles y ríos. Asimismo, Eshete et al. (2024) en Asella, Etiopía, detectaron los impactos ambientales, de salud y factores asociados de la gestión de RSU. Mediante encuestas a 418 hogares, una técnica de muestreo probabilístico sistemático y aleatorio simple, identificaron que los principales impactos ambientales son 34.2% contaminación del agua, 31.6% aire,

20.8% deterioro ambiental y 13.4% contaminación del suelo. Referente a los impactos en la salud: 49.5% enfermedades respiratorias, 18.2% asma, 15.8% diarreicas, 14.8% infecciones parasitarias y 1.7% cáncer. Adicional, algunas investigaciones se han enfocado en dimensiones específicas como la eficiencia operativa y aspectos socioeconómicos. Caso de (Rada et al., 2018) quienes analizaron las principales problemáticas asociadas a los contaminantes emitidos durante el tratamiento energético de residuales RSM y de la fracción orgánica haciendo énfasis en el impacto sobre salud humana con una revisión bibliográfica y análisis de escenarios con datos de la base SCOPUS para mapear tendencias de publicación, evaluando dos escenarios tecnológicos: tratamiento anaeróbico para producción de biometano, combustión de residuos junto con la generación de biometano, uso de combustible sólido recuperado en procesos termoquímicos y co-combustión en cementeras. Los resultados indicaron que, si bien las emisiones de dioxinas y furanos se encuentran progresivamente bajo control gracias a mejoras tecnológicas y regulatorias, los óxidos de nitrógeno y metales pesados siguen representando riesgos significativos para la salud que requieren una gestión más rigurosa, particularmente en procesos de alta temperatura como la co-combustión en fábricas de cemento, donde los flujos de contaminantes pueden ser elevados a pesar de presentar concentraciones bajas en las chimeneas. Otras metodologías contrastaron cinco escenarios de gestión de RSU por medio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en Himachal Pradesh, India, donde simulaban impactos del cambio climático acidificación, eutrofización y toxicidad humana, mostrando que el escenario actual Business As Usual (BAU) elimina los RSU en vertederos a cielo abierto y compostaje sin reciclaje; y el cinco fue el más favorable con reducciones significativas en emisiones de gases de efecto invernadero, acidificación y toxicidad humana (Sharma et al., 2023). Similarmente, Kang et al. (2023) trabajaron siete contextos de gestión de RSU mediante ACV en Kinshasa, República del Congo, reconociendo un sistema actual con baja recolección y sin valorización que genera 640,673 toneladas de CO₂-eq/año con un costo de \$17.77 millones USD, siendo el siete el más favorecedor reduciendo las emisiones a 153,499 toneladas de CO₂-eq/año y un costo de \$14.43 millones USD en comparación con el sistema actual. Y en estados Unidos Ouedraogo et al. (2024) efectuaron un análisis comparativo mediante ACV utilizando el software OpenLCA compararon los impactos ambientales de métodos tradicionales de manejo de residuos: vertederos, incineración y compostaje frente a un sistema integrado de

gestión que incorpora reciclaje, gasificación y digestión anaerobia. Mostraron que el sistema convencional presenta un potencial de calentamiento global de 899 kg CO₂ eq, mientras que el sistema integrado reduce este impacto hasta -14.6 kg CO₂ eq, evidenciando beneficios ambientales netos.

2.2 América

Deus et al. (2020) en Brasil crearon un indicador ambiental que evalúa y clasifica a los municipios de São Paulo según el impacto de su gestión de RSU. Seleccionaron 150 municipalidades con datos disponibles, recolectaron información secundaria de prácticas de disposición y aplicaron el modelo de reducción de residuos para estimar las emisiones de CO₂, el consumo energético y el índice de calidad de disposición final. La construcción del indicador se basó en la media geométrica de valores normalizados de generación de residuos, emisiones, energía y calidad del sitio, permitiendo identificar los municipios con mejores prácticas. Los resultados mostraron una generación media de 223.89 kg/hab/año, emisiones de 0.166 t CO₂e/hab/año y un ahorro energético de 51.37 kWh/hab/año, además, la mayoría de los municipios alcanzaron condiciones suficientes en la calidad de disposición, aunque persisten retos en la inclusión de recolectores y la educación ambiental. Por otra parte, Oliveira et al. (2024) identificaron las principales tecnologías para generar bioenergía a partir de RSU, analizando indicadores técnico-económicos, ambientales y sociales a nivel global en Río de Janeiro, Brasil. Evaluaron y compararon diferentes tecnologías de tratamiento, encontraron que la gasificación presenta mejores indicadores ambientales mientras que la incineración destaca en eficiencia energética. En cuanto a aspectos ambientales, la gasificación demostró ser superior en la reducción de emisiones y uso de suelo, mientras que la incineración destacó en eficiencia energética y consumo de agua. En Santander, Colombia Sierra Puentes et al. (2025) realizaron una comparativa de diferentes estrategias de manejo de residuos mediante un enfoque cuantitativo basado en ACV y evaluación multicriterio con el propósito de analizar el desempeño ambiental, social y económico de diversos sistemas de gestión. El análisis comparó escenarios de disposición en vertederos, reciclaje, compostaje y valorización energética, identificando que los sistemas tradicionales basados principalmente en vertederos presentan la mayor repercusión al ambiente, particularmente en emisiones de gases de efecto invernadero y uso ineficiente de recursos. En contraste, los sistemas integrados de gestión que incorporan reciclaje, tratamiento biológico y recuperación

energética permiten reducir significativamente el impacto ambiental al incrementar la recuperación de materiales y disminuir el volumen de residuos enviados a disposición final, evidenciando que la integración de múltiples tecnologías de tratamiento constituye una estrategia clave para mejorar la sostenibilidad de los sistemas municipales de gestión de residuos.

2.3 México

Nieves y Delgado (2023) en Ciudad de México, desarrollaron el modelo multidimensional m-SWM4Cities (Multidimensional Sustainable Waste Management for Cities) fundamentado en principios de economía circular para demostrar la viabilidad de transformar la gestión convencional de RSU en un sistema de aprovechamiento integral de recursos. Evidenciando que únicamente los escenarios circulares lograron reducciones significativas de impactos ambientales y valorización efectiva de residuos. Donde los modelos lineales y el enfoque BAU perpetuaron niveles elevados de contaminación, confirmando que los enfoques convencionales son insuficientes para alcanzar la sostenibilidad en la gestión de residuos. En Sombrerete, Zacatecas, Aguilera et al. (2025) diseñaron una estrategia para brindar un servicio de recolección de RSU en comunidades que no lo cuentan. Utilizaron sistemas de información geográfica, herramientas de optimización de rutas de vehículos y la sectorización del territorio. Obtuvieron el diseño de rutas que permitió el 100% de cobertura en Sombrerete, sin compra de vehículos, logrando MX 1000 en beneficios económicos semanales. Por otra parte, en Xaltianguis, Guerrero, Niño et al. (2023) analizaron la reducción del tiempo de servicio de 9 h a 7 h e incrementación de la cobertura de 60 a 95 puntos de recolección a través de un enfoque mixto cuantitativo (caracterización, registro de rutas, digitalización cartográfica y análisis de redes) y cualitativo (entrevistas semiestructuradas, observación directa y revisión normativa). Finalmente Rueda-Avellaneda et al. (2021) evaluaron la situación actual y futura de los SDF de RSU en México. Combinaron datos censales y bibliográficos, un modelo matemático de generación biogás, herramientas de sistemas de información geográfica y análisis de escenarios. Resultando el BAU con mayor potencial energético, pero con mayores emisiones.

2.4 Conceptos

Residuos: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final (DOF, 2023).

Residuos Sólidos Urbanos: Generados en escuelas, casas resultado de eliminación de materiales que se utilizan en actividades domésticas, de productos consumidos y sus envases, embalajes o empaques: también se consideran los que provienen de establecimientos, vía pública y limpieza de calles (DOF, 2023).

Sistema de gestión: Es una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible(ISO 14001:2015).

Sistema de gestión ambiental: Conjunto de decisiones estratégicas para una organización y mejore el desempeño de los procesos, además proporciona una base sólida para las iniciativas de desarrollo sustentable (ISO, 2015).

Indicador de sostenibilidad: Tipo de medida numérica, descriptiva o de presencia/ausencia que sirve para reflejar cómo se encuentra un proceso, una condición ambiental o el desempeño de la organización en un aspecto específico (ISO 14031:2021).

Capítulo III. Justificación

La deficiente gestión de los RSU representa un riesgo real para el entorno natural, la diversidad de especies y el bienestar de las personas con repercusiones tanto en comunidades locales como a escala mundial, afectando a una gran parte de la población global (Silva-Filho et al., 2021). Su inadecuada administración genera consecuencias ambientales como la liberación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) debido a la descomposición de estos, el bloqueo de sistemas de drenaje pluvial que provoca inundaciones, riesgos de contaminación de agua, aire y suelo por microplásticos, metales pesados, así como el crecimiento de vectores transmisores de enfermedades (OPS, 2024). A escala de biodiversidad, el desarrollo de SDF no controlados implica la pérdida entre 30 y 300 especies de animales por hectárea, al tiempo que provoca cambios en las comunidades locales de la fauna donde algunas aves y mamíferos son reemplazados por especies carroñeras como cuervos y ratas (Siddiqua et al., 2022). Además, pueden convertirse en fuente de exposición para las comunidades, incrementando el riesgo de enfermedades transmisibles como hepatitis SARS o VIH, así como afecciones respiratorias, dermatológicas, intoxicaciones y accidentes ocupacionales que impactan directamente los determinantes ambientales de la salud. Enfermedades que recaen con mayor frecuencia sobre las poblaciones más vulnerables, quienes residen en zonas aledañas a SDF (Escamilla-García et al., 2024).

La gestión eficiente de RSU a través de su evaluación en sus distintas etapas ayuda a identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias efectivas para abordar los desafíos actuales y posteriores (Yuan y Zoungrana, 2025). Analizar el SGA como un sistema dinámico desde la generación de RSU hasta la disposición final, permite estimar impactos, diseñar indicadores y proponer escenarios de mejora. Al estudiar los métodos, se identifican cuellos de botella, prácticas ineficientes y oportunidades de circularidad como el aprovechamiento de residuos para reducir emisiones y recuperar recursos (Jacintos y Delgado, 2023). La importancia de hacer diagnósticos técnicos, no es solo operativa, sino profundamente financiera, dado que, el manejo integral de RSU representa una de las mayores cargas económicas para los gobiernos. Además de los costos ocultos por contaminación, insalubridad y el cambio climático derivado de malas prácticas de eliminación de residuos superando los 252,000 millones de dólares reportado en el 2020, en contraste con un modelo de economía circular que podría generar un beneficio neto de hasta 108,500 millones de

dólares anuales (UNEP, 2024b). Por ejemplo, en México, en el año 2022, la cantidad promedio diaria recolectada de RSU fue de 108,146 toneladas con una cobertura de recolección nacional del 83.87%, evidenciando que aún existen importantes brechas en la eficiencia del servicio a nivel municipal (Banobras, 2026).

Desde el marco normativo mexicano la LEY GENERAL DE ECONOMÍA CIRCULAR (2026) fundamenta la necesidad de evaluar los SGA para prolongar el ciclo de vida de los productos y la minimización de residuos. Bajo este fundamento legal, no es sólo un ejercicio administrativo, sino como recurso que permita transitar desde un modelo lineal de "extracción-consumo-desecho" hacia un modelo donde la eficiencia operativa se mida por la capacidad de reintegrar materiales para que esta transición sea viable, se requiere de instrumentos técnicos que traduzcan la norma en acciones concretas (García & Adame, 2025).

En la actualidad, existe una brecha en la literatura referente a evaluaciones de SGA, sin embargo, existen estudios referentes a estimaciones de ciudades de gran tamaño y con infraestructura tecnológica avanzada, contrario al municipio de Chilpancingo que se considera marginado. Esta investigación propone una metodología a través de un análisis del Plan Municipal de Desarrollo (PMD), estadística descriptiva, identificación y aplicación de indicadores de sostenibilidad para la evaluación del SGA de RSU. Lo que permitiría transitar de percepciones generales a evidencia verificable sobre el desempeño del sistema, facilitando la interpretación de los objetivos normativos en resultados medibles contribuyendo a la promoción de prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente, así como, la mejora de la calidad de vida de las personas al reducir la contaminación y riesgos para la salud asociados con la gestión inadecuada de los RSU.

Capítulo IV. Objetivos

4.1 General

- Evaluar el Sistema de Gestión Ambiental de RSU mediante indicadores de sostenibilidad y normatividad ambiental mexicana aplicable en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero con el propósito de identificar deficiencias operativas y estructurales que orienten la mejora integral de su gestión.

4.2 Específicos

1. Revisión del Plan Municipal de Desarrollo de Chilpancingo de los Bravo.
2. Análisis del sistema de gestión de RSU que aplica el municipio de Chilpancingo.
3. Identificación y aplicación de los indicadores de sostenibilidad para evaluar SGA de RSU.
4. Evaluación del sistema de gestión de RSU.

Capítulo V. Metodología

5.1 Materiales

Para el desarrollo de este proyecto se consideraron un vehículo camión marca FOTON compactador de caja trasera con capacidad de carga 10 ton modelo 2021 y una camioneta Nissan redilla de 1.5 ton de carga modelo 2015, báscula camionera con plataforma de 300 ton marca REVUELTA diseño RCC-1860-V y báscula comercial digital Raganet de 200 kg, balanza granataria para 20 kg con sensibilidad de 1 g., dos tambos metálicos cilíndricos de 200 L, traje overol impermeable de 0.33 MM de espesor doble capa de pvc/poliéster, guantes de carnaza, botas industriales con corte y suela de policloruro de vinilo antiderrapante, mascarilla NK95, criba M 2.00, recogedores, escobas, 50 bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.80 m y calibre mínimo del No. 200, palas curvas, bieldos, papelería (cédula de informe de campo, marcadores, ligas, otros) y software estadístico Minitab versión 21.

5.2 Área de estudio

La investigación se realizó en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, superficie de 2,339 km² y una población de 292,556 habitantes con 72,480 viviendas particulares conformadas por 942, 043 hogares censales, considerando 670 colonias y fraccionamientos regulares, así como un número indeterminado de colonias irregulares (INEGI, 2023), Figura 1.

Figura 1

Municipio de Chilpancingo de los Bravo, Gro.

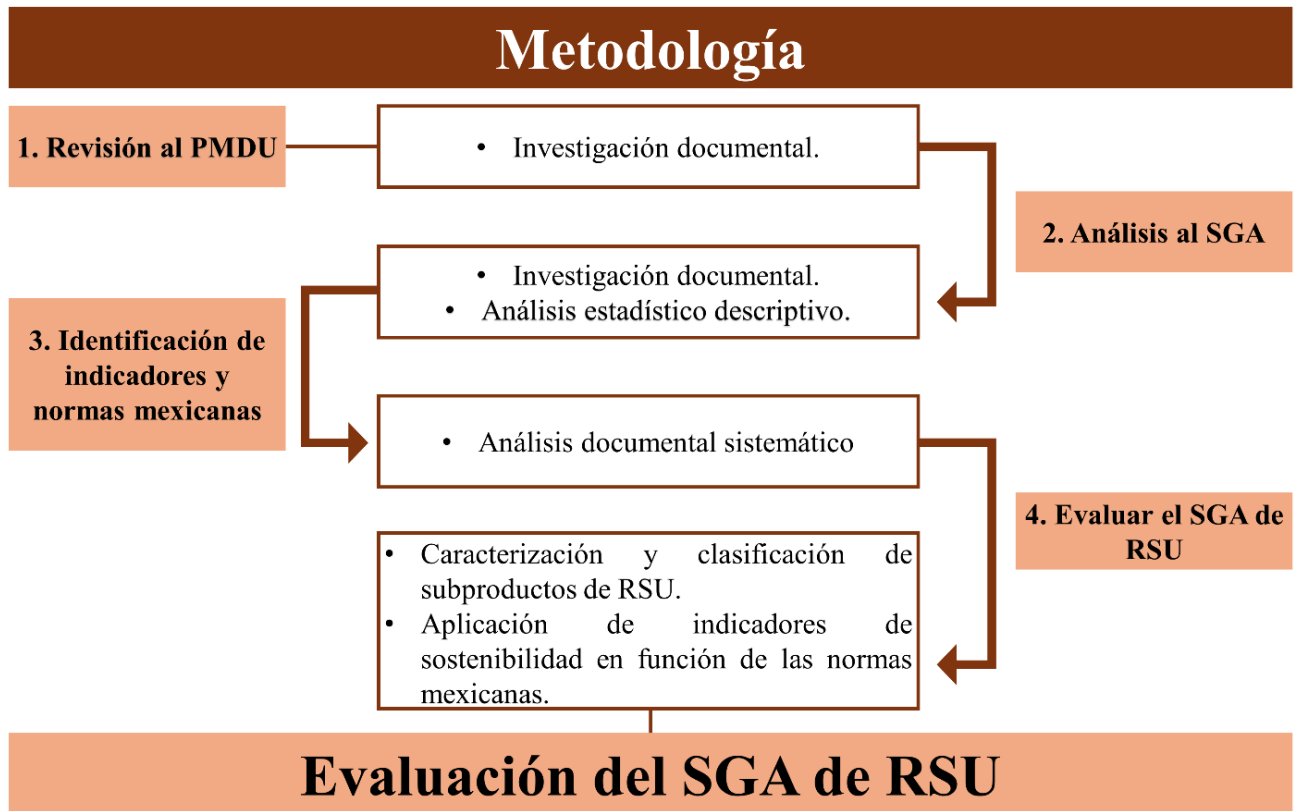


5.3 Metodología

La metodología de esta investigación se desarrolló en cuatro fases, Figura 2.

Figura 2

Proceso metodológico.



5.3.1 Revisión al PDMU

La revisión del PMDU consistió de la identificación de sus apartados estratégicos que inciden en la gestión de RSU, además de analizar los datos provenientes de informes gubernamentales, censos y plataformas institucionales, Tabla 1.

Tabla 1

Criterios de análisis para la revisión del PMDU.

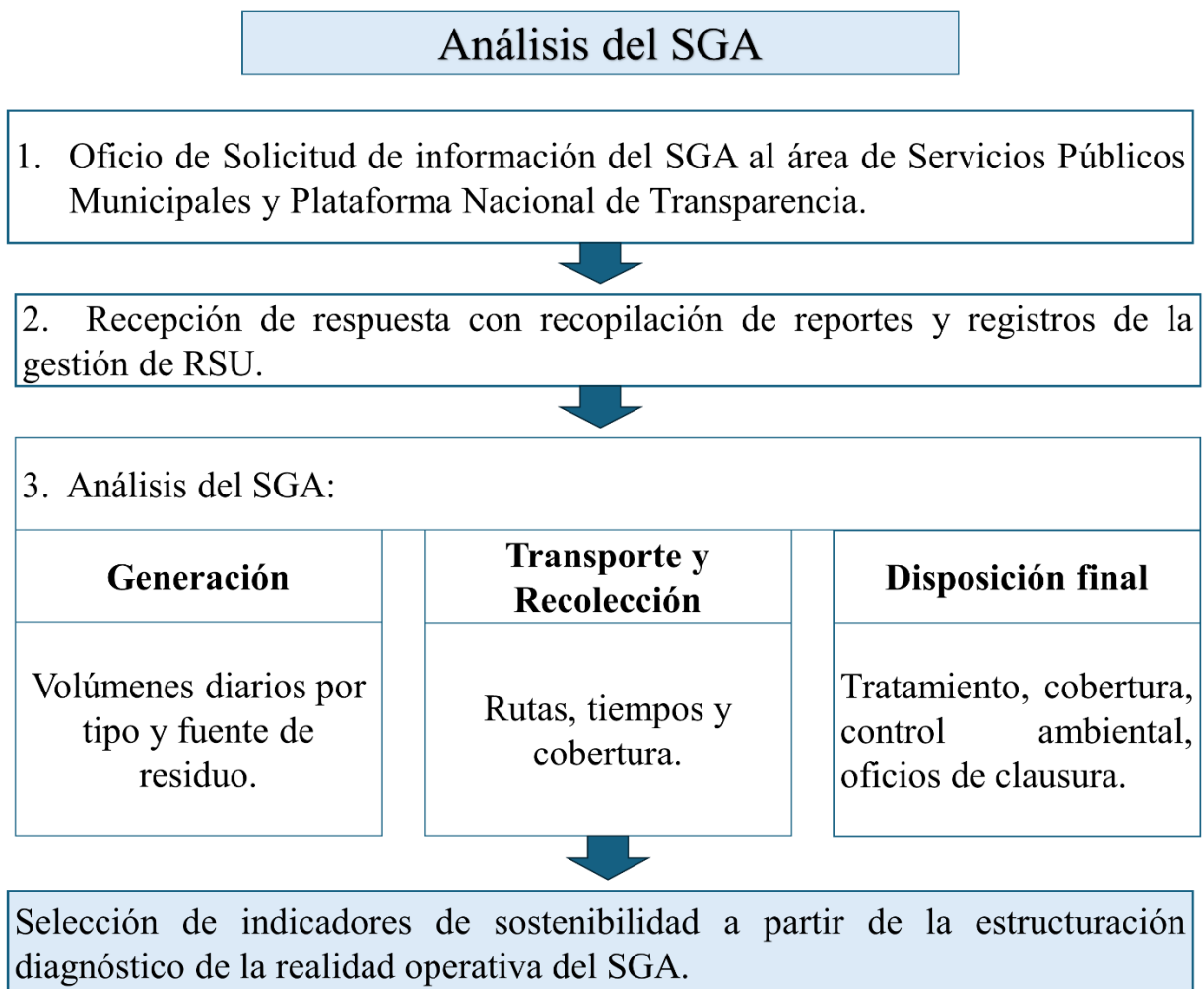
Categoría	Eje temático	Criterio de Búsqueda	Relación con el SGA
Territorio	Población	Tasa de generación, tasa de disposición.	Determina el aumento futuro en la generación de RSU.
Equipamiento	Servicios Públicos	Recolección, rutas, camones, reciclaje, instalaciones de tratamiento, centros de acopio.	Identificación de brechas en el servicio actual.
Infraestructura ambiental	Disposición Final	Relleno sanitario, Vertedero a cielo abierto, basurero clandestino, uso de suelo.	Guía para evaluar el cumplimiento de normas mexicanas.
Normatividad y marco legal	Alineación Normativa Nacional	Leyes de RSU, sanciones, atribuciones.	Identifican responsabilidades de los entes que regulan los RSU.

5.3.2 Análisis al SGA de RSU

Mediante una metodología mixta se realizó una investigación documental exhaustiva de los registros operativos municipales del año 2024. Posteriormente, los datos se analizaron con un análisis estadístico descriptivo permitiendo identificar los procesos del SGA para seleccionar los indicadores evaluados bajo la normativa mexicana que asegura los criterios de sostenibilidad pertinentes y alineados con la técnica documentada en el municipio, Figura 3.

Figura 3

Sistematización de la información.



5.3.3 Identificación de indicadores

La selección de indicadores se realizó a partir del análisis documental sistemático, la cual consistió en clasificarlos permitiendo una evaluación tridimensional basada en seis requerimientos técnicos: mesurabilidad, variabilidad, dinamismo, simplicidad, enfoque en el usuario y flexibilidad. Lo que permitió identificar el conjunto de indicadores que reflejen la relación **causa-efecto** en las dimensiones ecológica, económica y social del SGA. De esta manera, se aseguró que los resultados no solo describieran la situación actual, sino que puedan ser utilizados como herramientas para el diseño de políticas públicas y la mejora del SGA, Figura 4.

Figura 4

Validación causa-efecto de los indicadores de sostenibilidad según procesos del SGA.

Validación Causa-efecto de indicadores

Ecología (efecto)	Economía (Causa)	Social (efecto)
Indicadores de impacto ambiental.	Indicadores de costos operativos y eficiencia.	Indicadores de cobertura, valorización y tratamiento.
Indicadores que cumplen clasificados de acuerdo a los procesos identificados del SGA.		
Proceso	Economía (causa)	Ecología/Social (efecto)
Generación	Presupuesto asignado a programas de sensibilización.	Tasa de generación per cápita (kg/hab/día).
Recolección	Rutas optimizadas.	Porcentaje de cobertura de recolección en el municipio, valorización y reciclaje.
Transporte	Inversión en mantenimiento de flota.	Porcentaje de residuos valorizados o recuperados.
Tratamiento	Costo de operación de centros de acopio/compostaje.	Índice de cumplimiento ambiental o emisiones de biogás controladas.
Disposición final	Mantenimiento/clausura.	

El conjunto seleccionado indicadores, Tabla 2.

Tabla 2

Indicadores de sostenibilidad aplicables al SGA.

Proceso	Indicador	Descripción	Fórmula
Generación	1.1. Generación per cápita	Cantidad promedio anual de residuos urbanos que genera cada habitante de una población (kg/hab./año)	$\frac{\text{Prom anual de RSU generados}}{\text{Población total}}$
	1.2. Composición de residuos	Proporción porcentual que representa cada componente o fracción específica dentro del total de residuos (%)	$\frac{\text{Cantidad de residuos}}{\text{Total de residuos}} \times 100$
	1.3. Residuos domésticos per cápita	Cantidad promedio anual de residuos generados exclusivamente en el ámbito doméstico por cada habitante (kg/hab./año)	$\frac{\text{Peso total de residuos domésticos}}{\text{Población total}}$
Recolección y transporte	2.1. Cobertura de recolección	Porcentaje de la población urbana que cuenta con acceso regular y continuo al servicio de recolección (%)	$\frac{\text{Población atendida}}{\text{Población total}} \times 100$
	2.2. Recolección de residuos per cápita	Cantidad total de residuos que son efectivamente recolectados en relación con el número de habitantes de la ciudad (t/hab./año)	$\frac{\text{Residuos anuales}}{\text{Población total}}$
	2.3. Grado de segregación	Proporción porcentual de materiales que son separados y recuperados para su aprovechamiento respecto al total de residuos recolectados (%)	$\frac{\text{Residuos separados}}{\text{Residuos recolectados}} \times 100$
	2.4. Porcentaje de vehículos que utilizan combustible renovable	Porcentaje de la flota vehicular destinada a la gestión de residuos que opera con combustibles provenientes de fuentes renovables (%)	$\frac{\text{Flota de combustible renovables}}{\text{Total de vehículos}} \times 100$
Reciclaje	3.1. Tasa de reciclaje de residuos sólidos	Porcentaje de residuos que son efectivamente reciclados respecto al total de residuos generados (%)	$\frac{\text{Residuos reciclados}}{\text{Residuos generados}} \times 100$

Tratamiento	3.2. Grado de no conformidad con el marco regulatorio	Número de avisos de incumplimiento de la legislación ambiental detectadas durante las inspecciones (%)	$\frac{N \text{ avisos de incumplimiento}}{N \text{ de inspecciones}} \times 100$
	3.3. Consumo de agua	Volumen de agua consumida en las instalaciones de valorización y reciclado en relación con la cantidad de residuos procesados (L/t)	$\frac{\text{Agua utilizada}}{\text{Residuos en instalaciones}}$
	3.4. Uso de la tierra	Superficie requerida por las instalaciones de recuperación y reciclaje para procesar cada unidad de residuos (m^2/t)	$\frac{\text{Superficie de la instalación}}{\text{Residuos ingresados}}$
	3.5. Consumo de energía	cantidad de energía o combustible necesaria para procesar cada unidad de residuos depositados en las instalaciones de valorización y reciclado (kWh/t)	$\frac{\text{Cantidad de energía}}{\text{Residuos depositados}}$
	3.6 Inclusión de los recicladores en el sistema de recogida selectiva (planificación e implementación)	porcentaje de recolectores destinados específicamente a la recolección selectiva de residuos respecto al total de la flota de recolección (%)	$\frac{N \text{ recolectores}}{N \text{ total de personal}} \times 100$
	4.1. Cantidad de RSU tratados per cápita	Cantidad de residuos sólidos urbanos procesados diariamente en relación con la población total (t/hab/año)	$\frac{\text{Residuos procesados al día}}{\text{Población}}$
	4.2. Capacidad total instalada para la producción de energía a partir de fuentes renovables	Volumen total de electricidad generada a partir de fuentes renovables en el marco de las instalaciones de gestión y valorización de residuos (MW)	MW
	4.3. Capacidad total de Recuperación de Material (MRF) per cápita (eliminación o reducción de contaminantes)	Cantidad de materiales recuperados del flujo de residuos en relación con la población de la ciudad (t/hab/año)	$\frac{\text{Materiales recuperados}}{\text{Población}}$
	4.4. Cantidad total de RSU	Número de materiales procesados en las instalaciones	$\frac{\text{Materiales procesados}}{\text{Población}}$

	procesados en una MRF (unidad de recuperación de materiales) per cápita	de clasificación y recuperación de materiales (t/hab/año)	
	4.5. Porcentaje del total de RSU recolectados que se tratan en instalaciones de compostaje por año	Proporción de residuos sólidos urbanos que son tratados anualmente en instalaciones de compostaje respecto al total de residuos recogidos x 100 (%)	$\frac{RSU \text{ compostados al año}}{Residuos recolectados al año} \times 10$
	4.6. Cantidad de residuos generados en las instalaciones de compostaje per cápita	Cantidad de residuos generados anualmente en las propias instalaciones de compostaje en relación con la población total (t/hab/año)	$\frac{Residuos de instalación al año}{Población}$
	4.7. Cantidad de fertilizante vendido per cápita (compost)	Cantidad de fertilizantes obtenidos como producto del proceso de compostaje que son comercializados, en relación con la población total (kg/hab/año)	$\frac{Fertilizante vendido}{Población}$
	4.8. Capacidad total de las instalaciones de compostaje per cápita	Capacidad total instalada para el procesamiento de residuos sólidos urbanos en instalaciones de compostaje en relación con la población total (t/hab/año)	$\frac{Cap. en instalación de compostaje}{población}$
Disposición final	5.1. Disposición de residuos en vertederos sanitarios y controlados	Porcentaje de residuos que son depositados en vertederos respecto al total de residuos generados (%)	$\frac{Residuos depositados en vertedero}{Residuos generados}$
	5.2. Grado de cumplimiento de la norma reguladora ambiental	proporción de incumplimientos de la legislación ambiental detectados durante las inspecciones realizadas en las instalaciones de eliminación de residuos (%)	$\frac{Avisos de incumplimiento}{Inspecciones realizadas} \times 100$
	5.3. Consumo de agua	Volumen de agua consumida en las instalaciones de eliminación de residuos en relación con la cantidad de residuos procesados	$\frac{V \text{ agua utilizada}}{Residuos en la instalación}$

5.4. Uso de la tierra	Refleja la superficie requerida por las instalaciones de eliminación para procesar cada unidad de residuos (m^2/t)	$\frac{\text{Superficie utilizada (m}^2\text{)}}{\text{Residuos}}$
5.5. Gasto en gestión de residuos per cápita	Gasto total destinado a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en relación con la población local total ($\frac{R\$}{hab}/año$)	$\frac{\text{Gasto en gestión de residuos}}{\text{población}}$
5.6. Coste total de la recogida de residuos	Costo total de operación y mantenimiento asociado a las actividades de recolección y transporte de residuos ($\frac{R\$}{hab}/año$)	$\frac{\text{Costo operación y mantenimiento}}{\text{población atendida}}$
5.7. Costo total de la eliminación del vertedero	Costo total de operación y mantenimiento de las instalaciones de disposición final de residuos en relación con la población total ($\frac{R\$}{hab}/año$)	$\frac{\text{Costo de disposición final}}{\text{población}}$

Nota. Adaptado de Sustainability Indicators for Evaluating a Municipal Solid Waste Management System (2026).

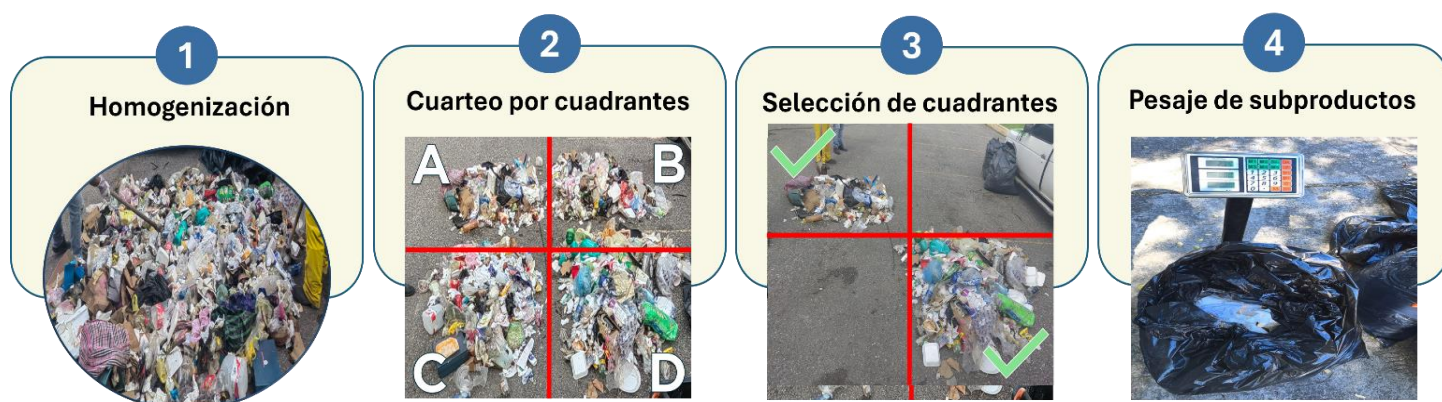
5.3.4 Evaluación del SGA de RSU

5.3.4.1 Caracterización

La caracterización de RSU se realizó mediante la aplicación del método de cuarteo conforme a lo establecido en las normas mexicanas NMX-AA-015-1985 y NMX-AA-022-1985 que establecen como mínimo 50 kg para la individualización, no fijan un tamaño máximo rígido en términos de masa, sino que establece un procedimiento de reducción progresiva mediante cuarteo hasta obtener una muestra manejable y representativa. En este estudio se consideraron dos muestras independientes, 80.8 kg provenientes del servicio público y 128 kg del servicio informal, sumando un total de 208.8 kg de RSU, ver anexo 2 y 3. El muestreo se llevó a cabo en dos periodos distintos del año con el propósito de incorporar la variabilidad temporal asociada a condiciones estacionales y dinámicas de generación de residuos. El ejemplar del servicio de recolección informal fue recolectado en septiembre de 2025 durante la temporada de lluvias (verano–inicio de otoño), caracterizada por un mayor contenido de humedad y posibles variaciones en la composición derivadas de patrones de consumo estacionales. La muestra del servicio público se recolectó en enero de 2026, temporada de invierno, periodo en el que predominan condiciones secas y cambios en la composición de los residuos (Agwe et al., 2025; Lohani et al., 2025). En el caso del recolector público para la ruta 19 se registró un peso de 16,780 kg con carga completa, 10,250 kg tras el vertido de los residuos, correspondiente a una masa neta de 6,530 kg, Figura 5.

Figura 5

Proceso de caracterización de residuos.



La selección y clasificación de subproductos se realizó conforme a la NMX-AA-022-1985, obteniendo una muestra de 190.18 kg distribuido en los subproductos de la tabla 3 y la cuantificación con la ecuación 1.

Tabla 3

Clasificación de subproductos RSU.

Subproductos				
1. Algodón	6. Fibra dura vegetal	11. Loza y cerámica	16. Papel	21. Residuos alimenticios
2. Cartón	7. Fibras sintéticas	12. Madera	17. Pañal desechable	22. Residuos de jardinería
3. Cuero	8. Hueso	13. Material de construcción	18. Plástico rígido y de película	23. Trapo
4. Residuo fino	9. Hule	14. Material ferroso	19. Poliuretano	24. Vidrio de calor
5. Envase de cartón encerado.	10. Lata	15. Material no ferroso	20. Poliestireno expandido	25. Vidrio transparente y otros

$$PS = \left(\frac{G_1}{G} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde, PS = % subproducto considerado; G_1 = Peso en kg del subproducto considerado (descontando el peso de la bolsa); y G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kg).

5.3.4.2 Evaluación al SGA

Para la estimación del SGA se aplicaron los indicadores de la tabla 4.

Tabla 4

La evaluación al SGA con indicadores de sostenibilidad.

Proceso	Indicador	Aplicación
1. Generación	1.1 Residuos sólidos per cápita	450,85 <i>kg/hab/año</i> (1.2 <i>kg/hab/día</i>)
	1.2. Composición por tipo de residuo	46.42% residuos orgánicos 31.55% susceptibles de aprovechamiento 22.03% otros
	1.3. Residuos domiciliarios per cápita	247 <i>kg/hab/año</i>
2. Recolección y transporte	2.1. Cobertura de recolección	79.66%
	2.2 Recolección de residuos per cápita	315.59 <i>kg/hab/año</i>
	2.3. Grado de segregación	0
	2.4. Porcentaje de vehículos que utilizan cualquier combustible renovable	No aplica
	3.1. Tasa de reciclaje de residuos sólidos	4.86%
3. Reciclaje	3.2. Grado de no conformidad con el marco regulatorio	No aplica
	3.3. Consumo de agua	0
	3.4. Uso de la tierra	0
	3.5. Consumo de energía	0
	3.6. Inclusión de los recicladores en el sistema de recogida selectiva (planificación e implementación)	0
	4.1. Cantidad de RSU tratados per cápita	0
4.Tratamiento	4.2. Capacidad total instalada para la producción de energía a partir de fuentes renovables	0
	4.3. Capacidad total de recuperación de material (MRF) per cápita (eliminación o reducción de contaminantes)	0
	4.4. Cantidad total de RSU procesados en una MRF (unidad de recuperación de materiales) per cápita	0
	4.5. Porcentaje del total de RSU recolectados que se tratan en instalaciones de compostaje por año	0
	4.6. Cantidad de residuos generados en las instalaciones de compostaje per cápita	0

5. Disposición final	4.7. Cantidad de fertilizante vendido per cápita (compost)	0
	4.8. Capacidad total de las instalaciones de compostaje per cápita	0
	5.1. Disposición de residuos en vertederos sanitarios y controlados	95.14%
	5.2. Grado de cumplimiento de la norma reguladora ambiental	0
	5.3. Consumo de agua	0
	5.4. Uso de la tierra	0.35 m ² /t
	5.6 Gasto en gestión de residuos per cápita	No aplica
	5.7. Coste total de la recogida de residuos	No aplica
5.8. Costo total de la eliminación del vertedero		MXN 63,081,188.00 anual

Nota: 0 = ausencia de infraestructura o proceso; No aplica = indicadores que no pueden ser evaluados debido a limitaciones conceptuales o metodológicas.

La valoración al SDF de acuerdo a la norma NOM-083-SEMARNAT-2003, Tabla 5.

Tabla 5

Evaluación del SDF.

Información reportada	Grado de cumplimiento	Especificación de la norma
1. SDF ubicado a 14 km de la ciudad ubicación: 17°35'49.0"N 99°29'05.0"W	Cumple	6.1.3 Distancia mínima de 500 m a partir del límite de la traza urbana.
2. Estudio de generación y composición de RSU	No cumple	6.4(a) Se requieren los estudios para proyección de la vida útil del SDF.
3. Estimación de biogás	No cumple	6.4 (b, c) No reporta estimaciones previas de biogás ni de lixiviado.
4. Barrera geológica/impermeabilización	Insuficiente	7.1 No se indican materiales ni parámetros de impermeabilización en celdas.
5. Extracción de biogás: pozos de extracción sin quema	No cumple	7.2 Si no existe sistema de aprovechamiento, la NOM indica la quema del biogás.
6. Área de emergencia operativa	No cumple	7.5 Debe contar con dicha área si alguna eventualidad, desastre natural o emergencia ocurre.
7. Compactación	Insuficiente	7.6 Los SDF de tipo A2, deben realizar una compactación

8. Incendios/fumarolas: Fumarola reportada el 29 de septiembre del 2025 (El Gráfico de Guerrero., 2025).	No cumple	mayor de 600 kg/m^3 . Sin tasa de recepción ni densidad alcanzada no puede confirmarse cumplimiento.
9. Monitoreo ambiental (biogás, lixiviados, acuíferos) y programas de contingencia	Insuficiente	7.2, 7.10 (a) Apunta a generación/migración y control inadecuado del biogás y/o cobertura. 7.10 (a), 7.11-7.11.3 No se reportan programas/planes de contingencia, ni monitoreos periódicos.
10. Inicio de operación: agosto 2017	No cumple	9. La vida útil de un SDF es de 3 años. Lo que sugiere clausura o justificar ampliación.

Capítulo VI. Resultados

El PDMU es un instrumento elaborado en colaboración con la ciudadanía y el Ayuntamiento municipal, cuyo objetivo es ordenar, regular el crecimiento y desarrollo urbano de los municipios, regulado por Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano aplicada a los tres niveles de gobierno federal, estatal y municipal, Artículo 34, fracción IX, la gestión integral de RSU es responsabilidad de las entidades gestionar estos residuos adecuadamente, asegurando su manejo correcto y sustentable para evitar riesgos ambientales y de salud (Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU), 2016). Bajo este esquema el PDMU faculta a los municipios para implementar estrategias operativas alineadas con los objetivos nacionales de sustentabilidad y salud pública. Estrategias que son reguladas por la LGPGIR que indica las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos relacionadas con la protección ambiental respecto a la prevención y manejo integral de RSU. La finalidad de este marco normativo es garantizar a cada individuo el derecho a un medio ambiente saludable y promover el desarrollo sustentable mediante la prevención en la generación de residuos, valorización y manejo integral (LGPGIR, 2003). A nivel estatal la Ley Número 994 De Planeación Del Estado Libre Y Soberano De Guerrero establece la obligatoriedad de un diagnóstico según lo indicado en el artículo 12, inciso a) el PMDU debe integrar al menos 12 áreas de política pública: 1) Gobierno y Población 2) Pobreza y Grupos Vulnerables 3) Administración 4) infraestructura 5) Seguridad Pública y Protección Civil 6) Educación 7) Salud 8) Industria, Comercio y Crecimiento Regional 9) Turismo 10) Desarrollo Rural 11) Medio Ambiente 12) Igualdad entre mujeres y hombres (Ley Número 994 de Planeación Del Estado Libre y Soberano de Guerrero, 2008). Siendo el eje de Medio ambiente donde converge las disposiciones federales y estatales para garantizar que el PDMU se ejecute en cumplimiento con la normatividad mexicana.

A través de la revisión documental del PMDU 2021-2024 del municipio, se identificaron los objetivos, estrategias, y líneas de acción vinculados a la gestión de RSU en la ciudad de Chilpancingo, así como el marco institucional y los principios de sostenibilidad, Tablas 6 y 7.

Tabla 6*Análisis del PMDU.*

Elementos del PMD	Descripción
Objetivo	Fortalecer la capacidad institucional para mejorar las áreas del gobierno, población, pobreza, infraestructura, seguridad, salud, educación, igualdad de género y medio ambiente.
Estrategias	Implementar programas de educación ambiental, modernizar el sistema de recolección y fomentar la participación ciudadana en separación de residuos.
Líneas De Acción	Ejes de desarrollo: 1) Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible: busca garantizar un crecimiento ordenado del territorio con base en criterios de sostenibilidad y bienestar para los habitantes, incluyendo la conservación del medio ambiente y la infraestructura urbana adecuada. 2) Movilidad y Espacio Público: Enfocado en mejorar la movilidad sustentable y crear más espacios públicos que beneficien a los ciudadanos, a través de la optimización de la infraestructura vial y el uso adecuado del suelo. 3) Gestión Integral de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente: Incluye estrategias para el manejo adecuado de los residuos sólidos, agua potable, y la protección ambiental en áreas vulnerables del municipio. 4) Prosperidad Económica con Equilibrio Sustentable: Se centra en impulsar el desarrollo económico sin comprometer los recursos naturales, promoviendo un crecimiento que integre el bienestar social y económico con un respeto al entorno natural y sus recursos.

Tabla 7*Normatividad aplicable en la gestión de RSU.*

Marco institucional	Descripción
LGPGIR	Establece principios, competencias y responsabilidades de los tres órdenes de gobierno.
NOM-083-SEMARNAT-2003	Regula las condiciones técnicas y ambientales de los rellenos sanitarios y sitios de disposición final; Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
NMX-AA-015-1985	Residuos sólidos urbanos – Selección y cuantificación; establece procedimientos para selección y cuantificación de residuos sólidos.
NOM-AA-022-1985	Residuos sólidos urbanos – Procedimiento para la obtención de la muestra; define la metodología para obtener muestras representativas de residuos sólidos urbanos.

En el ámbito ambiental, los sistemas de gestión adquieren un enfoque especializado. Por tanto, un SGA debe incluir una estructura organizativa, responsabilidades, procedimientos, prácticas, procesos y los recursos necesarios para desarrollar, implementar, revisar y mantener la política ambiental de una organización (ISO 14001:2015(Es), 2015).

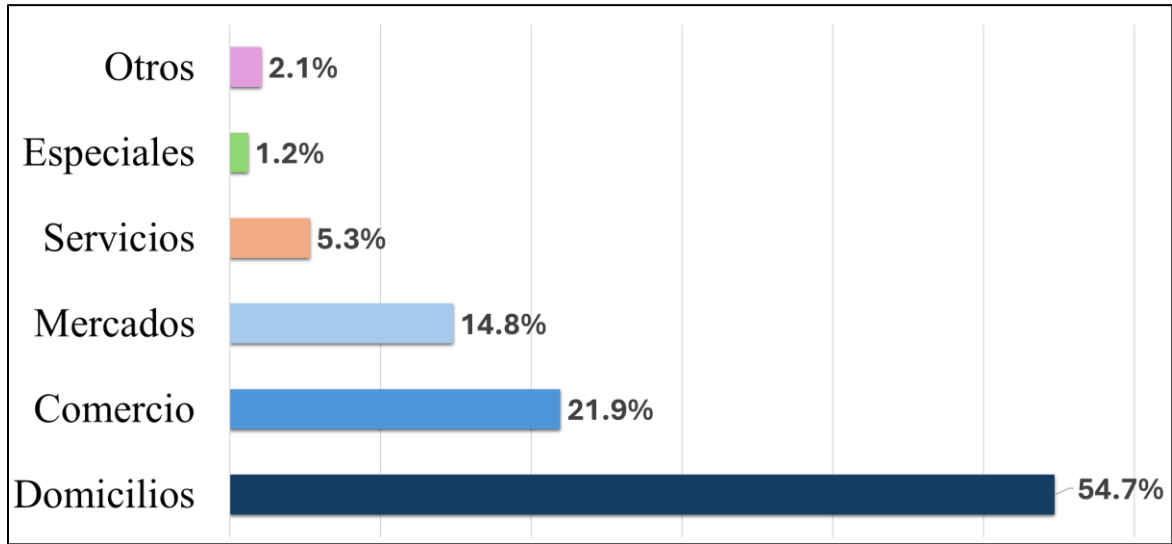
El SGA municipal presenta deficiencias en los procesos de recolección, transporte, depósito, tratamiento, aprovechamiento de los productos valorizables, parque vehicular, participación ciudadana y cuidado del medio ambiente, los datos obtenidos fueron tabulados para permitir un contraste directo entre lo planificado por el municipio y la realidad operativa del sistema evaluado en las etapas posteriores. El análisis identificó el proceso representado en la Figura 6.

Figura 6
Fases del SGA de Chilpancingo, Gro., México.



Referente a la generación de RSU, la ciudad genera en promedio 350 toneladas de basura al día, aproximadamente 1.2 kg por persona, Figura 7.

Figura 7
Generación de RSU en Chilpancingo, Gro., México.



El servicio de recolección es calle por calle sectorizado en 24 rutas con 30 camiones municipales (15 propios y 15 en renta), aproximadamente 170 camionetas independientes denominadas “La basura jefa” que reciben cooperación voluntaria, Figura 8, Tablas 8 y 9.

Figura 8

Rutas de recolección.

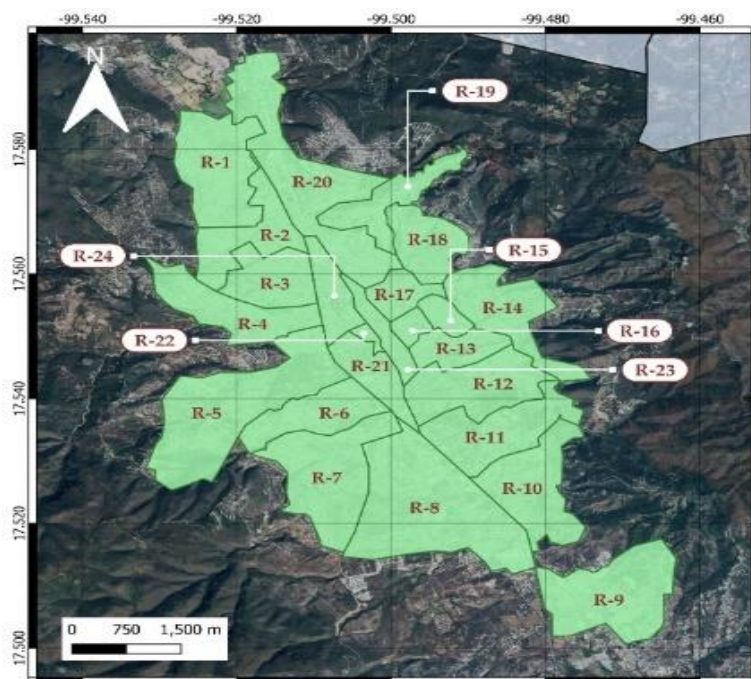


Tabla 8

Características del parque Vehicular del municipio.

Vehículo	Cantidad	Capacidad de Carga (ton)	Modelo
Camión Tipo Volteo	6	3.5	0
Camioneta Nissan redilla	1	1.5	2015
Volteo de 6 m ³ Internacional	1	4.5	2003
Pipa de 7,000 L	1	7,000 litros	1995
Camiones compactadores	5	8	0
Camión Ford Ranger	1	0.750	2009
Camión de caja FOTON (renta)	1	3.5	2021
Camión compactador de caja trasera (renta)	14	10	2021

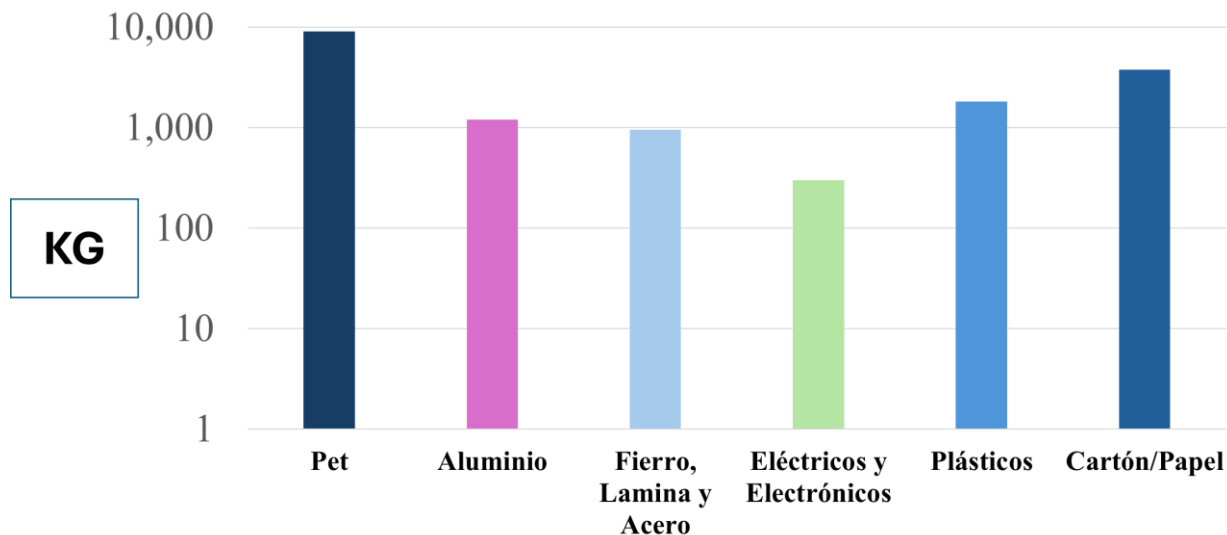
Tabla 9*Servicio de Recolección.*

Servicio de Recolección	Ton	%
Públicos Municipales	245	70
Informal “La Basura Jefa”	88	25
Pepenadores	17	5
Total	350	100

En la ciudad de Chilpancingo no existen estaciones de transferencia o plantas de tratamiento de RSU, carece de recolección selectiva, siendo los trabajadores y pepenadores quienes independientemente separan en su mayoría pet, cartón, papel, entre otros, y sólo 4.86% de RSU son trasladados a empresas particulares, Figura 9.

Figura 9

Clasificación de RSU reciclados.



La disposición final se lleva a cabo en el predio denominado “El Huiteco”, anexo 1, tipo A con superficie 4.5 hectáreas, tres celdas con sistema de impermeabilización de geomembrana, cobertura diaria de tratamiento y un parque vehicular; propiedad del H. Ayuntamiento municipal, ubicado al norte de la ciudad, Tablas 10 y 11, Figuras 10 y 11.

Tabla 10*Características de las celdas del SDF.*

Celda	Superficie (m ²)	Profundidad (m)	Estado
1	11,000	30	Cerrada
2	14, 748.09	30	En proceso de cobertura
3	7, 165.83	30	En funcionamiento con orden de clausura

Tabla 11*Características del parque vehicular para el SDF.*

Vehículo	Cantidad	Capacidad de carga
Camión De Volteo	2	7 m ³
Excavadora De 32d Caterpillar	1	21,450 kg
Tractor Caterpillar 6r	1	18,000 kg
Retroexcavadora Caterpillar	1	-
Pipa De Agua	1	20, 000 L
Total	6	

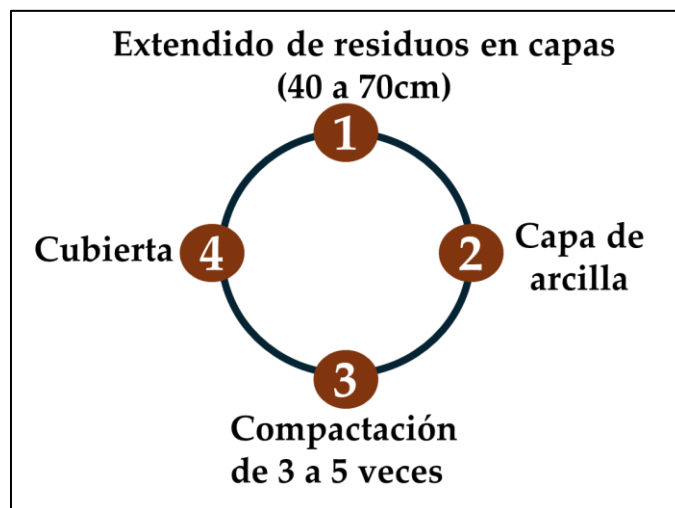
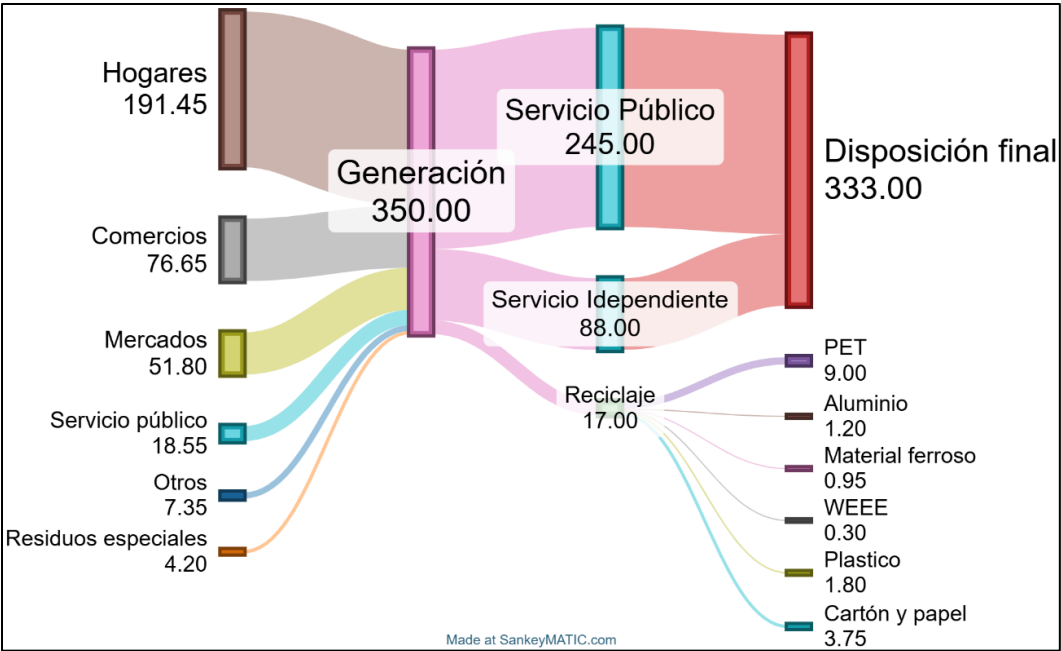
Figura 10*Proceso del tratamiento de RSU.*

Figura 11

Flujo del manejo de MSW en Chilpancingo de los Bravo (t/día). Fuente (Castro-Bello et al., 2026).



Con respecto a los costos anuales, el municipio destina a la recolección y manejo del SDF, Tabla 12.

Tabla 12

Costos de operación anual.

Concepto	Monto
Recolección	\$54,413,520.00
Manejo del SDF	\$8,668,668.00
Total	\$63,082,188.00

La evaluación del SGA caracterizó, Tabla 13.

Tabla 13

Caracterización de RSU camión recolector del servicio público. Fuente (Castro-Bello et al., 2026).

Subproducto	Servicio Público PS (%)	Servicio independiente PS (%)	Subproducto	Servicio Público PS (%)	Servicio independiente PS (%)
Cartón / Envase de cartón encerado	6.65	9.61	Pañal desechable	6.63	2.86
Residuo fino	2.22	0.78	Plásticos (PET, duros, película, envolturas)	10.98	53.80
Textil / Fibras sintéticas / Trapo	4.58	1.29	Plásticos espumados (poliuretano, unicel)	1.17	2.36
Metales (ferrosos, no ferrosos, aluminio, lata)	2.84	4.13	Orgánicos (alimentos, heces)	36.63	3.33
Loza y cerámica	1.69	0	Vidrio	6.15	6.66
Madera	4.71	2.36	Residuos electrónicos	3.25	0
Papel (incluye sanitario)	7.71	5.25	Residuos peligrosos	0.94	4.89
			Inorgánico no reciclable / Basura común	3.85	2.70

Los indicadores de sostenibilidad, destacan que el municipio no considera el total de ellos, debido a que no cuenta con toda la infraestructura en el proceso de recolección, tratamiento, reciclaje y disposición final, Tabla 14.

Tabla 14*Indicadores municipales.*

Proceso del SGA	Indicador	Evaluación del indicador municipal
1. Generación	1.1 Residuos sólidos per cápita	1.2 kg/hab/día (450.85 kg/hab/año)
	1.2. Composición por tipo de residuo	46.42% orgánicos, 31.55% de aprovechables y 22.03% otros
	1.3. Residuos domiciliarios per cápita	247 kg/hab/año
2. Recolección y transporte	2.1. Cobertura de recolección	79.66%
	2.2 Recolección de residuos per cápita	315.59 kg/hab/año
3. Reciclaje	3.1. Tasa de reciclaje de residuos sólidos	4.86%
5. Disposición final	5.1. Disposición de residuos en vertederos sanitarios y controlados	95.14%
	5.4. Uso de la tierra	0.35 m ² /t
	5.8. Costo total de la eliminación del vertedero	MXN 63,082,188.00 anual

Otro aspecto a destacar, es el resultado de la evaluación del grado de cumplimiento de los parámetros del SDF conforme a la norma NOM-083-SEMARNAT-2003, de diez parámetros evaluados, el 10% cumplen con la especificación normativa, 40% parcialmente y 50% presentaron incumplimiento. Las cuantificaciones más críticas observadas en la Tabla 10, son el control del biogás (parámetro 3, 5 y 8), monitoreo ambiental y de contingencia (parámetro 9) incumplen los numerales 7.2, 7.10 y 7.11 de la norma. Así mismo, el inicio de operación en 2017 (parámetro 10) y la ausencia de justificación técnica para su ampliación sugieren que el sitio ha superado su vida útil normativa de tres años. Por otra parte, los criterios de barrera geológica (parámetro 4) y compactación (parámetro 7) mostraron un grado de cumplimiento insuficiente, dado que, no se dispone de información verificable sobre materiales impermeabilizantes, ni sobre densidades de compactación superiores a 600 kg/m³ según la norma para los SDF tipo A2. Respecto al criterio de ubicación geográfica (parámetro 1) el SDF se ubica a 14 km del área urbana, superando el mínimo de 500 m establecido en el numeral 6.1.3.

Capítulo VII. Discusión

La evaluación del SGA de RSU en Chilpancingo permitió identificar su composición, manejo, hábitos de consumo de la población y las deficiencias estructurales del sistema. El SGA se conforma por los procesos de generación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final, diseño que contrasta con modelos de gestión que considera la segregación en origen, cuantificación y pesaje, aprovechamiento de materiales recuperables, tratamiento térmico (incineración), recuperación energética, y monitoreo ambiental estudiado por (Meena et al., 2023) en India; Mondal y Mandal (2024) quienes reportan un SGA con capacidades operativas identificadas como el monitoreo geoespacial, evaluación de recursos operativos y control de sitios de disposición ilegal en Rampurhat, India; y Sund et al. (2025) identificaron fases adicionales de cuantificación real de la generación, análisis ambiental y económico de ciclo de vida de RSU, evaluación de la sustitución material y energética, revelando una brecha significativa frente al alcance del SGA municipal del marco europeo propuesto.

La caracterización se realizó conforme la norma mexicana NMX-AA-022-1985 que establece el método de cuarteo, en contraste con Hemali et al. (2024) quienes aplican una metodología basada en volumen estándar de $1m^3$. Referente a la clasificación de subproductos, esta investigación tipificó 25, mientras que Lepota et al. (2025) clasificaron solamente 10 en un estudio sudafricano. Los resultados mostraron 54% (plásticos, papel, vidrio y metal) y 16% Orgánicos (alimentos, heces, hueso), lo que coincide parcialmente con lo obtenido por Triassi et al. (2023) quienes caracterizaron 53.5% (plásticos, papel, vidrio y metales) y 11.9% del residuo es orgánico. Otro aspecto a destacar es la evidencia significativa de material biodegradable para compostaje, falta de separación en la fuente, mezcla de residuos peligrosos y sanitarios, en contraste con Triassi et al. (2023) quienes reportan que los residuos biodegradables (orgánicos) del área rural de Italia se destinan a compostaje aeróbico en la planta de Teora y los urbanos en la planta de trituración y embalaje de Avellino. El marcado contraste en la composición de RSU entre el servicio público y el servicio independiente responde principalmente a diferencias en cómo operan cada esquema de recolección. El servicio público capta residuos domiciliarios mezclados con predominancia de fracción orgánica derivada de actividades alimentarias, patrón consistente

con lo documentado en contextos urbanos por Noman et al. (2023b). En cambio, el servicio independiente opera bajo una lógica de valorización económica, sus operadores priorizan la recuperación selectiva de materiales reciclables de alto valor especialmente plásticos, actuando como un filtro previo dentro de la cadena de gestión. Por tanto, las diferencias observadas no reflejan variaciones en la generación de residuos por sí solos, sino la coexistencia de dos circuitos con objetivos distintos, uno orientado a la recolección masiva de residuo no valorizado, y otro enfocado en la recuperación de materiales con valor económico.

La aplicación de indicadores evidencia la practicidad para monitorear el desempeño y alcance de un SGA, lo que coincide con (Andrade et al., 2025; Santos et al., 2024; Lepota et al., 2025; Lubello et al., 2025) quienes también los utilizaron en las evaluaciones de SGA. Referente a la ausencia estructural de indicadores relacionados con reciclaje, tratamiento, eficiencia operativa, consumo de energía, emisiones o desempeño del servicio, el estudio consideró 28, únicamente 11 fueron aplicables, mientras que (Santos et al., 2024) utilizaron 62 de 151.

Referente al cobro de servicios por manejo integral de residuos, destino de la operación y fortalecimiento de los mismos establecidos en la normatividad de acuerdo con LGPGIR, artículo 10, fracción XI, se identificó la ausencia de tarifas e incentivos fiscales, elementos que constituyen una debilidad estructural del SGA, donde menos del 5% de RSU es reciclado. Hallazgos que contrastan con lo reportado por Tumu et al. (2023) quienes analizaron las políticas de responsabilidad extendida del productor, documentando que las jurisdicciones con marcos normativos alcanzan tasas de reciclaje de plástico entre 25-45% y reducen la disposición de rellenos a menos del 40% del total generado. Por tanto, se confirma que los distintos enfoques de la sostenibilidad de los SGA, no sólo depende de la infraestructura, sino de la capacidad institucional para medir, comparar y corregir el desempeño, reafirmando que su evaluación integral es una base de su desempeño para consolidar políticas públicas de economía circular, trazabilidad y cumplimiento normativo.

Capítulo VIII. Conclusiones

El análisis del SGA de RSU en Chilpancingo, Gro., México revela que, de 28 indicadores de sostenibilidad utilizados en ciudades de mediano y gran tamaño, sólo 32% fueron aplicables para cuantificar los procesos de generación (generación per cápita de residuos sólidos (1.1), composición por tipo de residuo (1.2), generación per cápita de residuos domiciliarios (1.3); recolección y transporte (cobertura del servicio de recolección (2.1), residuos recolectados per cápita (2.2)); reciclaje (tasa de reciclaje de residuos sólidos (3.1)); y disposición final (disposición de residuos en rellenos sanitarios y controlados (5.1), uso de suelo (5.4) y costo total de disposición en relleno sanitario (5.8)). En contraste con los indicadores que no pudieron ser evaluados debido a la ausencia de información, particularmente en dimensiones de eficiencia operativa, recuperación de materiales, consumo energético, control de emisiones y monitoreo ambiental. Este hallazgo implica una limitación estructural del sistema, ya que el municipio carece de información suficiente para monitorear más de la mitad de los aspectos críticos de su SGA, limitando severamente la toma de decisiones basada en evidencia y el cumplimiento de la LGPGIR y la NOM-083-SEMARNAT-2003.

La evaluación de indicadores de sostenibilidad son una herramienta útil para medir y comparar el rendimiento de SGA, detectar fallas o posibles mejoras en cada una de sus etapas que garanticen el cumplimiento integral de la gestión de RSU. La caracterización y clasificación de subproductos es importante, debido a la valorización de residuos para reciclar, compostar o aprovecharlos, evitando que lleguen directo al relleno sanitario causando contaminación y enfermedades. Bajo el enfoque de Residuos Cero, es imperativo que los municipios prioricen la prevención, reducción, reutilización y recuperación de materiales en cada etapa del ciclo de vida de los residuos en el marco de la LGPGIR, además de implementar programas municipales que permitan una transición de un esquema operativo dependiente del gasto público a uno autofinanciado y circular, reduciendo la carga del SDF mejorando la eficiencia del SGA.

Este estudio propone cuatro estrategias basadas en los hallazgos obtenidos bajo el enfoque de Residuo Cero: 1. Aprovechamiento de la fracción orgánica mediante compostaje descentralizado en las colonias, debido a que el servicio público concentra el 33.64% sin tratamiento, lo que reduciría el volumen enviado a disposición final, generando un producto

comercializable como mejorador de suelos contribuyendo al autofinanciamiento del sistema;

2. Separación en origen y recuperación formal de materiales reciclables con 54% de la caracterización, su valorización depende de recicladores informales quienes realizan la recuperación selectiva sin regulación ni beneficio para el sistema;
3. Captación y aprovechamiento de biogás en el SDF a través de sistemas de captación, reduciendo emisiones de metano, mitigando el impacto ambiental del sitio logrando ingresos a través de la valorización energética contribuyendo al autofinanciamiento del sistema; y
4. Implementación de un marco financiero e institucional con tarifas e incentivos. A pesar de estar contemplada en la LGPGIR constituye una barrera estructural impidiendo la sostenibilidad de cualquier mejora operativa, evidenciando que la transición hacia residuo cero requiere tanto infraestructura física como mecanismos financieros que incentiven el desvío de residuos del SDF, sentando bases para futuras líneas de investigación centradas en la gestión integral de SGA municipales, además de aplicar metodologías que evalúan la viabilidad técnica y económica del compostaje descentralizado y la captación de biogás en el SDF de Chilpancingo. Así como un sistema de indicadores adaptados a municipios mexicanos de ingreso medio con déficit de información, análisis de modelos de tarifas e incentivos compatibles con la normatividad mexicana que permitan transitar hacia un SGA autofinanciado y circular.

Capítulo IX. Referencias

- Aguilera Flores, M. M., Flores Aparicio, J. A., Ortiz Gutiérrez, F., Ávila Vázquez, V., Rodríguez Martínez, Y. Y., Chávez Soto, M. J., & Villegas Cuevas, U. A. (2025). Design of a Strategy to Provide the Collection Service of Urban Solid Waste in Communities Without IT: A Case Study of Mexico. *Urban Science*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/urbansci9090347>
- Agwe, T. M., Twesigye-omwe, M. N., Ukundimana, Z., Rotimi, D., & Gupta, S. (2025). Effects of seasonal variations of the physio-chemical properties of municipal solid waste on effective materials and resources recovery. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87780-4>
- Andrade, M. Á., Braga, R. M. Q. L., Tavares, A. de N., & Marques, R. C. (2025). The Use of Indicators in the Regulation of Municipal Solid Waste Management: A Bibliometric Analysis (2004–2024). *Sustainability (Switzerland)*, 17(4). <https://doi.org/10.3390/su17041348>
- Banobras / Fonadin. (2026, March). *Residuos Sólidos – Proyectos México*. <https://www.proyectosmexico.gob.mx/como-invertir-en-infraestructura-en-mexico/ciclo-inversion/residuos-solidos/>
- Bhumkittipich, P., Iamsomboon, N., Siramaneerat, I., Mueangmin, C., & Bhumkittipich, K. (2025). Competency-Based Environmental Governance for Zero-Waste Communities Using a Novel ARUN Model. *Environments - MDPI*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/environments12120453>
- Carmen-Niño, V. Del, Herrera-Navarrete, R., Juárez-López, A. L., Sampedro-Rosas, M. L., & Reyes-Umaña, M. (2023). Municipal Solid Waste Collection: Challenges, Strategies and Perspectives in the Optimization of a Municipal Route in a Southern Mexican Town. *Sustainability (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/su15021083>
- Castro-Bello, M., Peralta-Rojo, D., Marmolejo-Vega, C. V., Morales-Morales, C., Angeles-Herrera, D., Barcenas-Nava, A., Zagal-Barrera, S. R., & Evangelista-Alcocer, Y. (2026). Sustainability Indicators for Evaluating a Municipal Solid Waste Management System. *Environments*, 13(4), 222. <https://doi.org/10.3390/environments13040222>
- Dada, A., Katarina Stanoevska-Slabeva, & Jorge Marx Gómez. (2013). *Organizations' Environmental Performance Indicators*. *Environmental Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-32720-9>

- Derdera, S. E., & Ogato, G. S. (2023). Towards integrated, and sustainable municipal solid waste management system in Shashemane city administration, Ethiopia. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21865>
- Deus, R. M., Mele, F. D., Bezerra, B. S., & Battistelle, R. A. G. (2020). A municipal solid waste indicator for environmental impact: Assessment and identification of best management practices. *Journal of Cleaner Production*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118433>
- El Gráfico de Guerrero. (2025, September 30). Controlan fumarola en el basurero municipal de Chilpancingo. *El Gráfico de Guerrero*. <https://graficodeguerrero.com.mx/controlan-fumarola-en-el-basurero-municipal-de-chilpancingo/>
- Escamilla-García, P. E., Ángeles-Tovar L.C., Pérez-Soto, Francisco., & Rivera-González, G. (2024). Los Residuos Sólidos Urbanos, afectaciones ambientales y sociales: Una revisión crítica. *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, 16, 129–145. <https://doi.org/10.1007/978>
- Eshete, A., Haddis, A., & Mengistie, E. (2024). Investigation of environmental and health impacts solid waste management problems and associated factors in Asella town, Ethiopia. *Heliyon*, 10(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28203>
- Etim, E., Tashi Choedron, K., & Ajai, O. (2024). Municipal solid waste management in Lagos State: Expansion diffusion of awareness. *Waste Management*, 190, 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.09.032>
- García, A., & Adame, S. (2025). Evaluación del estado actual del manejo de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 27(1), 199. <https://doi.org/10.36677/qret.v27i1.23459>
- Hemali, N. A., De Alwis, A. A. P., Wijesundara, M., & Edirisinghe, L. G. L. M. (2024). A method for determining the recycling value of unprocessed municipal solid waste in one cubic meter waste composition analysis technique. *MethodsX*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102626>
- ISO 14031:2021(en), *Environmental management — Environmental performance evaluation — Guidelines*. (n.d.). Retrieved March 24, 2026, from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14031:ed-3:v1:en>
- ISO 14001:2015(es), *Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso*. (n.d.). Retrieved December 15, 2025, from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>

- Jacintos Nieves, A., & Delgado Ramos, G. C. (2023). Advancing the Application of a Multidimensional Sustainable Urban Waste Management Model in a Circular Economy in Mexico City. *Sustainability (Switzerland)*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/su151712678>
- Kang, Y. O., Yabar, H., Mizunoya, T., & Higano, Y. (2023). Environmental and economic performances of municipal solid waste management strategies based on LCA method: A case study of kinshasa. *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14372>
- Lepota, K., Premllall, K., & Mabuza, M. (2025). Compositional Analysis of Municipal Solid Waste from Tshwane Metropolitan Landfill Sites in South Africa for Potential Sustainable Management Strategies. *Waste*, 3(3), 22. <https://doi.org/10.3390/waste3030022>
- Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU) (2016).
- LEY GENERAL DE ECONOMÍA CIRCULAR (2026). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEC.pdf>
- LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS, Pub. L. DOF 08-05-2023, Diario Oficial de la Federación (DOF). (2003). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- Ley Número 994 de Planeación Del Estado Libre y Soberano de Guerrero (2008).
- Lohani, A., Bista, B., Mahato, A. B., Khanal, A. J., Dulal, B., Tripathi, B. R., Karki, K., Gurung, S. B., Kafle, S., & Karki, B. K. (2025). Seasonal variation in solid waste composition and characteristics in a newly formed semi-urban municipality of Nepal. *Cleaner Waste Systems*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100228>
- Lubello, C., Fiaschi, S., & Notari, G. (2025). Municipal solid waste composition and efficiency of separate collection: A case study in Italy. *Cleaner Waste Systems*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100272>
- Meena, M. D., Dotaniya, M. L., Meena, B. L., Rai, P. K., Antil, R. S., Meena, H. S., Meena, L. K., Dotaniya, C. K., Meena, V. S., Ghosh, A., Meena, K. N., Singh, A. K., Meena, V. D., Moharana, P. C., Meena, S. K., Srinivasarao, C., Meena, A. L., Chatterjee, S., Meena, D. K., ... Meena, R. B. (2023). Municipal solid waste: Opportunities, challenges and management policies in India: A review. In *Waste Management Bulletin* (Vol. 1, Number 1, pp. 4–18). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.04.001>
- Mondal, S., & Mandal, B. (2024). Assessment of urban solid waste management in a Class II Indian city using geospatial and statistical approaches: A case study of

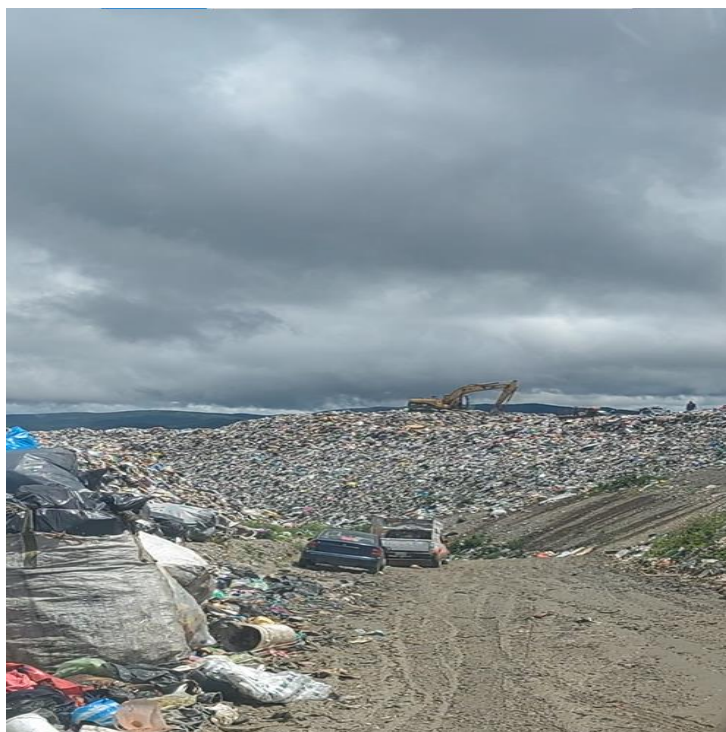
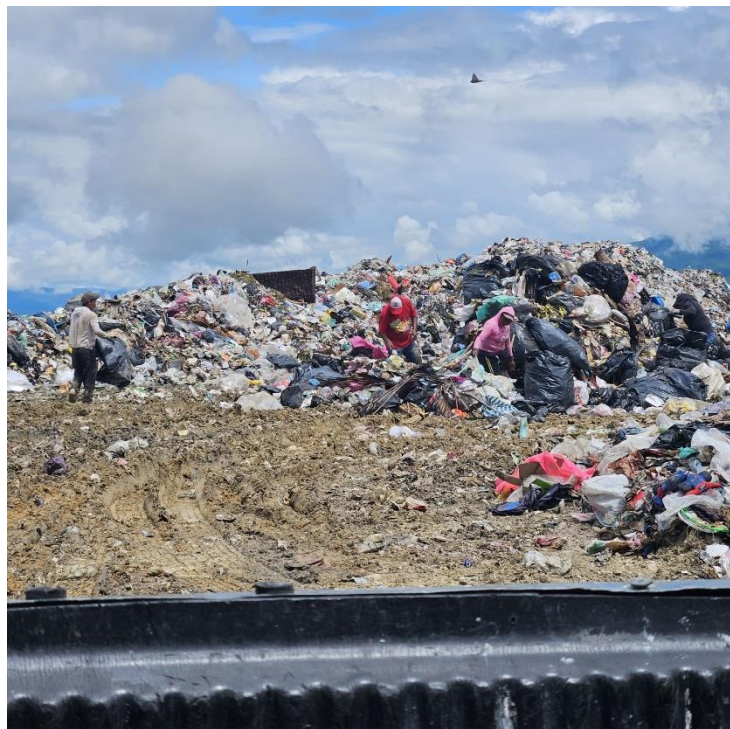
- Rampurhat municipality. *Waste Management Bulletin*, 1(4), 74–92. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.09.003>
- Noman, A. A., Rafizul, I. M., Moniruzzaman, S. M., Kraft, E., & Berner, S. (2023a). Assessment of municipal solid waste from households in Khulna city of Bangladesh. *Heliyon*, 9(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22446>
- Noudeng, V., Pheakdey, D. V., Minh, T. T. N., & Xuan, T. D. (2024). Municipal Solid Waste Management in Laos: Comparative Analysis of Environmental Impact, Practices, and Technologies with ASEAN Regions and Japan. In *Environments - MDPI* (Vol. 11, Number 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/environments11080170>
- Oliveira, J. P., Pessoa, F. L. P., Mehl, A., Alves, F. C., & Secchi, A. R. (2024). Sustainability Indicators to MSW Treatment Assessment: The Rio de Janeiro Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/su16177445>
- ONU-Habitat. (2022). *Recolectar y eliminar residuos de manera eficiente*. <https://Onu-Habitat.Org/Index.Php/Recolectar-y-Eliminar-Residuos-de-Manera-Eficiente?Highlight=WyJnZXN0aVx1MDBmM24iLCJkZSIzInJlc2lkdW9zIl0=.https://onu-habitat.org/index.php/recolectar-y-eliminar-residuos-de-manera-eficiente?highlight=WyJnZXN0aVx1MDBmM24iLCJkZSIzInJlc2lkdW9zIl0=>
- OPS, O. (n.d.). *Residuos sólidos*. Retrieved April 22, 2026, from <https://www.paho.org/es/temas/residuos-solidos>
- Ouedraogo, A. S., Kumar, A., Frazier, R., & Sallam, K. A. (2024). Comparative Life Cycle Assessment of Landfilling with Sustainable Waste Management Methods for Municipal Solid Wastes. *Environments - MDPI*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/environments11110248>
- Rada, E. C., IONESCU, G., Fabio CONTI, F. C., CIOCA, L. I., & Torretta, V. (2018). *Energy from Municipal Solid Waste: Some Considerations on Emissions and Health Impact*. https://www.researchgate.net/profile/Vincenzo-Torretta/publication/329251579_Energy_from_Municipal_Solid_Waste_Some_Considerations_on_Emissions_and_Health_Impact/links/5c8f4b1992851c1df9481a6c/Energy-from-Municipal-Solid-Waste-Some-Considerations-on-Emissions-and-Health-Impact.pdf
- Rueda-Avellaneda, J. F., Rivas-García, P., Gomez-Gonzalez, R., Benitez-Bravo, R., Botello-Álvarez, J. E., & Tututi-Avila, S. (2021). Current and prospective situation of municipal solid waste final disposal in Mexico: A spatio-temporal evaluation. *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.rset.2021.100007>

- Santos, E., Fonseca, F., Santiago, A., & Rodrigues, D. (2024). Sustainability Indicators Model Applied to Waste Management in Brazil Using the DPSIR Framework. *Sustainability (Switzerland)*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/su16052192>
- Sharma, A., Ganguly, R., & Gupta, A. K. (2023). Life cycle assessment of municipal solid waste generated from hilly cities in India – A case study. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21575>
- Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attiya, W. A. K. A. (2022). An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research* 29:39, 29(39), 58514–58536. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-21578-Z>
- Sierra Puentes, M. C., Puerto-Rojas, E. M., Correa-Galindo, S. N., & Aristizábal Cuellar, J. A. (2025). Using Community-Based Social Marketing to Promote Pro-Environmental Behavior in Municipal Solid Waste Management: Evidence from Norte de Santander, Colombia. *Environments - MDPI*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/environments12080262>
- Silva-Filho, C. R., Appelqvist, B., & Woolridge, A. (2021). *EL FUTURO DEL SECTOR DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS TENDENCIAS, OPORTUNIDADES Y OBJETIVOS PARA LA DÉCADA* (M. Soledad Garavelli, Tran.). <https://www.iswa.org/wp-content/uploads/2022/02/ISWA-2021e-Future-of-the-Waste-Management-Sector-Spanish.pdf>
- Singh, D. J., Dikshit, A. K., Dangi, M. B., Tchobanoglous, G., & Kumar, S. (2025). Performance analysis of municipal solid waste management using technical indicators. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100693>
- SNIARN. (2024, August 30). *Bases de datos estadísticos, cartográficas y documentales que recopilan, organizan y difunden la información sobre los recursos naturales*. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales>
- Sund, J. H., Albizzati, P. F., Scheutz, C., & Tonini, D. (2025). Comprehensive assessment of environmental and economic impacts of the entire EU waste management system. *Waste Management*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.114910>
- Triassi, M., De Simone, B., Montuori, P., Russo, I., De Rosa, E., Di Duca, F., Crivaro, C., Cerullo, V., Pontillo, P., & Díez, S. (2023). Determination of Residual Municipal Solid Waste Composition from Rural and Urban Areas: A Step toward the Optimization of a Waste Management System for Efficient Material Recovery. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/su151813378>

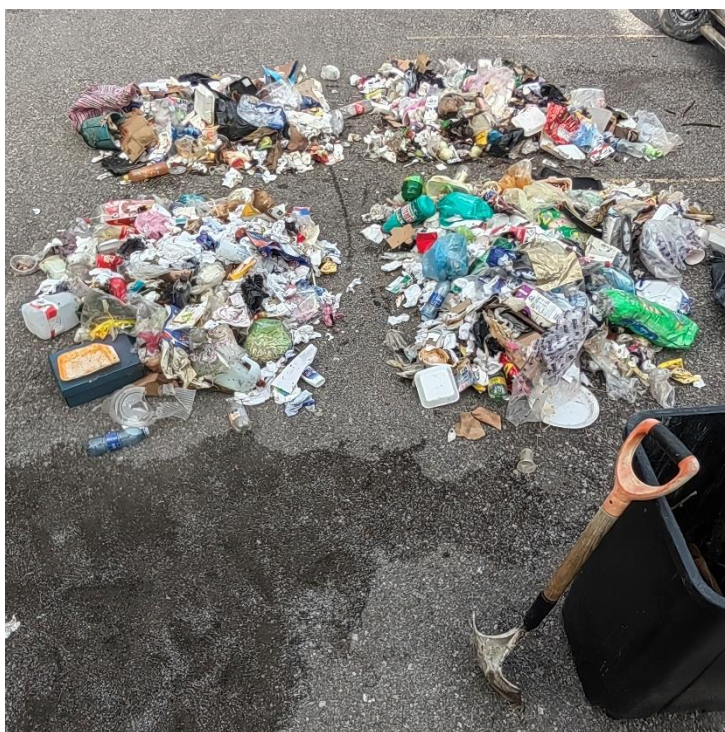
- Tumu, K., Vorst, K., & Curtzwiler, G. (2023). Global plastic waste recycling and extended producer responsibility laws. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 348). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119242>
- United Nations Environment Programme. (2024). *Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste Turning rubbish into a resource*. <https://doi.org/https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44939>
- Volsuuri, E., Owusu-Sekyere, E., Zarouk Imoro, A., & Napoleon Bellua, S. (2023). Assessing the efficiency of solid waste collection services in urban Ghana. *Waste Management Bulletin*, 1(3), 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.06.001>
- Yuan, Q., & Zoungrana, A. (2025). Systematic review of environmental and human health risk assessments in municipal solid waste management. In *Discover Sustainability* (Vol. 6, Number 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01544-8>

X. Anexos

Anexo 1. Evidencia de visita al relleno sanitario, ubicado en el predio denominado “El Huiteco”.



Anexo 2. Evidencia de caracterización al servicio independiente.



Anexo 3. Evidencia de caracterización al servicio público.

