

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA

CARRERA DE ECONOMÍA

Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de Economista

Tema:

"Eficiencia económica y ambiental del sistema de recolección de desechos sólidos domésticos en Ambato"

Autor: Urbina Caicedo Pablo Andrés

Tutor: Dr. Mantilla Falcón, Luis Marcelo, Mg.

Ambato – Ecuador
2026

APROBACIÓN DEL AUTOR

Yo, Dr. Luis Marcelo Mantilla Falcón Mg. con cédula de identidad N$_o$. 0501648521, en mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el tema: **"EFICIENCIA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN AMBATO"**, desarrollado por Pablo Andrés Urbina Caicedo, de la Carrera de Economía, modalidad presencial, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos, tanto técnicos como científicos y corresponde a las normas establecidas en el Instructivo del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por los profesores calificadores designados por el H. Consejo Directivo de la Facultad.

Ambato, Junio 2026

TUTOR

.....

Dr. Luis Marcelo Mantilla Falcón Mg.

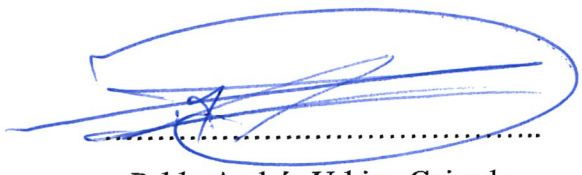
C.I. 0501648521

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Andrés Urbina Caicedo con cédula de identidad N°. 0804171130, tengo a bien indicar que los criterios emitidos en el Proyecto de Investigación, bajo el tema: **"EFICIENCIA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN AMBATO"**, también los contenidos presentados, ideas, análisis, síntesis de datos, conclusiones, son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este Proyecto de Investigación.

Ambato, Junio 2026

AUTOR



Pablo Andrés Urbina Caicedo

C.I. 0804171130

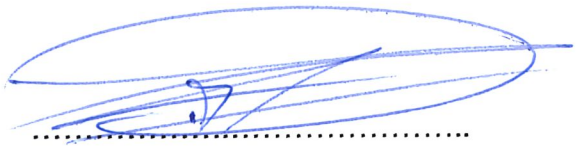
DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto de Investigación, con fines de difusión pública; además apruebo la reproducción de este Proyecto de Investigación, dentro de las regulaciones de la universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial; y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio 2026

AUTOR



Pablo Andrés Urbina Caicedo

C.I. 0804171130

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

El Tribunal de Grado, aprueba el Proyecto de Investigación, sobre el tema: **"EFICIENCIA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN AMBATO"**, elaborado por Pablo Andrés Urbina Caicedo estudiante de la Carrera de Economía, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Facultad de Contabilidad y Auditoría de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Junio 2026

Dr. Carlos Alberto Barreno Córdova, Mg.
PRESIDENTE

Econ. Nelson Rodrigo Lascano Aimacaña, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Edison Roberto Valencia Núñez, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente de sabiduría a lo largo de este camino. Gracias por iluminar cada uno de mis pasos, brindarme la perseverancia necesaria en los momentos de dificultad y permitirme alcanzar esta meta, fruto de años de esfuerzo, dedicación y constancia.

A mis padres, Pablo Fernando y Beatriz, por su amor incondicional, sus sacrificios, sus enseñanzas y el apoyo constante que me han brindado durante toda mi vida. Gracias por inculcarme valores y principios que han guiado mi formación. Este logro también les pertenece, pues han sido el pilar fundamental de mi crecimiento y el ejemplo que me ha motivado a seguir adelante y superar cada desafío.

A mi compañera de vida y mejor amiga, Keila Millán, por caminar a mi lado durante este importante capítulo de mi vida. Gracias por tus palabras de aliento cuando más las necesité, por celebrar conmigo cada avance y por afrontar juntos los desafíos que surgieron en el camino. Este logro también guarda parte de tu apoyo, paciencia y dedicación.

A mi familia y amigos, por su cariño, respaldo y confianza. Gracias por acompañarme a lo largo de este camino, por sus consejos, palabras de ánimo y por creer siempre en mis capacidades.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por concederme la vida, la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación profesional. Su guía ha sido fundamental en cada paso de este camino.

A mis padres, por su trabajo incansable, sus enseñanzas y el respaldo brindado durante cada etapa de mi vida. Su ejemplo de responsabilidad, perseverancia y compromiso ha sido una fuente permanente de inspiración.

A mi novia, Keila, por su comprensión, confianza y apoyo incondicional durante este proceso. Su compañía y motivación fueron fundamentales para mantenerme firme en la consecución de esta meta.

A mi familia y amigos, por su cariño, sus palabras de aliento y su apoyo permanente a lo largo de mi formación académica.

A la Universidad Técnica de Ambato, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en la carrera de Economía, contribuyendo significativamente a mi crecimiento académico y personal.

A todos mis docentes, quienes a lo largo de mi formación universitaria compartieron generosamente sus conocimientos, experiencias y enseñanzas. Su labor no solo enriqueció mi aprendizaje, sino que también contribuyó a fortalecer mi carácter, pensamiento crítico y vocación profesional.

De manera especial, expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor, Dr. Luis Marcelo Mantilla Falcón, por su orientación, dedicación, valiosos aportes y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Su guía fue fundamental para la culminación exitosa de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CONTENIDO **PÁGINA**

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA i
APROBACIÓN DEL AUTOR ii
AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xii
RESUMEN EJECUTIVO xiii
ABSTRACT xiv

B. CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1 Descripción del problema 1
1.2 Justificación 5
1.2.1. Formulación del problema de investigación 5
1.2.2. Formulación del problema de investigación 6
1.3 Objetivos 7
1.3.1 Objetivo general 7
1.3.2 Objetivos específicos 7
CAPÍTULO II 8
MARCO TEÓRICO 8
2.1 Revisión de literatura 8
2.1.1 Antecedentes investigativos 8
2.1.2 Fundamentos teóricos 12
2.2. Hipótesis (opcional) y/o preguntas de investigación 22

CAPÍTULO III **23**
METODOLOGÍA **23**
3.1 Recolección de la información 23
3.2 Tratamiento de la información 27
3.3 Operacionalización de las variables 31
CAPÍTULO IV **34**
RESULTADOS **34**
4.1 Resultados y discusión 34
4.2 Verificación de la hipótesis o fundamentación de las preguntas de investigación 62
CAPÍTULO V **66**
CONCLUSIONES **66**
5.1 Conclusiones 66
5.2 Limitaciones del estudio 67
5.3 Futuras temáticas de investigación 67

C. MATERIAL DE REFERENCIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO **PÁGINA**

Tabla 1 Medidas de tendencia central 27

Tabla 2 Medidas de dispersión 28

Tabla 3 Medidas de posición 29

Tabla 4 Medidas de forma 29

Tabla 5 Operacionalización de las variables de estudio 32

Tabla 6 Análisis exploratorio de datos: Costo 34

Tabla 7 Análisis exploratorio de datos: Carga lateral 37

Tabla 8 Análisis exploratorio de datos: Camión gancho 40

Tabla 9 Análisis exploratorio de datos: Otros 43

Tabla 10 Análisis exploratorio de datos: Global 46

Tabla 11 Análisis exploratorio de datos: DSU 49

Tabla 12 Correlación de Spearman 52

Tabla 13 Promedio de la variable carga lateral 54

Tabla 14 Matriz de eficiencia comparativa de la Carga lateral de desechos orgánicos urbanos domésticos (2020-2024) 55

Tabla 20 Promedio de la variable Camión gancho 56

Tabla 16 Matriz de eficiencia comparativa del transporte de desechos mediante camión gancho (2020-2024) 56

Tabla 17 Promedio de la variable Otros 57

Tabla 18 Matriz de eficiencia comparativa de la variable Otros (2020-2024)..... 58

Tabla 19 Promedio de la variable Global 59

Tabla 25 Matriz de eficiencia comparativa de la empresa privada DSU kg global (2020-2024) 59

Tabla 21 Promedio de la variable DSU 60

Tabla 22 Matriz de eficiencia comparativa de desechos sólidos urbanos DSU kg (2020-2024) 61

Tabla 23 Resumen del modelo 63

Tabla 24 Coeficientes del modelo 63

Tabla 25 Interpretación de los coeficientes de correlación 64

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO **PÁGINA**

Figura 1 Media de la variable: Costo 35

Figura 2 Diagrama de caja y bigotes: Costo 36

Figura 3 Media de la variable: Carga lateral 38

Figura 4 Diagrama de caja y bigotes: Carga lateral 39

Figura 5 Media de la variable: Camión gancho 41

Figura 6 Diagrama de caja y bigotes: Camión gancho 42

Figura 7 Media de la variable: Otros 44

Figura 8 Diagrama de caja y bigotes: Otros 45

Figura 9 Media de la variable: Global 47

Figura 10 Diagrama de caja y bigotes: Global 48

Figura 11 Media de la variable: DSU 50

Figura 12 Diagrama de caja y bigotes: DSU 51

Figura 13 Promedio en años de la variable Carga lateral 54

Figura 14 Promedio en años de la variable Camión gancho 56

Figura 15 Promedio en años de la variable Otros 57

Figura 16 Promedio en años de la variable global 59

Figura 17 Promedio en años de la variable DSU 61

Figura 15 Diagrama de dispersión 63

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA
CARRERA DE ECONOMÍA

TEMA: "EFICIENCIA ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN AMBATO"

AUTOR: Pablo Andrés Urbina Caicedo
TUTOR: Dr. Luis Marcelo Mantilla Falcón, Mg.
FECHA: Junio 2026

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación analizó la eficiencia económica y ambiental del sistema de recolección de desechos sólidos domésticos en la ciudad de Ambato durante el período 2020-2024. El estudio utilizó información secundaria proveniente de registros operativos de la Empresa Pública Municipal de Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato (GIDSA), considerando variables relacionadas con los costos operativos y las cantidades de residuos recolectados mediante diferentes modalidades de transporte. La metodología se fundamentó en un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo y correlacional, complementado con técnicas de estadística descriptiva y análisis de correlación para identificar la relación entre los costos y el desempeño operativo del sistema. Los resultados evidenciaron diferencias en los niveles de eficiencia entre los distintos mecanismos de recolección, observándose una asociación positiva entre los costos operativos y las toneladas de residuos gestionadas. Asimismo, se determinó que la optimización de rutas, la adecuada utilización de la flota vehicular y el fortalecimiento de estrategias de separación en la fuente constituyen factores determinantes para mejorar simultáneamente la eficiencia económica y el desempeño ambiental del servicio. Se concluye que la gestión integral de residuos sólidos en Ambato requiere acciones orientadas a la planificación operativa, el aprovechamiento de tecnologías de monitoreo y el impulso de prácticas de economía circular, con el fin de reducir costos, minimizar impactos ambientales y fortalecer la sostenibilidad del sistema municipal de recolección.

PALABRAS DESCRIPTORAS: GESTIÓN, RESIDUOS, SÓLIDOS, EFICIENCIA ECONÓMICA, AMBIENTAL.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF ACCOUNTING AND AUDITING
ECONOMICS CAREER

TOPIC: "ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE DOMESTIC SOLID WASTE COLLECTION SYSTEM IN AMBATO"

AUTHOR: Pablo Andrés Urbina Caicedo

TUTOR: Dr. Luis Marcelo Mantilla Falcón, Mg.

DATE: June 2026

ABSTRACT

This research analyzed the economic and environmental efficiency of the municipal solid waste collection system in the city of Ambato during the period 2020-2024. The study used secondary data from the operational records of the Ambato Municipal Public Company for Integrated Solid Waste Management (GIDSA), considering variables related to operating costs and the quantities of waste collected through different transportation methods. The methodology was based on a quantitative approach with a descriptive and correlational scope, complemented by descriptive statistics and classification analysis techniques to identify the relationship between costs and the system's operational performance. The results showed differences in efficiency levels among the various collection mechanisms, with a positive association observed between operating costs and the tons of waste managed. Furthermore, the optimization of routes, the appropriate use of the vehicle fleet, and the strengthening of source separation strategies are considered key factors for simultaneously improving the economic efficiency and environmental performance of the service. It is concluded that the comprehensive management of solid waste in Ambato requires actions focused on operational planning, the use of monitoring technologies, and the promotion of circular economy practices, in order to reduce costs, minimize environmental impacts, and strengthen the sustainability of the municipal collection system.

KEYWORDS: MANAGEMENT, WASTE, SOLID, EFFICIENCY, ENVIRONMENTAL.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La gestión de los residuos sólidos municipales ha evolucionado hacia la necesidad de sistemas domésticos eficientes que reduzcan la carga de los servicios centralizados. En este sentido, Jouhara et al. (2017) afirman que la implementación de soluciones tecnológicas en el hogar resulta clave para fomentar la responsabilidad individual, lo cual, a su vez, contribuye a mitigar el impacto ambiental del crecimiento demográfico global. Bajo este contexto, la literatura académica sobre el reciclaje doméstico ha crecido rápidamente, integrando modelos de psicología social para entender el comportamiento de los residentes. De acuerdo con ello, Shi et al. (2021) identificaron que las tendencias actuales se orientan hacia la sostenibilidad y la economía circular como marcos fundamentales para las políticas de gestión urbana.

Para dar respuesta a estos desafíos, se propuso el desarrollo de marcos de gestión inteligentes que vinculen dimensiones tecnológicas, operativas y sociales. Al respecto, Wirani et al. (2024) enfatizan que un sistema inteligente debe utilizar componentes de datos para optimizar la infraestructura y mejorar la conciencia pública sobre la gestión de desechos. En consecuencia, la eficiencia económica de estos servicios es crítica, ya que los costos de recolección se recuperan directamente a través de los impuestos de los ciudadanos. En concordancia, Guerrini et al. (2017) sostiene que variables como la densidad de población y el método de recolección adoptado determinan significativamente la eficiencia de costos en los municipios.

Asimismo, la logística del transporte de residuos debe basarse en modelos que calculen con precisión tanto los costos económicos como los impactos ambientales. Desde esta perspectiva, Bø y Baxter (2025) argumentan que identificar los impulsores de sostenibilidad en la logística permite informar la toma de decisiones tácticas y mejorar el desarrollo de políticas públicas. Una estrategia para la optimización global es la separación moderada de los residuos de cocina en el hogar, lo cual puede reducir drásticamente las emisiones de carbono. En este marco, Yu y Li (2020) destacan que la comparación de diversos escenarios de gestión permite identificar los modos de

recolección que maximizan el beneficio social y económico. Desde una perspectiva institucional, la introducción de esquemas de cobro por residuos puede influir en el reciclaje de desechos alimentarios post-consumo. En este sentido, Chua y Yau (2022) aplicaron un análisis para determinar cómo las reglas exógenas y la situación de acción de los hogares afectan la sostenibilidad financiera del sistema.

Para complementar estos análisis, el uso de diarios de residuos basados en ciencia ciudadana permite monitorear la composición de los desechos de forma detallada. Según Breitenmoser et al. (2024) estas herramientas exploratorias son esenciales para evaluar si las fracciones se disponen o se reciclan correctamente por parte de la población. Además, la relación entre los servicios básicos y la generación de desechos es tan estrecha que el consumo de electricidad puede actuar como un predictor de la producción de residuos. En concordancia, Sung et al. (2020) demostraron que existe una alta correlación entre los estilos de vida urbanos y la cantidad de materiales reciclables generados, lo que subraya la necesidad de programas uniformes.

Por otro lado, la dinámica entre la población local y el turismo introduce variables complejas en la generación de residuos sólidos. Al respecto, Mance et al. (2020) confirmaron que los turistas crean, tanto relativa como absolutamente, más residuos que los habitantes locales, lo que exige análisis de costo-beneficio específicos para áreas con alta demanda estacional. Asimismo, las características demográficas, como el nivel de educación y el género, juegan un papel determinante en la comprensión de los métodos de recolección primaria. En este contexto, Panainte-Lehadus et al. (2022) concluyen que el nivel de instrucción influye directamente en la validez y efectividad de los sistemas municipales de gestión de desechos.

No obstante, existen obstáculos como la distancia a los puntos de recolección, que pueden desmotivar la separación adecuada en la fuente. Frente a ello, Rousta et al. (2016) proponen que las intervenciones en el sistema deben enfocarse en reducir estas barreras y mejorar la comunicación para transformar el comportamiento ciudadano. Adicionalmente, en contextos donde la infraestructura es limitada, la gobernanza de los residuos suele depender de normas morales y control social informal. En consecuencia, Abdulwakeel y Bartholdson (2018) observaron que la ausencia de

servicios gubernamentales obliga a los pobladores a adoptar prácticas de quema o disposición en espacios abiertos, lo que resalta la necesidad de estructuras formales.

En cuanto a la disposición final, la mejora de los métodos de disposición final es crucial para proteger el ecosistema de la contaminación del suelo y el agua. En este sentido, Baibatyrova et al. (2024) subrayan que estrategias avanzadas en los vertederos municipales pueden mitigar el impacto humano negativo y salvaguardar la salud pública ante la creciente urbanización.

Por otra parte, el crecimiento de los residuos también se ha visto acelerado por fenómenos como la pandemia de COVID-19 y el auge del comercio electrónico. En relación con ello, Cheng et al. (2022) analizaron cómo el incremento de empaques plásticos desafía el comportamiento ético de los consumidores y requiere una gestión futura más resiliente. Ante este panorama, la aplicación de sistemas de análisis espacial mediante GIS permite maximizar la eficiencia de las rutas de recolección. De acuerdo con Niranjan et al. (2025) la optimización de caminos disminuye el uso de combustible y los costos operativos, contribuyendo simultáneamente a los objetivos de desarrollo sostenible.

De igual forma, la incorporación de tecnologías de monitoreo en tiempo real, como etiquetas RFID en contenedores, permite supervisar la participación ciudadana de manera precisa. En este contexto, Prata et al. (2025) afirman que este modelo permite programar circuitos de recolección solo para equipos cercanos a su capacidad máxima, aumentando significativamente la eficiencia operativa. Sin embargo, la efectividad de los sistemas puerta a puerta también depende de la información sobre los beneficios ambientales que recibe el ciudadano. Así, Laurieri et al. (2020) advierten que la recolección de ciertas fracciones puede ser ineficiente si los cronogramas no responden a las tasas de generación reales de los hogares.

Para fomentar una bioeconomía circular, es vital considerar la educación ciudadana como una inversión que genera beneficios económicos a largo plazo. En este sentido, Angouria-Tsorochidou et al. (2023) argumentan que el compromiso de la comunidad es el poder motivador necesario para el éxito de los instrumentos de política pública.

Finalmente, la evaluación de estos sistemas puede realizarse mediante indicadores de sostenibilidad que abarquen aspectos institucionales y de costos. Según Soares et al. (2025) sostienen que, aunque exista un plan de gestión integrado, la insuficiencia de fondos recaudados suele ser un factor desfavorable para el autofinanciamiento del servicio. Para medir la implementación en la comunidad, se ha propuesto el uso de índices de control que consideren factores económicos y sociales. Adicionalmente, Ferdinan et al. (2022) sugieren que estas herramientas innovadoras permiten realizar recomendaciones para el desarrollo de políticas de gestión de residuos sostenibles basadas en datos fácticos.

El manejo de residuos también está influenciado por impulsores territoriales relacionados con el tamaño de los asentamientos y las rutas predefinidas. Al respecto, Kebaili et al. (2022) revelan que variables geográficas y la capacidad de las empresas operadoras son determinantes en las tasas de generación y recolección a nivel local. De igual manera, en economías emergentes de América Latina, se observan disparidades considerables en la eficiencia técnica dependiendo de si la gestión es pública o privada. En este contexto, Doussoulin y Colther (2022) identificaron que las municipalidades rurales tienden a ser ineficientes y que los recursos asignados al personal son más relevantes que el gasto financiero total para mejorar el servicio.

Esta situación es crítica en regiones donde la generación de residuos sólidos domésticos ha empeorado por la falta de cultura de reciclaje y escasos controles legales. Franco et al. (2022) destacaron que la deficiencia en el diseño de las rutas de recolección y la proliferación de vertederos informales son factores que amenazan la salud pública. En cuanto a los residuos alimentarios, el desperdicio generado por los hogares está vinculado a variables de conocimiento sobre el almacenamiento. En relación con los residuos alimentarios, Li et al. (2023) analizaron cómo el tamaño de la población del hogar y la percepción del tratamiento de desechos influyen en la cantidad de residuos producidos semanalmente.

Finalmente, el análisis de las percepciones de los consumidores permite entender las barreras para una separación efectiva de alimentos. En este sentido, Teng et al. (2021) identificaron que factores como las compras excesivas y los horarios inesperados son

causas clave que deben ser abordadas mediante estrategias de prevención dirigidas. En el contexto de Ecuador, estudios específicos sobre la gestión de residuos sólidos municipales han revelado que la preservación de ecosistemas requiere modelos económica y tecnológicamente sostenibles. Ragazzi et al. (2014) señalan que la implementación exitosa de sistemas de recolección diferenciada y el reciclaje manual puede servir como referencia para otras realidades del país.

En particular, en la ciudad de Ambato, la situación de la gestión de desechos sólidos domésticos presenta desafíos críticos relacionados con la eficiencia económica y ambiental de sus rutas de recolección. El crecimiento urbano acelerado y la falta de una cultura de separación en la fuente han generado un incremento en los costos operativos y una presión insostenible sobre la infraestructura de disposición final. Por ello, resultó imperativo evaluar el sistema actual para optimizar la logística de transporte y reducir el impacto ecológico, garantizando un servicio que responda a las necesidades de salubridad y sostenibilidad de la población ambateña.

1.2 Justificación

1.2.1. Formulación del problema de investigación

La investigación se justificó teóricamente porque permitió analizar la eficiencia económica y ambiental del sistema de recolección de desechos sólidos domésticos a partir de enfoques consolidados sobre gestión integral de residuos y economía circular. Estudios previos realizados en Ecuador habían evidenciado que la gestión municipal de residuos sólidos presentaba debilidades técnicas, financieras y ambientales, especialmente en las fases de recolección y disposición final, lo que afectaba la sostenibilidad del servicio (Burneo et al., 2020; Poma et al., 2025). Asimismo, la literatura destacó que la optimización de los sistemas de recolección y el fortalecimiento del reciclaje domiciliario contribuían significativamente a la reducción de impactos ambientales y a la disminución de costos operativos municipales (Hidalgo-Crespo et al., 2024a). Desde esta perspectiva, el estudio aportó al marco teórico existente al contextualizar estos planteamientos en la ciudad de Ambato, ampliando el conocimiento sobre la relación entre eficiencia económica y desempeño ambiental en sistemas urbanos de recolección de residuos sólidos domésticos.

Desde el enfoque metodológico, la investigación se justificó porque aplicó herramientas de análisis económico y ambiental utilizadas previamente en estudios sobre gestión de residuos sólidos en el contexto ecuatoriano. La evaluación del sistema de recolección se sustentó en indicadores de costos, generación per cápita y desempeño operativo, los cuales habían demostrado ser pertinentes para diagnosticar la eficiencia de los servicios municipales (Poma et al., 2025; Vélez et al., 2019). Además, la incorporación de criterios de análisis ambiental permitió identificar oportunidades de mejora en la reducción de emisiones y en el aprovechamiento de materiales reciclables, siguiendo enfoques de evaluación de ciclo de vida aplicados en ciudades ecuatorianas (Hidalgo-Crespo et al., 2024). En consecuencia, la metodología empleada garantizó la obtención de resultados confiables y comparables, permitiendo que el estudio pudiera replicarse en otros municipios con características similares.

La justificación práctica del estudio se fundamentó en que sus resultados estuvieron dirigidos principalmente a las autoridades municipales de Ambato y a los responsables de la gestión de residuos sólidos, quienes requerían información técnica para mejorar la eficiencia económica y ambiental del servicio de recolección. Investigaciones previas habían demostrado que la falta de planificación, el uso ineficiente de recursos y la limitada participación ciudadana incrementaban los costos del sistema y reducían su efectividad ambiental (Burneo et al., 2020; Poma et al., 2025). En este sentido, los hallazgos del estudio servirán como insumo para la toma de decisiones orientadas a la optimización de rutas, la mejora del modelo tarifario y el fortalecimiento de estrategias de reciclaje domiciliario. De manera indirecta, la investigación beneficiará a la población ambateña al contribuir a un servicio de recolección más sostenible, eficiente y alineado con los principios de la economía circular (Hidalgo-Crespo et al., 2024).

1.2.2. Formulación del problema de investigación

Cuál es la relación de la eficiencia económica y ambiental con el sistema de recolección de desechos sólidos domésticos en la ciudad de Ambato durante el período 2020–2024

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la eficiencia económica y ambiental del sistema de recolección de desechos sólidos domésticos en Ambato (2020 – 2024).

1.3.2 Objetivos específicos

Caracterizar la gestión de recolección de desechos sólidos domésticos en Ambato entre 2020-2024, considerando el tipo de vehículo recolector, zona de operación y toneladas mensuales procesadas.

Determinar la relación existente entre los costos operativos del sistema de recolección de desechos sólidos domésticos y la eficiencia económica y ambiental.

Explicar la eficiencia de la gestión de recolección de desechos sólidos domésticos en lo económico y ambiental en el período 2020-2024.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Revisión de literatura

2.1.1 Antecedentes investigativos

En la actualidad, la gestión de los residuos sólidos domésticos representa uno de los desafíos más críticos para las administraciones municipales modernas, especialmente en ciudades de economías emergentes. En este contexto, la transición hacia modelos que garanticen una alta eficiencia económica sin sacrificar la integridad ambiental requiere el análisis de variables operativas, el comportamiento del ciudadano y la implementación de tecnologías de optimización. Bajo esta premisa, los siguientes antecedentes revisan la evolución de estas estrategias a nivel global y regional, ofreciendo una base teórica para el estudio de la realidad en Ambato, Ecuador.

En primer lugar, Zsigraiova et al. (2013) concluyen que la optimización de las rutas de recolección mediante sistemas de información geográfica permite reducir significativamente el tiempo y el consumo de combustible, demostrando que el análisis de las tasas de llenado de los contenedores resulta más eficiente que el uso de promedios generales en la planificación del servicio. De manera similar, Chithra et al. (2016) estacan que la gestión de residuos sólidos municipales es uno de los componentes urbanos más afectados por el uso del suelo residencial, por lo que el desarrollo de índices de gestión resulta clave para identificar zonas que requieren intervenciones prioritarias según su densidad poblacional.

Desde una perspectiva regulatoria, Agovino et al. (2016) señalan que la legislación ambiental impulsa mayores tasas de recolección selectiva; sin embargo, no logra por sí sola reducir las brechas de eficiencia entre regiones, siendo la participación ciudadana un factor determinante. En esta misma línea, Rousta et al. (2016) proponen un procedimiento de transición del comportamiento del reciclaje que demuestra que las intervenciones basadas en la reducción de la distancia a los puntos de recolección y la comunicación directa pueden disminuir significativamente los índices de clasificación errónea de los desechos domésticos.

Avanzando hacia soluciones descentralizadas, Jouhara et al. (2017) señalan que los sistemas domésticos de gestión de residuos pueden eliminar o reducir drásticamente las etapas de recolección y transporte, permitiendo que los hogares transformen la basura en productos seguros o fuentes de energía sin emisiones nocivas; de este modo, se aliviaría la carga de los sistemas centrales de gestión.

En cuanto a los métodos de recolección, Guerrini et al. (2017) demuestran que el sistema puerta a puerta es más eficiente que el uso de contenedores en vía pública, especialmente cuando existe experiencia operativa. Por su parte, Shadrin y Kuznetsova (2019) destacan que la segregación de residuos genera beneficios económicos y ambientales, siendo el aprovechamiento de desechos orgánicos para biogás una alternativa rentable. Por otro lado, Shadrin y Kuznetsova (2019) sostienen que la segregación de residuos por tipo de materia prima permite obtener beneficios ecológicos y económicos sustanciales, destacando que el procesamiento de desechos orgánicos para la producción de biogás es una vía rentable que puede ahorrar considerables recursos financieros al Estado.

En el contexto regional, Vélez et al. (2019) evidencian que, aunque algunas comunidades presentan baja generación de residuos, la falta de sistemas adecuados conduce a prácticas contaminantes, lo que justifica la implementación de estrategias de reciclaje y compostaje. Desde la óptica de la economía circular, Plastinina et al. (2019) señalan que el uso de materiales reciclados reduce costos de producción, aunque su desarrollo aún es limitado por falta de apoyo estatal. En esta línea, Villafaña Vallejo (2020) muestra que la ecoeficiencia depende del tamaño y recursos de las empresas, siendo menor en aquellas con limitaciones financieras.

En términos económicos, Siddiqi et al. (2020) destacan que una gran cantidad de materiales valiosos se pierde en los residuos, por lo que su recuperación podría reducir la contaminación. Asimismo, Ferreira et al. (2020) proponen el uso de modelos más robustos para evaluar el desempeño, evitando limitaciones de los indicadores tradicionales. Laurieri et al. (2020) indican que la educación ambiental mejora la separación de residuos, mientras que Ahmed et al. (2021) plantean que los desechos

pueden convertirse en oportunidades económicas mediante procesos tecnológicos, aunque aún existen barreras de conocimiento y acceso.

En apoyo a lo anterior, Tayeh et al. (2021) concluyen que la construcción de plantas de energía a partir de residuos reduce significativamente las emisiones netas de gases de efecto invernadero. Por su parte, Llanquileo-Melgarejo et al. (2021) observan que las municipalidades eficientes y ecoeficientes no siempre coinciden, lo que evidencia la necesidad de políticas estandarizadas que integren ambos objetivos. En este sentido, Molinos-Senante y Maziotis (2021) cuantifican que mejorar la calidad del servicio implica mayores costos operativos iniciales; sin embargo, estos esfuerzos se traducen en beneficios sostenibles a largo plazo.

De igual forma, Lo Storto (2021) señala que, aunque la productividad económica parece estancada, los indicadores de eco-productividad muestran un crecimiento constante cuando se incluyen variables ambientales. Más recientemente, Kebaili et al. (2022) concluyen que la gestión de residuos domésticos está influenciada principalmente por el tamaño del asentamiento y las características operativas de las empresas gestoras.

En consonancia con lo anterior, Cheng et al. (2022) subrayan que el uso de tecnologías inteligentes y la gamificación educativa son claves para el futuro de las ciudades inteligentes. A su vez, Ferdinan et al. (2022) proponen el Índice de Control de Residuos Domésticos como un instrumento innovador para la toma de decisiones estratégicas. Posteriormente, Angouria-Tsorochidou et al. (2023) sugieren que las intervenciones en infraestructura deben acompañarse de campañas de concientización sostenidas.

De manera similar, Bernardo et al. (2023) enfatizan que la transición hacia sistemas de recolección selectiva pura es fundamental para aumentar las tasas reales de reciclaje. En el caso de regiones andinas, Quispe et al. (2023) demuestran la viabilidad de planes piloto de valorización de residuos orgánicos. Además, Yakah et al. (2023) recomiendan la incorporación de inteligencia artificial para optimizar el desempeño operativo.

Más recientemente, Kibonde (2024) identifica factores sociodemográficos clave que influyen en la generación de residuos. Paralelamente, Ampong et al. (2024) destacan la integración de recolectores informales como una oportunidad para mejorar la eficiencia del sistema.

Desde un enfoque ambiental, Hidalgo-Crespo et al. (2024) estacan los beneficios del reciclaje doméstico, mientras que Breitenmoser et al. (2024) resaltan el valor de la ciencia ciudadana para complementar los análisis oficiales. En esta misma línea, Wirani et al. (2024) proponen un marco de gestión inteligente basado en tecnología y gobernanza, y Antonelli et al. (2024) subrayan el impacto ambiental del desperdicio de alimentos y la necesidad de valorarlo monetariamente.

De cara al futuro, Kuznetsova et al. (2025) afirman que la digitalización y las asociaciones público-privadas son claves para maximizar la participación ciudadana. Desde una perspectiva macroeconómica, Menéndez Jaramillo et al. (2025) sostienen que la economía circular reduce costos operativos y mejora la calidad de vida. Sin embargo, Soares et al. (2025) advierten que el autofinanciamiento de los sistemas de recolección suele ser desfavorable. Finalmente, Bø y Baxter (2025) y Barbosa et al. (2025) coinciden en que los modelos logísticos y los incentivos industriales son esenciales para equilibrar eficiencia y productividad, mientras que Hidalgo-Crespo et al. (2024) en una segunda instancia, reafirman la necesidad de políticas diferenciadas por clúster demográfico.

En el caso específico de Ecuador, estudios realizados en diversas zonas del país indican que la gestión de residuos sólidos enfrenta barreras críticas como la falta de infraestructura y marcos regulatorios para la economía circular. No obstante, se estima que aproximadamente el 25% de los residuos generados diariamente tiene potencial de reciclaje, aunque solo se recupera una fracción mínima. Esta problemática se refleja también en la ciudad de Ambato, donde la eficiencia económica y ambiental del sistema de recolección debe alinearse con la normativa vigente y las metas de desarrollo sostenible nacionales, integrando a los actores locales y aprovechando las herramientas tecnológicas para mitigar el impacto ambiental del relleno sanitario.

2.1.2 Fundamentos teóricos

Teorías que respaldan el estudio

Teoría de las externalidades de Pigou

La teoría de las externalidades, desarrollada por Arthur Cecil Pigou, sostiene que el mercado no incorpora los efectos que las actividades económicas generan sobre terceros, lo que constituye una falla que requiere intervención; para corregirla, propone la aplicación de impuestos que obliguen a los agentes contaminantes a internalizar el costo social de sus acciones, haciendo que los precios reflejen el daño ambiental; en el caso de los residuos domésticos, este enfoque justifica la implementación de gravámenes sobre la generación de desechos, los cuales permiten financiar su tratamiento y fomentar prácticas como la reducción y el reciclaje, asegurando que los costos ambientales se asignen según el nivel de contaminación generado (Mendezcarlo Silva et al., 2010).

Teoría del Bienestar Social

Desde la teoría del bienestar social, la economía busca mejorar las condiciones de vida de la población mediante una adecuada distribución de los recursos y del ingreso. En este sentido, no basta con alcanzar altos niveles de ingresos, sino que también es fundamental garantizar la calidad de vida y la conservación de un entorno ambiental saludable. Por otra parte, de acuerdo con Dasgupta (2009) el bienestar de la sociedad mediante una asignación eficiente y equitativa de los recursos, considerando cómo las decisiones económicas afectan tanto a individuos como al conjunto, e incorpora elementos como externalidades, bienes públicos y calidad de vida; desde esta perspectiva el bienestar no depende solo del ingreso, sino también del acceso a servicios, salud, educación y un ambiente limpio, por lo que cuando surgen externalidades negativas como la contaminación el Estado debe intervenir con políticas públicas para corregir esas fallas del mercado.

Teoría de la producción y fronteras eficientes

De acuerdo con Coelli et al. (2005) el análisis de las fronteras eficientes mediante herramientas como el Análisis Envolvente de Datos resulta fundamental para evaluar el desempeño productivo de las organizaciones, puesto que permite detectar con precisión dónde se están presentando ineficiencias en el uso de los recursos y, a partir de ese diagnóstico, proponer mejoras concretas que ayuden a aumentar la productividad y optimizar los procesos; la teoría de la producción estudia cómo las empresas combinan recursos para producir más gastando menos según la tecnología que tengan, y la frontera eficiente marca el límite máximo de lo que se puede lograr con ciertos insumos, ayudando a ver si se están usando bien los recursos.

Economía ambiental aplicada a servicios públicos

La economía ambiental aplicada a los servicios públicos busca que los precios incluyan el verdadero costo de usar la naturaleza, como cuando se consumen recursos, se depende de los ecosistemas para vivir o se usa su capacidad para absorber basura (Andersen, 2007). Para lograrlo se usan herramientas como el análisis de costo-beneficio y la evaluación del ciclo de vida, que ayudan a quienes toman decisiones a escoger bien dónde invertir en infraestructura verde, ya sea como reemplazo o como apoyo de la infraestructura tradicional, para cubrir las necesidades de la gente de una forma más sostenible y que aguante mejor los problemas (Loiseau et al., 2016).

Economía circular como extensión moderna del análisis económico-ambiental

La economía circular viene a ser como una versión más actual de lo que ya se venía haciendo en el análisis económico-ambiental porque junta la ecología industrial con la economía ecológica para cambiar el viejo modelo de sacar, hacer y botar por uno de ciclo cerrado donde se aprovechan mejor los materiales nuevos que se extraen de la naturaleza, buscando es separar el daño ambiental del crecimiento económico para que la gente viva bien y los ecosistemas estén sanos (Bruel et al., 2019). Aunque, Temesgen et al. (2021) advierten que un cambio profundo exige cuestionar la idea del crecimiento permanente, alineando las acciones de la economía circular con los principios ecológicos.

A. Fundamentos teóricos de la eficiencia económico-ambiental en la gestión de residuos sólidos urbanos

A.1. Economía ambiental y residuos sólidos domésticos

La economía ambiental entrega claves importantes para entender cómo el crecimiento de las ciudades afecta la calidad de servicios como la recolección de basura. En este sentido, Akther et al. (2025) evidencian que, en Europa, el aumento del Producto Interno Bruto y la expansión del sector servicios se asocian con una mayor generación de desechos municipales; no obstante, la adopción de energías limpias y una mayor apertura comercial contribuyen a reducir el impacto ambiental mediante un uso más eficiente de los recursos. Asimismo, Samreen et al. (2023) destacan que la incorporación de tecnologías modernas y sistemas de monitoreo continuo resulta fundamental para garantizar la sostenibilidad del servicio, permitiendo proteger el entorno sin comprometer la eficiencia económica y facilitando que las ciudades en crecimiento alcancen un equilibrio entre desarrollo y conservación ambiental.

A.2. Residuos sólidos domésticos como problema económico-ambiental

La generación de residuos sólidos domiciliarios constituye un desafío ambiental de primera magnitud, estrechamente vinculado al crecimiento económico y la expansión urbana. Estudios han demostrado que el aumento del ingreso per cápita y la densificación poblacional incrementan significativamente el volumen de desechos producidos generando presiones ecológicas que los enfoques de economía circular aún no logran contrarrestar de manera efectiva (Chen et al., 2020). Esta dinámica provoca externalidades negativas de considerable impacto como la contaminación por plásticos en ecosistemas terrestres y acuáticos, así como la emisión de gases de efecto invernadero.

Desde una perspectiva económica, la gestión de residuos evidencia fallos estructurales de mercado, dado que los costos ambientales asociados a la contaminación del aire y los cuerpos de agua no son internalizados por los agentes que generan los desechos. La ausencia de sistemas técnicos adecuados particularmente en sitios de disposición final no controlados, facilita la filtración de sustancias peligrosas hacia los recursos

hídricos y la atmósfera, lo que convierte al servicio de limpieza urbana en un bien público local de carácter indispensable (Maghmoumi et al., 2020). Ante este panorama, las administraciones municipales enfrentan la necesidad prioritaria de incorporar tecnologías que mitiguen el deterioro ambiental sin comprometer la sostenibilidad financiera del servicio.

A.3. Justificación económica de la intervención pública en la recolección y disposición de residuos.

La intervención del Estado en la gestión de residuos se justifica debido a que el mercado no internaliza adecuadamente los costos ambientales asociados a la contaminación, lo que provoca que estos sean asumidos por la sociedad en su conjunto. En efecto, los precios de los bienes y servicios rara vez reflejan el impacto generado sobre el agua, el aire o el suelo, por lo que la acción pública resulta necesaria para corregir estas fallas y evitar que dichos efectos recaigan sobre quienes no los han provocado (Panzone et al., 2021). En este contexto, la implementación de instrumentos económicos permite obligar a los agentes a asumir el costo real de los desechos que generan, incentivando cambios de comportamiento como el reciclaje y la reducción de residuos, así como un uso más responsable de los recursos (Ukkonen & Sahimaa, 2021).

Además, el gobierno cumple un papel clave organizando los servicios de aseo para que nadie se quede sin atención, sobre todo en lugares donde hay poca basura o falta tecnología y a las empresas privadas no les interesa meterse porque no les sale rentable, así que la gestión pública garantiza que esos procesos se hagan con estándares sanitarios adecuados, y todo este trabajo en conjunto permite que los materiales que se recuperan vuelvan a la cadena productiva, apoyando la economía circular y cuidando los recursos naturales para las generaciones que vienen (Diaz et al., 2025).

A.4. Teoría económica de la eficiencia aplicada a servicios municipales

Medir qué tan eficientes son los servicios que prestan los municipios se ha vuelto algo muy importante porque estos servicios son diferentes a los que ofrece una empresa privada, ya que los estudios muestran que no se puede evaluar un servicio público con

las mismas reglas del negocio común, pues su razón de ser es satisfacer necesidades básicas de toda la comunidad de manera obligatoria y sin parar, y por eso al analizar cómo funcionan hay que mirar más allá de la plata que se gasta, metiendo también factores sociales y organizativos que garanticen que todos los ciudadanos tengan acceso al servicio y que la calidad sea siempre la misma (Kwarcińska, 2018).

A.5. Concepto de eficiencia

La eficiencia se define como la capacidad de obtener los mejores resultados con el menor uso de recursos. En el ámbito municipal, la eficiencia técnica se refiere a la optimización de los insumos en la prestación de servicios públicos, mientras que la eficiencia económica se enfoca en la reducción de costos operativos. No obstante, ambas deben equilibrarse, ya que una reducción excesiva de costos puede afectar la calidad del servicio; además, el tamaño del municipio influye en la gestión, debido a la presencia de deseconomías de escala (lo Storto, 2016).

Eficiencia ambiental y eco-eficiencia: Hoy en día la forma tradicional de entender la eficiencia ha evolucionado hacia el concepto de eco-eficiencia que junta el impacto ecológico con el manejo financiero, y este modelo no solo mide lo que se produce de bueno como los materiales reciclados sino que también busca reducir los resultados malos como la basura que no se puede aprovechar y termina enterrada, así que para que un municipio sea sostenible debe subir sus tasas de reciclaje y al mismo tiempo bajar la generación de residuos que contaminan, y se ha comprobado que el éxito de estas políticas depende mucho de la densidad de población y de cómo se portan los ciudadanos separando la basura desde la casa (Romano & Molinos-Senante, 2020).

A.6. Eco-eficiencia en servicios urbanos

La ecoeficiencia en los servicios municipales implica ofrecer prestaciones básicas, como la recolección de residuos, optimizando el uso de recursos y minimizando el impacto ambiental; para ello, es necesario evaluar la relación entre los beneficios del servicio y sus efectos negativos, como la contaminación o los desechos no aprovechables y varios estudios evidencian que es posible mejorar la gestión mediante modelos técnicos que permiten reducir el impacto ecológico y optimizar la eficiencia

económica, favoreciendo así un desarrollo urbano sostenible (Delgado-Antequera et al., 2021).

En este sentido, la ecoeficiencia también supone garantizar servicios de calidad que respondan a las necesidades sociales, gestionando de manera eficiente recursos como la energía, el agua y el combustible, lo que contribuye a disminuir la contaminación, los residuos y los costos operativos, mientras que el uso de herramientas técnicas de evaluación, como indicadores de consumo y análisis de clústeres, permite identificar oportunidades de mejora y orientar la toma de decisiones hacia un equilibrio entre sostenibilidad ambiental y eficiencia económica (Mantilla-Falcón et al., 2020).

A.7. Fronteras de eficiencia y comparación entre unidades homogéneas

Para analizar el funcionamiento de los servicios públicos se emplea el enfoque de meta-frontera, que consiste en agrupar municipios con características similares, como el tamaño poblacional o el tipo de administración; este método permite realizar comparaciones más precisas, al identificar qué modelos de gestión resultan más eficientes según el contexto, evitando sesgos derivados de contrastar realidades heterogéneas sin considerar sus diferencias estructurales (Pérez-López et al., 2016).

Para que los objetivos ambientales sean viables, se emplean modelos condicionales que incorporan factores externos como el nivel de ingresos y el desarrollo económico de cada zona (Daraio et al., 2024). Estos modelos permiten comparar municipios con características similares, facilitando la definición de metas realistas y adaptadas a cada contexto, y asegurando que las estrategias de sostenibilidad respondan a las capacidades reales de cada administración (Y. Yu et al., 2019).

A.8. Economía circular, reciclaje y separación por origen

La economía circular propone una forma distinta de pensar la producción y el consumo, alejándose de ese viejo hábito de sacar recursos de la naturaleza, usarlos rápido y botarlos sin más y lo que busca principalmente es que los productos y materiales duren el mayor tiempo posible dentro del sistema y para que esto funcione de verdad se necesita que la industria, la gente común y los que hacen las leyes trabajen

juntos en una alianza que asegure que el cambio hacia la sostenibilidad sea posible y duradero (Kirchherr et al., 2023).

La separación de residuos en el lugar de origen constituye una estrategia fundamental para reducir el impacto ambiental. En este sentido, Bongers y Casas (2022) señalan que una gestión adecuada de los desechos contribuye a disminuir los daños ambientales que afectan la salud y el bienestar de la población, lo que a su vez implica una reducción de los costos económicos asociados a la reparación de dichos impactos. No obstante, este proceso no depende únicamente de aspectos técnicos, sino también del nivel de concienciación social y de la implementación de programas educativos que fomenten hábitos de consumo responsables. En esta línea, Bobushev y Tursunalieva (2025) destacan que la aplicación de métodos eficientes de clasificación representa el primer paso para transformar los residuos en recursos aprovechables dentro de los procesos productivos.

El reciclaje contribuye a mejorar la eficiencia del sistema económico al cerrar el ciclo de los materiales que antes se perdían como desechos, permitiendo su reutilización y reduciendo la necesidad de extraer nuevos recursos naturales; esto disminuye la presión sobre los rellenos sanitarios y las emisiones contaminantes; en este sentido, se busca que la economía se ajuste a los límites del planeta sin generar más residuos de los que este puede absorber (Suárez-Eiroa et al., 2019). No obstante, Ghisellini et al. (2016) señalan que el reciclaje solo es efectivo si los productos son diseñados desde su origen para ser recuperados. A ello, Velenturf y Purnell (2021) añaden que este proceso debe ir acompañado de un equilibrio entre bienestar social y crecimiento económico.

B. Variables, indicadores y relaciones económico-ambientales del sistema de recolección

B.1. Sistema de recolección de residuos sólidos domésticos como unidad económica: caracterización del sistema

Para entender el funcionamiento del sistema de recolección de residuos, es necesario analizar cada uno de sus componentes mediante indicadores técnicos que evalúen

aspectos como la eficiencia de las rutas, el estado de la flota vehicular y la productividad del personal. Estas herramientas permiten comparar distintas formas de operación e identificar puntos específicos de mejora en el uso de recursos técnicos y humanos (Bertanza et al., 2018).

La eficiencia del servicio también depende del contexto territorial y del modelo de gestión implementado. Estudios en Chile evidencian diferencias significativas entre zonas urbanas y rurales, así como entre esquemas de administración pública, privada o mixta, lo que influye directamente en la capacidad de respuesta del municipio frente a las necesidades de la población (Doussoulin & Colther, 2022). Además, el papel de la empresa municipal como ente coordinador resulta clave para articular esfuerzos y garantizar la sostenibilidad financiera; factores como la densidad poblacional y el nivel de ingresos influyen en la productividad del sistema, por lo que una gestión centralizada permite optimizar los recursos, implementar políticas de reciclaje y mejorar el desempeño general del servicio (Barbosa et al., 2025).

B.2. Función de producción del servicio de recolección

Para analizar el funcionamiento del sistema de recolección de residuos se emplean modelos que relacionan los insumos utilizados con los resultados obtenidos. Entre los insumos destacan el personal, los vehículos, el combustible y los costos operativos necesarios para mantener el servicio. Por su parte, los resultados se miden mediante indicadores como las toneladas recolectadas y la cobertura del servicio (Fan et al., 2020). Actualmente, también se incorporan variables ambientales negativas, como las emisiones generadas por los vehículos y la cantidad de residuos que no son reciclados (Bø & Flygansvær, 2025).

B.3. Variables económicas y ambientales del análisis

Variables económicas

Entre las variables económicas más importantes están los gastos que se generan en cada ruta o sector, los cuales muestran cuánto cuesta operar en cada zona en particular; también el costo por cada tonelada de basura que se recoge, que sirve para saber si el

servicio está siendo eficiente con la plata que gasta; y la productividad del sistema, que se mide por las toneladas que logran recolectar o por la cantidad de gente que alcanza a cubrir el servicio, y todos estos indicadores son clave para entender cómo va el desempeño económico y para poder usar mejor los recursos en los sistemas de recolección (Ogunbode et al., 2023; Shen, 2025).

Variables Ambientales

En cuanto a las variables ambientales, destacan las emisiones generadas por los vehículos de recolección, la cantidad de residuos dispuestos en rellenos sanitarios y los niveles de reciclaje y separación en origen, los cuales reflejan el grado de eficiencia ambiental del sistema (Chen et al., 2021; Rom & Guillotreau, 2024).

Variables de Control

Entre las variables que sirven para controlar y ajustar los análisis están la densidad de población, porque según cuánta gente viva en un lugar cambia la demanda y qué tan eficiente puede ser el servicio; también la distancia que hay hasta el sitio donde se tira la basura, porque eso influye en los costos y en los gases que se emiten; y las características socioeconómicas de los barrios, que pueden hacer que la gente genere más o menos residuos y que separe mejor o peor la basura, y todas estas variables son necesarias para que los estudios económicos y ambientales den resultados más precisos y adaptados a cada realidad (Anand et al., 2024; Nielsen & Raswant, 2018; Ogunbode et al., 2023).

C. Enfoque metodológico y articulación empírica para Ambato

C.1. Determinantes de la eficiencia económica-ambiental: factores operativos

La planificación de rutas y el uso eficiente de la flota vehicular son factores determinantes para la eficiencia económica y ambiental del servicio, ya que influyen directamente en los costos operativos y en el nivel de emisiones. Una adecuada optimización permite reducir el consumo de combustible, mejorar la productividad y

disminuir el impacto ambiental, aunque estos resultados también dependen del nivel tecnológico y de las condiciones territoriales (Sun et al., 2025).

C.2. Factores ambientales

La separación de residuos desde la casa y los niveles de reciclaje son variables ambientales clave para que el servicio sea más eficiente en lo ecológico y económico, porque ayudan a reducir la cantidad de basura que termina enterrada en los rellenos y también bajan las emisiones que genera todo el manejo de desechos, y los estudios han encontrado que cuando las tasas de reciclaje suben mejoran tanto los resultados ambientales como los económicos, haciendo posible una gestión más sostenible (Ijaz & Chughtai, 2022; Xu et al., 2024).

C.3. Factores institucionales

La forma en que los municipios organizan el servicio, las reglas locales que se aplican y la manera en que se planifican las ciudades son factores institucionales que determinan si se puede lograr eficiencia tanto en lo económico como en lo ambiental, y estudios muestran que cuando hay instituciones de calidad con buen control de la corrupción y gobiernos que realmente funcionan se reducen las ineficiencias en el manejo de residuos y en los costos, tanto a nivel de regiones como de países (Barra & Falcone, 2024).

C.4. Implicaciones económicas y de política pública: identificación de ineficiencias estructurales en el sistema

Cuando los sistemas de recolección presentan fallas, estas suelen estar asociadas a problemas de planificación, limitaciones presupuestarias o bajo nivel tecnológico. Por ejemplo, en un municipio de México se identificaron deficiencias operativas que derivaron en prácticas inadecuadas como la quema o disposición ilegal de residuos (Carmen-Niño et al., 2023).

C.5. Potencial de mejora

El uso de algoritmos avanzados para la optimización de rutas permite reducir costos, distancias recorridas y emisiones contaminantes, mejorando la sostenibilidad del sistema. Estudios han demostrado que la implementación de modelos multiobjetivo genera ahorros significativos tanto económicos como ambientales (Mojtahedi et al., 2021). Por ejemplo, en Brasil, cuando implementaron sistemas GIS para mejorar las rutas de recolección lograron reducir las distancias recorridas en un 37,7% y las emisiones de CO_2 en un 82,5%, y además aumentaron bastante la cantidad de material que se recicla (Braga et al., 2025).

C.6. Aportes del estudio al diseño de políticas municipales sostenibles en Ambato

El análisis de la movilidad en el centro de Ambato proporciona insumos clave para el diseño de políticas públicas orientadas a mejorar la eficiencia urbana. Se propone fomentar el transporte activo y reorganizar el uso del espacio público para reducir la dependencia del automóvil y mejorar la sostenibilidad (Goyes-Balladares & Moya-Jiménez, 2022). Para lograrlo, es necesario fortalecer la participación ciudadana, regular el comercio informal y mejorar el transporte público mediante infraestructura adecuada, como terminales integradas y carriles exclusivos. Estas acciones contribuirían a mejorar la calidad de vida, dinamizar la economía local y promover un entorno urbano más sostenible (Goyes-Balladares & Moya-Jiménez, 2022).

2.2. Hipótesis (opcional) y/o preguntas de investigación

H_1: La eficiencia económica y ambiental se relaciona significativamente con el sistema de recolección de desechos sólidos domésticos en la ciudad de Ambato durante el período 2020–2024.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Recolección de la información

Población

La población es el conjunto completo de elementos, personas, datos o situaciones que tienen características similares y que son parte del objeto de análisis de una investigación (Arias-Gómez et al., 2016).

Para el análisis, la población de estudio estuvo conformada por el total de registros operativos que se encuentran relacionados con el sistema de recolección de desechos domésticos sólidos que se gestiona en la ciudad de Ambato, durante el periodo de tiempo comprendido entre los años 2020-2024. Como observación especial en el desarrollo de esta investigación, dos datos correspondientes a los años 2020, 2021, 2022 y 2023 comprenden la anualidad completa. Sin embargo, para el año 2024 la información disponible se encuentra incompleta para la variable Camión gancho (Kg.) y Carga lateral (Kg.), abarcando únicamente un registro parcial debido a los cortes de reporte de la fuente oficial al momento de la recolección.

Por otra parte, esta población constituyó el conjunto total de datos requeridos para evaluar la eficiencia económica y ambiental del sistema. La investigación recopiló la mayor cantidad de datos posible, con el fin de obtener una perspectiva integral del fenómeno. Asimismo, se tuvo en cuenta que estos registros posibilitaban medir el rendimiento real del sistema sin requerir estimaciones externas. Asimismo, se tuvo en cuenta que estos registros posibilitaban medir el rendimiento real del sistema sin requerir estimaciones externas. En consecuencia, la población se caracterizó como un conjunto extenso y organizado de datos históricos, lo que permitió utilizar información que mostró la realidad operativa del servicio durante el periodo analizado.

Además, también fueron considerados los registros asociados a las rutas de recolección y las zonas de operación dentro de la ciudad de Ambato. La razón por la cual la selección de esta población se debe a que la misma respondió a la necesidad de analizar

de manera integral el funcionamiento del sistema de la Empresa Pública Municipal de Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato (GIDSA) y el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ambato, lo que permitió observar su comportamiento a lo largo del tiempo. Y, de esta forma, se buscó contar con una base sólida de información que sea capaz de reflejar la realidad operativa del servicio y que facilitara el análisis de su eficiencia económica y ambiental.

Muestra

La muestra constituye una porción representativa de la población que se elige para su análisis cuando no se puede examinar a todos los elementos del universo (Arias-Gómez et al., 2016).

No se utilizó una muestra, puesto que se trabajó con la totalidad de los datos disponibles correspondientes al periodo de estudio. Esta decisión se tomó con el propósito de evitar sesgos en la selección de datos, y así poder garantizar una mayor precisión en los resultados obtenidos. Al no limitar el análisis a una parte de la información, se logró tener una visión amplia del comportamiento del sistema de recolección de desechos sólidos domésticos realizada por la Empresa Pública Municipal de Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato (GIDSA).

Fuentes primarias

Las fuentes primarias son aquellas que proporcionan información original y directa, es decir, datos que surgen de la realidad sin haber sido manipulados antes (Mazhar, 2021).

En el desarrollo de la investigación no se utilizaron fuentes primarias, puesto que no se realizó trabajo de campo, ni se aplicaron instrumentos directos de recolección de información como encuestas, entrevistas u observaciones. Esta decisión respondió a la naturaleza del estudio, el cual se basó principalmente en el análisis de información ya existente y registrada por el GIDSA, que es una entidad responsable de la gestión de desechos sólidos dentro de la ciudad.

Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias consisten en datos que han sido recogidos y procesados por otras personas o entidades, como informes, libros o bases de datos (Mazhar, 2021).

Las fuentes secundarias dentro de la investigación se constituyeron como la principal fuente de información para el análisis, porque se recurrió a documentos previamente ya elaborados por instituciones y organismos relacionados con la gestión de desechos sólidos. Entre estas fuentes fueron incluidos informes municipales, estudios académicos como artículos científicos que fueron extraídos de bases especializadas como Scopus, Google Academic, Sustainability, Redalyc, Dialnet, Web of Science, entre otros.

La utilización de estas fuentes permitió al estudio el acceso a información clave y central con la investigación, lo cual facilitó el análisis del comportamiento del sistema de recolección durante el periodo de estudio. Asimismo, estas fuentes aportaron el respaldo teórico y contextual necesario para la interpretación de los resultados obtenidos.

Por otra parte, los datos utilizados en la presente investigación fueron obtenidos a partir de registros administrativos y documentos institucionales generados por las entidades encargadas de la gestión de desechos sólidos en la ciudad de Ambato, principalmente de la Empresa Pública Municipal de Gestión Integral de Desechos Sólidos (GIDSA) y del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ambato. La información recopilada correspondió al período 2020-2024 e incluyó variables como toneladas recolectadas, costos operativos, consumo de combustible, kilómetros recorridos y características de la flota vehicular.

Métodos

El método consiste en un conjunto de pasos organizados y racionales que se utilizan para llevar a cabo una investigación, facilitando la conducción del proceso desde la formulación del problema hasta la consecución de resultados (Moser & Korstjens, 2018).

La investigación se llevó a cabo utilizando el método hipotético-deductivo, que facilitó comenzar con postulados teóricos generales y luego compararlos con la evidencia empírica que se tiene. En una etapa inicial, se establecieron supuestos o hipótesis vinculadas a la eficiencia económica y ambiental del sistema de recolección de residuos sólidos, fundamentándose en conceptos y enfoques teóricos previamente definidos. Luego, se examinaron estos enfoques a través de la revisión y análisis de los datos reunidos, con el propósito de confirmar su validez en el contexto particular de la ciudad de Ambato. Este enfoque simplificó la detección de vínculos entre variables y posibilitó organizar el análisis de forma coherente y sistemática. Asimismo, ayudó a proporcionar coherencia al proceso de estudio, al relacionar la teoría con la realidad reflejada en los datos. Así, se obtuvo una comprensión más nítida del fenómeno analizado.

Técnicas

Las técnicas son los métodos o maneras concretas que se emplean para reunir y examinar la información en una investigación (Salmia, 2023).

Para llevar a cabo la investigación, se utilizó la técnica de análisis documental, que implicó una revisión sistemática de informes, registros y documentos vinculados a la gestión de residuos sólidos. Esta metodología facilitó la identificación y selección de la información más pertinente para la investigación. De igual manera, se utilizaron métodos estadísticos, tanto descriptivos como correlacionales, que permitieron el análisis de los datos y la detección de patrones, tendencias y vínculos entre variables.

Instrumentos

Los instrumentos son las herramientas empleadas para recopilar y registrar la información requerida en una investigación, lo que simplifica su organización y análisis posterior (Salmia, 2023).

El instrumento principal empleado en la investigación fue la ficha para el registro de datos secundarios que facilitó la recopilación y organización sistemática de la información procedente de las fuentes documentales. Esta ficha se creó con la finalidad

de documentar variables fundamentales como las toneladas recolectadas, los costos de operación, el consumo de combustible, los kilómetros transitados y las especificaciones de los vehículos empleados en el sistema. Mediante este instrumento, se consiguió normalizar la información y prevenir incongruencias en el proceso de recolección de datos.

Asimismo, permitió la categorización de los registros, lo que resultó clave para su análisis estadístico posterior. El uso de esta herramienta ayudó a aumentar la precisión y el orden en la gestión de la información, asegurando que los datos se gestionaran de forma consistente. Como resultado, la ficha de registro se transformó en un componente esencial en el proceso metodológico de la investigación.

3.2 Tratamiento de la información

Para dar cumplimiento a los objetivos, se desarrolló un análisis descriptivo orientado a evaluar el comportamiento, la distribución y la variabilidad de las variables de estudio. Esta etapa constituyó un paso fundamental en la investigación cuantitativa para organizar la información y comprender su estructura general antes de aplicar modelos econométricos o inferenciales. En este sentido, tal como señalan Wooditch et al. (2021) la aplicación conjunta de medias de tendencia central, de posición, y dispersión resulta indispensable, puesto que estas permiten identificar los valores más representativos de la muestra, determinar los niveles de concentración y analizar el grado de heterogeneidad de los datos alrededor de la muestra.

Tabla 1

Medidas de tendencia central

Medida	Utilidad en el análisis
Media	Permitió identificar el promedio general de las variables estudiadas.
Mediana	Facilitó reconocer el valor central de la distribución y reducir el efecto de valores extremos.
Moda	Permitió determinar el valor con mayor frecuencia dentro de la base de datos.

Media recortada	Ayudó a obtener una medida más robusta frente a posibles valores atípicos.

Nota. La tabla muestra las medidas de tendencia central que fueron utilizadas en al análisis. Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de las medidas de tendencia central proporcionó una visión representativa de la muestra. Estos estadísticos resultaron fundamentales para establecer el punto de comparación de los datos, un paso esencial para poder comprender las tendencias predominantes de las variables analizadas. Es decir, se pudo identificar los valores más representativos y el centro de gravedad de las observaciones.

Tabla 2

Medidas de dispersión

Medida	Utilidad en el análisis
Desviación estándar	Permitió evaluar el grado de dispersión de los datos respecto a la media.
Varianza	Facilitó medir la amplitud de la variabilidad presente en las variables.
Rango	Permitió identificar la diferencia entre el valor máximo y mínimo.
Coeficiente de variación	Ayudó a comparar la variabilidad relativa entre variables con distintas escalas.

Nota. La tabla muestra las medidas de dispersión que fueron utilizadas en al análisis. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, los indicadores expuestos en las Tabla 2 fueron clave para evaluar la amplitud y la estabilidad del sistema. Al cuantificar qué tan relajadas estaban las observaciones respecto a sus promedios, estas métricas evidenciaron el nivel de homogeneidad y la magnitud de las fluctuaciones dentro de la investigación.

Tabla 3

Medidas de posición

Medida	Utilidad en el análisis
Cuartiles	Permitieron dividir los datos en cuatro partes iguales.
Percentiles	Facilitaron identificar la ubicación relativa de las observaciones.
Mínimo y máximo	Permitieron reconocer los límites inferior y superior de los datos.

Nota. La tabla muestra las medidas de posición que fueron utilizadas en el análisis. Fuente: Elaboración propia.

das de posición que fueron utilizadas en al análisis. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las medidas de posición, se delimitó la ubicación relativa de las observaciones, lo que posibilitó comprender la distribución jerárquica de la muestra y establecer límites de concentración dentro de los datos analizados.

Tabla 4

Medidas de forma

Medida	Utilidad en el análisis
Asimetría	Permitió identificar la dirección de la distribución de los datos.
Curtosis	Facilitó analizar el grado de concentración de los datos alrededor de la media.

Nota. La tabla muestra las medidas de forma que fueron utilizadas en al análisis. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la evaluación de la forma estadística complementó el análisis descriptivo general. Estas métricas revelaron la dirección del sesgo y el nivel de agudeza de la distribución de los registros, ofreciendo una perspectiva integral sobre el comportamiento real de las variables.

Para enriquecer el análisis descriptivo, se incluyeron herramientas visuales que optimizaron la interpretación de los datos. Específicamente, se utilizaron gráficos de barras generados en hojas de Excel para contrastar las medias de las variables y

evidenciar sus tendencias principales. Además, se empleó el software Stata 16 para estructurar un diagrama de caja y bigotes, lo que ayudó el examen de la distribución, la variabilidad y la detención de valores atípicos en la muestra con los resultados obtenidos.

Con el propósito de alcanzar el segundo objetivo específico, se evaluó el grado de asociación entre las categorías de residuos sólidos urbanos y sus costos de gestión mediante el coeficiente no paramétrico de Spearman. Esta técnica se seleccionó debido a que los datos no seguían una distribución normal, siendo la correlación de Spearman la adecuada para medir relaciones monotónicas. Así, se lograron determinar asociaciones positivas, negativas y estadísticamente significativas entre la recolección, el volumen de desperdicios y los costos del sistema.

El cálculo del coeficiente se rige por la siguiente fórmula:

$$Rho = 1 - \frac{6\sum d^2}{n(n^2-1)} \qquad [1]$$

Donde Rho es el valor de la correlación, d^2 es la diferencia de rangos entre las observaciones y n es el número total de datos. Este índice varía entre -1 a +1 y su significancia se determinó mediante valores de $p < 0.05$ y $p < 0.01$. A partir de esto, se estructuraron matrices de correlación integrando las variables de estudio (Carga lateral, camión gancho, Otros, Global, DSU y el Costo). Este procedimiento clarificó el impacto de cada tipo de residuo en el comportamiento económico y operativo del sistema, ofreciendo evidencia empírica para el desarrollo de la investigación.

El cumplimiento del tercer objetivo específico, centrado en la evaluación de la eficiencia temporal de la gestión de residuos hospitalarios e industriales, se fundamentó en el desarrollo del siguiente modelo:

$$IE_{cl} = \frac{promedio\ del\ año_i}{promedio\ del\ año_{i+1}} \qquad [2]$$

Donde IE_{cl}; Índice de eficiencia (carga lateral)

$promedio\ del\ año_i$; año inicial del periodo

$promedio\ del\ año_{i+1}$; año consecutivo del periodo

Este modelo se replicó bajo los mismos parámetros para la variable camión gancho, otros, global y Desechos sólidos urbanos (DSU).

El soporte necesario para usar esta ecuación requirió diseñar y organizar desde cero una base de datos completa, ordenada y limpia. Este proceso consistió en tomar los registros iniciales y clasificarlos detalladamente según los sistemas de recolección y las categorías analizadas: carga lateral, camión gancho, otros, el total global y los Desechos Sólidos Urbanos (DSU). Durante esta etapa de trabajo con los datos, se identificaron y corrigieron errores, datos extraños o faltas de información, con el fin principal de asegurar que los años tuvieran una secuencia continua y sin interrupciones. El resultado final de esta limpieza fue una matriz de datos unificada y organizada por años, lo que aseguró que los cálculos de eficiencia fueran confiables, exactos y válidos.

Por otra parte, la creación de las matrices de eficiencia se realizó siguiendo un orden fijo y estandarizado para cada una de las variables mencionadas. En este diseño, el año inicial o año base (*t*) se colocó en las filas, mientras que el año siguiente con el que se iba a comparar (*t+1*) se colocó en las columnas. En la parte matemática, el proceso consistió en dividir el promedio del año consecutivo entre el promedio del año inicial. A través de esta operación, se obtuvieron indicadores y resultados parejos, los cuales quedaron listos para realizar un análisis visual y numérico de los cambios y variaciones que tuvo el servicio de recolección año tras año.

3.3 Operacionalización de las variables

Tabla 5

Operacionalización de las variables de estudio

Variable	Dimensión	Indicador	Definición operativa	Ítems medibles	Técnica	Instrumento
Eficiencia económica	Costos operativos	Costo por tonelada recolectada	Relación entre el gasto total del sistema y las toneladas recolectadas en un período determinado	- Gasto mensual (USD) - Toneladas recolectadas - USD/tonelada	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
	Costos de transporte	Costo por kilómetro recorrido	Mide el gasto en función de la distancia recorrida por las unidades recolectoras	- Km recorridos - Gasto total - USD/km	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
	Productividad	Toneladas por vehículo	Evalúa la capacidad operativa de los vehículos en función de la carga transportada	- Tipo de vehículo - Capacidad - Toneladas por viaje	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
	Eficiencia energética	Consumo de combustible por tonelada	Relación entre el combustible utilizado y la cantidad de residuos transportados	- Litros consumidos - Toneladas recolectadas - L/tonelada	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
Eficiencia ambiental	Emisiones	Emisiones de CO_2 por tonelada	Estimación del impacto ambiental en función del consumo de combustible	- Consumo de combustible - Factor de emisión - CO_2 equivalente	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios

	Impacto ambiental	Huella ambiental por ruta	Nivel de contaminación generado por cada ruta de recolección	- Km por ruta - Consumo de combustible - Emisiones estimadas	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
	Gestión de residuos	Tasa de recolección	Cantidad de residuos recolectados en relación al total generado	- Toneladas recolectadas - Frecuencia de recolección	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
Variables operativas	Logística	Tipo de vehículo	Clasificación de los vehículos utilizados en la recolección	- Tipo de unidad - Capacidad de carga	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
	Operación	Zona de recolección	Área geográfica donde se realiza la recolección	- Zona urbana/rural - Cobertura	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
	Rendimiento	Toneladas recolectadas mensuales	Cantidad total de residuos recolectados en un mes	- Toneladas por mes	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios
Costos operativos	Finanzas	Costos totales del sistema	Gastos asociados a la operación del sistema de recolección	- Costos de combustible - Mantenimiento – Personal	Análisis documental	Ficha de registro de datos secundarios

Nota. La tabla muestra las variables de investigación. Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Resultados y discusión

Para dar cumplimiento al primer objetivo específico de esta investigación, se procedió con la ejecución de un análisis exploratorio detallado mediante diagramas de caja y bigotes para cada una de las variables operativas. Este enfoque metodológico se fundamenta en los principios de la estadística descriptiva, la cual se define como el conjunto de técnicas cuantitativas diseñadas para organizar, resumir y visualizar sistemáticamente las características fundamentales, la variabilidad y la estructura subyacente de un conjunto de datos empíricos, facilitando de esta manera su interpretación objetiva (Mishra et al., 2019). Bajo esta premisa, la evaluación de los costos y los volúmenes de recolección permitió caracterizar con rigor la tendencia central, el grado de dispersión, la asimetría y la ocurrencia de valores atípicos, estableciendo una base empírica robusta para las fases analíticas subsecuentes del estudio.

Tabla 6

Análisis exploratorio de datos: Costo

		Costo					
		TOTAL	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Media		613821,02	604685,90	637839,23	603258,46	624464,61	598856,90
95% de intervalo de confianza para la media	**Límite inferior**	602273,09	571023,52	622242,95	570771,05	599591,88	570785,51
	Límite superior	625368,95	638348,28	653435,51	635745,88	649337,33	626928,30
Media recortada al 5%		616321,77	607245,93	637706,84	607049,98	625981,45	596836,81
Mediana		615821,18	606918,50	636311,04	615264,67	616928,48	597811,95
Desv. Desviación		44702,70	52980,78	24546,78	51131,52	39146,85	44181,20
Mínimo		464663,11	480083,60	592205,87	464663,11	541359,31	535380,07
Máximo		698695,47	683207,75	685855,48	673606,52	680266,66	698695,47
Rango		234032,36	203124,15	93649,61	208943,42	138907,35	163315,39
Rango intercuartil		45052,82	54291,67	23204,79	37803,10	56675,89	62153,80
Asimetría		-0,92	-0,93	0,26	-1,88	-0,45	0,88
Curtosis		2,03	2,04	0,85	5,14	0,50	1,16

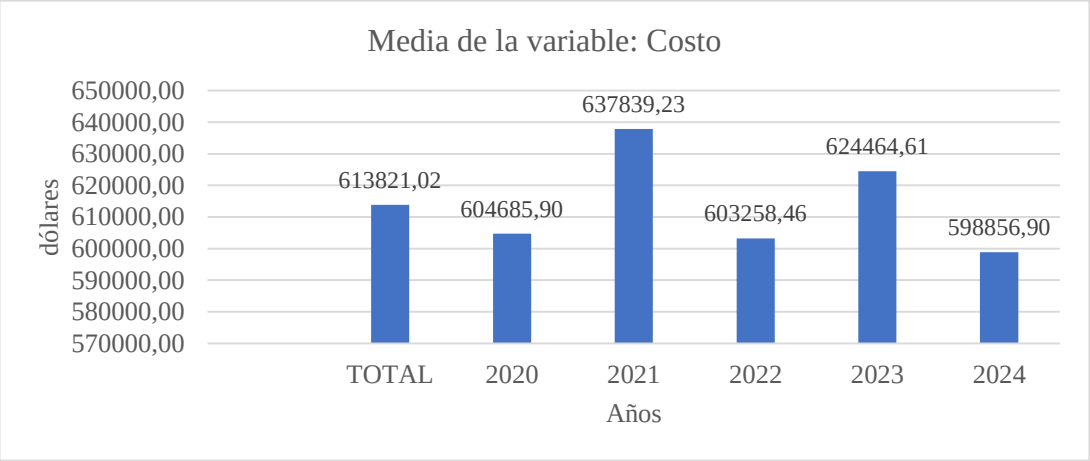
Coeficiente de variación	7,28	8,76	3,85	8,48	6,27	7,38
Q1 (25%)	592758,61	580416,72	625550,96	592516,66	605462,34	566262,39
Q3 (75%)	637811,43	634708,38	648755,75	630319,76	662138,22	628416,19

Nota. La tabla muestra los estadísticos obtenidos de la variable: Costo, en dólares. Fuente: Elaboración propia.

El análisis exploratorio de la variable Costo, demuestra que existe una dinámica estable del gasto asociado a la gestión de desechos sólidos en Ambato. La media global ascendió a 613821,02 USD mientras que la mediana fue de 615821,18 USD, presentando una distribución equilibrada entre los valores centrales. La cercanía entre la media, moda y mediana recortada podría estar indicando una influencia moderada de valores atípicos sobre la estructura distributiva del costo. De igual forma, el coeficiente de variación global de 7,28% confirma la presencia de una baja dispersión, lo que revela una estabilidad presupuestaria y de continuidad operativa en el sistema de recolección y disposición de los residuos. De acuerdo con Kaza et al. (2018) este comportamiento concuerda con la literatura científica, la cual indica que los sistemas urbanos de gestión de desechos poseen estructuras de costos poco flexibles; esto obedece a la gran proporción de gastos operativos fijos, principalmente aquellos asociados al transporte, al consumo de combustible y a la conservación de la flota vehicular.

Figura 1

Media de la variable: Costo

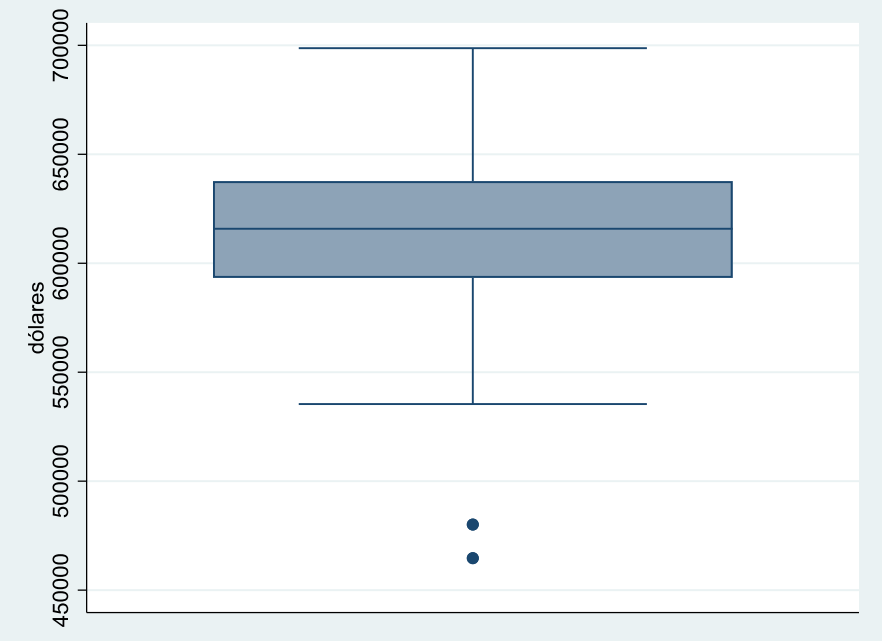


Nota. La figura muestra la media de la variable Costo, en dólares. Fuente: Elaboración propia.

A nivel temporal, el año 2021 registró la media más alta de costos, y esta situación puede vincularse con el incremento de operaciones de saneamiento y recolección posterior a la emergencia sanitaria ocasionada por el COVID-19. La pandemia impulsó un fuerte aumento en la generación de basura en hogares y centros de salud, lo que encareció la gestión de estos residuos al requerir nuevas estrategias de logística y medidas de protección sanitaria (Fan et al., 2021).

Figura 2

Diagrama de caja y bigotes: Costo



Nota. La figura muestra el diagrama de caja y bigote (boxplot) de la variable Costo, en dólares. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de caja y bigotes para la variable Costo revela una distribución con una concentración de los gastos operativos en los rangos superiores del intervalo intercuartílico, evidenciado por una mediana de 615821,18 USD que se posiciona más cerca del tercer cuartil. La dispersión de los datos presenta una asimetría negativa (-0.92), lo cual se refleja visualmente en un bigote inferior más alargado frente a un límite superior más acotado. Adicionalmente, se identifica la presencia de dos valores atípicos en el extremo inferior, con un mínimo histórico de 464663,11 USD, lo que indica que la ocurrencia de periodos excepcionales con costos operativos significativamente menores a la variabilidad habitual del sistema.

Tabla 7

Análisis exploratorio de datos: Carga lateral

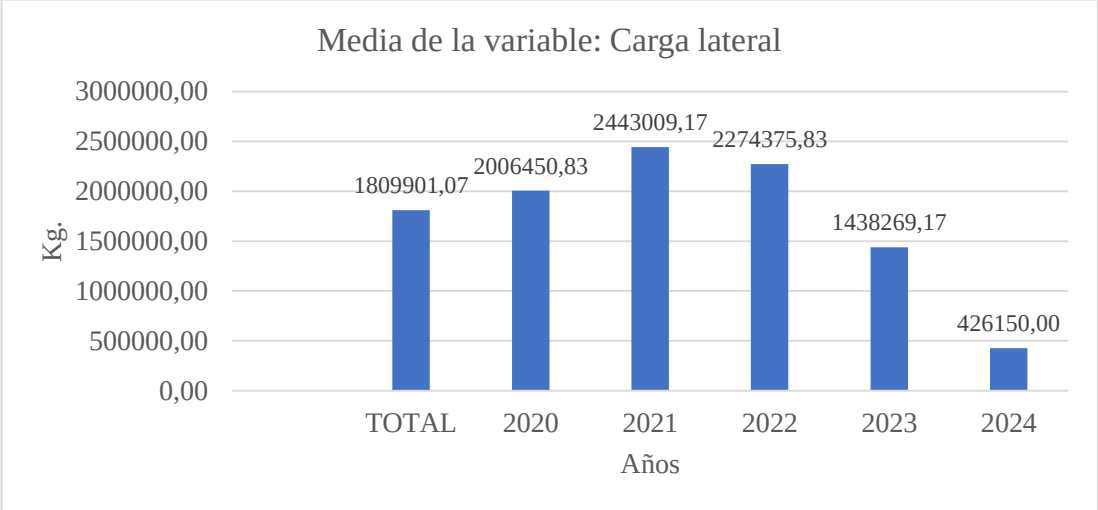
		Carga lateral					
		TOTAL	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Media		1809901,07	2006450,83	2443009,17	2274375,83	1438269,17	426150,00
95% de intervalo de confianza para la media	**Límite inferior**	1586601,49	1825407,71	2249561,41	1947817,67	894897,35	194389,13
	Límite superior	2033200,65	2187493,96	2636456,92	2600934,00	1981640,98	657910,87
Media recortada al 5%		1848144,92	1977654,81	2467927,41	2326427,59	1439746,85	427288,89
Mediana		2083815,00	1904355,00	2500155,00	2468280,00	1286720,00	362620,00
Desv. Desviación		833824,20	284941,40	304464,88	513965,60	855205,76	277218,99
Mínimo		1890,00	1745230,00	1625600,00	971670,00	266250,00	1890,00
Máximo		2811890,00	2786000,00	2811890,00	2640150,00	2583690,00	829910,00
Rango		2810000,00	1040770,00	1186290,00	1668480,00	2317440,00	828020,00
Rango intercuartil		1383267,50	276522,50	230280,00	391055,00	1675217,50	462075,00
Asimetría		-0,78	2,07	-1,88	-1,99	0,14	0,13
Curtosis		-0,77	5,11	4,71	3,35	-1,54	-0,74
Coeficiente de variación		46,07	14,20	12,46	22,60	59,46	65,05
Q1 (25%)		1128860,00	1847322,50	2384665,00	2190385,00	708975,00	242330,00
Q3 (75%)		2512127,50	2123845,00	2614945,00	2581440,00	2384192,50	704405,00

Nota. La tabla muestra los estadísticos obtenidos de la variable: Carga lateral, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la carga lateral demuestra que este método es el pilar logístico en la recolección de basura en Ambato. Su promedio global de 1809901,07 kg supera a otras modalidades, demostrando una fuerte dependencia del sistema hacia otros vehículos. Estadísticamente, el hecho de que la mediana se sitúe por encima de la media, indica que la distribución se encuentra sesgada por registros inusualmente bajos, y esto es particularmente notorio en 2024. Cabe señalar que este comportamiento en el último año se debe a que los datos correspondientes al periodo 2024 se encuentran incompletos en el registro, lo que explica la notable disminución en su media anual (426150,00 kg) y el aumento en su coeficiente de variación (65,05%) en comparación con los años previos.

Figura 3

Media de la variable: Carga lateral

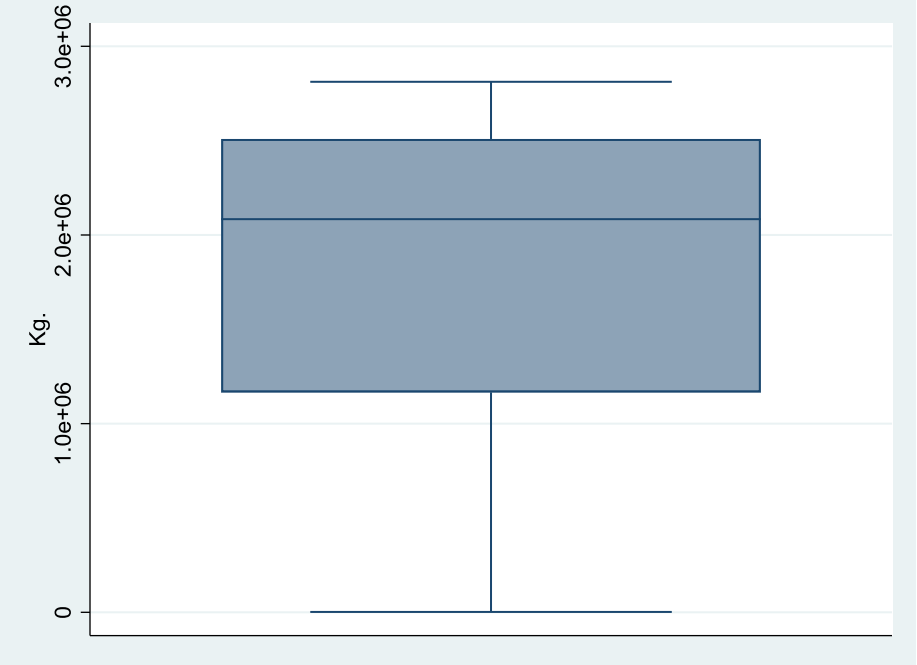


Nota. La figura muestra la media de la variable Carga lateral, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Al observar la evolución histórica, se advierte una clara tendencia a la baja. Mientras que el periodo 2020-2022 concentró los volúmenes más altos de recolección, a partir del 2023 se produjo un descenso drástico, desplomándose a una media de 426150,00 kg en 2024. Esta caída podría ser atribuida a cambios dentro de la logística del sistema mismo, a una reasignación en las rutas recorridas, a fallos mecánicos o incluso a la adopción de vehículos alternativos. No obstante, es fundamental precisar desde el punto de vista metodológico que este descenso se encuentra condicionado a que el registro de datos para el año 2024 está incompleto, lo que incide directamente en la baja del volumen anual reportado. Al respecto, la literatura subraya que la viabilidad a largo plazo de los sistemas de carga lateral se encuentra estrictamente vinculada a la modernización de la flota y a un mantenimiento técnico riguroso (Wilson et al., 2012).

Figura 4

Diagrama de caja y bigotes: Carga lateral



Nota. La figura muestra el diagrama de caja y bigote (boxplot) de la variable Carga lateral, en Kg Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la recolección mediante Carga lateral, la figura 4 muestra una amplia dispersión de los volúmenes gestionados, caracterizada por una alta volatilidad a lo largo del periodo de estudio. La mediana global se sitúa en 2083815,00 kg, desplazada notoriamente hacia el límite superior de la caja, lo que denota una asimetría negativa en la distribución central de los datos. A pesar del exceso rango intercuartílico y de fluctuaciones que alcanzan un máximo de 2811890,00 kg, el diagrama no registra valores atípicos, indicando que toda la variabilidad observada, por amplia que sea, se mantiene dentro de los márgenes estadísticos esperados para esta modalidad operativa. La marcada dispersión y el comportamiento de los datos se ven influenciados por los registros del año 2024, los cuales se encuentran incompletos dentro del periodo evaluado, empujando los valores hacia el extremo inferior de la figura sin llegar a ser considerados atípicos.

Tabla 8

Análisis exploratorio de datos: Camión gancho

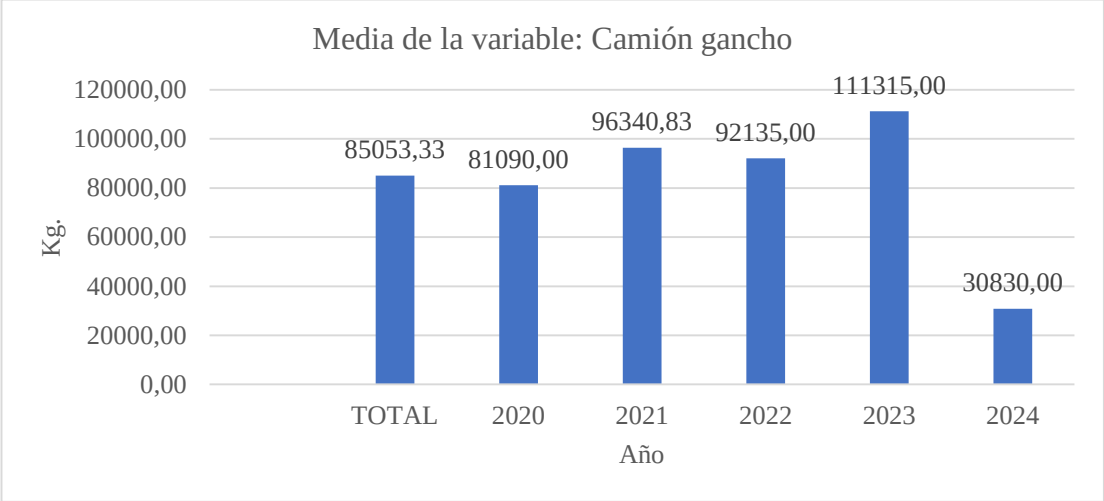
		Camión gancho					
		TOTAL	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Media		85053,33	81090,00	96340,83	92135,00	111315,00	30830,00
95% de intervalo de confianza para la media	**Límite inferior**	77325,63	67169,15	91303,47	85772,32	102485,26	21244,11
	Límite superior	92781,03	95010,85	101378,20	98497,68	120144,74	40415,89
Media recortada al 5%		86567,09	80704,44	96494,26	92897,22	111615,00	31195,56
Mediana		91610,00	81265,00	98110,00	93160,00	113655,00	33240,00
Desv. Desviación		29124,23	21909,84	7928,24	10014,14	13897,00	12470,78
Mínimo		10210,00	45030,00	81500,00	65600,00	87240,00	10210,00
Máximo		129990,00	124090,00	108420,00	104950,00	129990,00	44870,00
Rango		119780,00	79060,00	26920,00	39350,00	42750,00	34660,00
Rango intercuartil		25885,00	21280,00	7037,50	10102,50	22537,50	20240,00
Asimetría		-0,97	0,02	-0,77	-1,69	-0,60	-1,03
Curtosis		0,28	0,53	0,47	4,33	-0,56	-0,14
Coeficiente de variación		34,24	27,02	8,23	10,87	12,48	40,45
Q1 (25%)		75145,00	70342,50	92432,50	88677,50	100485,00	19795,00
Q3 (75%)		101030,00	91622,50	99470,00	98780,00	123022,50	40035,00

Nota. La tabla muestra los estadísticos obtenidos de la variable: Camión gancho, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva urbana y ambiental, este tipo de transporte suele ser utilizada para la recolección de residuos de características particulares o de mayor volumen; investigaciones desarrolladas en ciudades de economías emergentes sostienen que el crecimiento urbano y la expansión de las actividades comerciales son causantes del incremento de la necesidad de sistemas complementarios de recolección especializada (Guerrero et al., 2013).

Figura 5

Media de la variable: Camión gancho

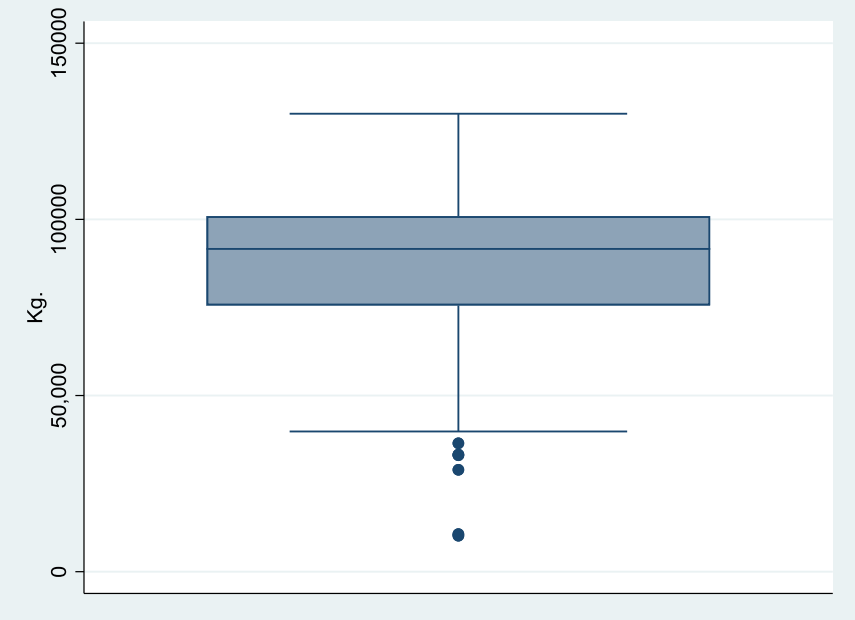


Nota. La figura muestra la media de la variable Camión gancho, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de otras modalidades, la recolección con camión gancho demostró un desempeño altamente consistente. Estadísticamente, esto se refleja en una distribución equilibrada (media de 85053,33 kg y una mediana de 91610 k) y una dispersión moderada (coeficiente de variación de 34,24%). En términos temporales, el uso de estos vehículos experimentó un alza progresiva hasta alcanzar su mayor promedio en 2023, con 111315 kg, lo que indicaría una mayor demanda operativa para el traslado de los residuos. Pese a esta tendencia positiva, en 2024 el promedio de recolección se desplomó bruscamente a 30830 kg. Es crucial precisar que este descenso radical no obedece a una reducción en la capacidad del servicio, sino a que el registro de datos para el año 2024 se encuentra incompleto, subestimando el volumen real de ese periodo.

Figura 6

Diagrama de caja y bigotes: Camión gancho



Nota. La figura muestra el diagrama de caja y bigote (boxplot) de la variable Camión gancho, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la variable Camión gancho, la figura 6 ilustra una caja central relativamente simétrica y compacta, lo que indica estabilidad en el 50% de las observaciones centrales, con una mediana de 91610,00 kg. Sin embargo, la distribución general presenta una asimetría negativa (-0,97) originada por la tracción del extremo inferior de los datos. Este comportamiento es fuertemente influenciado por la presencia de tres valores atípicos inferiores, los cuales descienden hasta un mínimo de 10210,00 kg y representan eventos o periodos anómalos de muy baja recolección que ameritan un análisis contextual riguroso dentro de la operación del servicio. Al respecto, el análisis de los datos permite determinar que dichos valores atípicos provienen de los registros del año 2024, cuya falta de completitud cronológica genera cifras artificialmente bajas que el modelo estadístico identifica como anomalías fuera del rango normal.

Tabla 9

Análisis exploratorio de datos: Otros

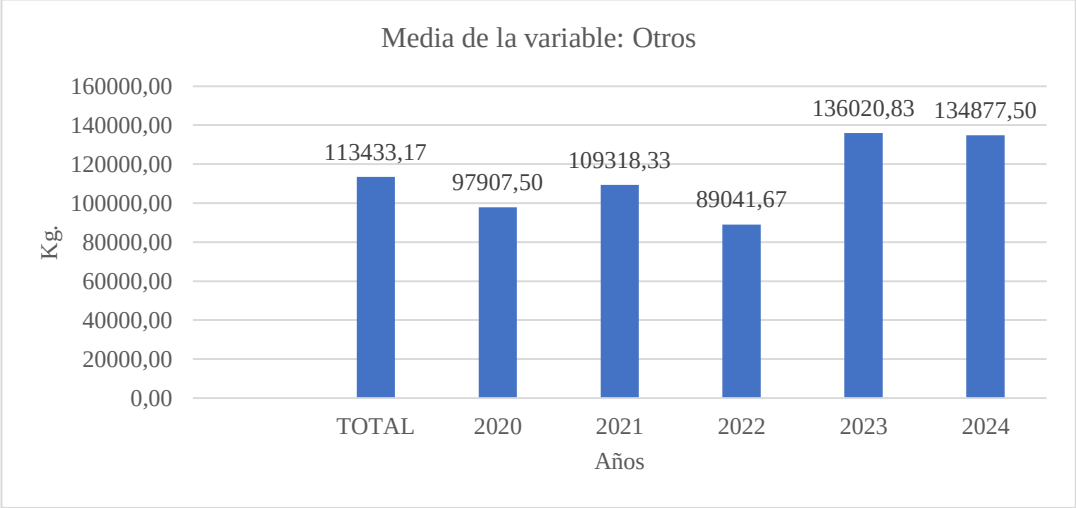
		Otros					
		TOTAL	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Media		113433,17	97907,50	109318,33	89041,67	136020,83	134877,50
95% de intervalo de confianza para la media	**Límite inferior**	97287,61	72857,78	98454,36	68944,74	60235,98	107262,12
	Límite superior	129578,72	122957,22	120182,31	109138,60	211805,69	162492,88
Media recortada al 5%		105646,48	97427,22	110152,04	88881,30	122762,59	133851,67
Mediana		99725,00	80385,00	110025,00	89320,00	88330,00	136550,00
Desv. Desviación		62500,35	39425,42	17098,67	31630,29	119276,79	43463,49
Mínimo		34610,00	34610,00	73380,00	35630,00	62540,00	70780,00
Máximo		448150,00	169850,00	130250,00	145340,00	448150,00	217440,00
Rango		413540,00	135240,00	56870,00	109710,00	385610,00	146660,00
Rango intercuartil		49657,50	62232,50	23840,00	48647,50	33482,50	72895,00
Asimetría		3,27	0,33	-0,66	0,02	2,24	0,23
Curtosis		14,76	-0,69	0,01	-0,27	4,26	-0,38
Coeficiente de variación		55,10	40,27	15,64	35,52	87,69	32,22
Q1 (25%)		79210,00	72302,50	98955,00	65392,50	78205,00	97832,50
Q3 (75%)		128867,50	134535,00	122795,00	114040,00	111687,50	170727,50

Nota. La tabla muestra los estadísticos obtenidos de la variable: Otros, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

La literatura científica desarrollada en ciudades latinoamericanas y andinas sostiene que las categorías residuales secundarias suelen presentar una lata variabilidad debido a factores estacionales, factores climáticos e incluso económicos, así como a la informalidad en ciertas actividades urbanas (Memon, 2010).

Figura 7

Media de la variable: Otros



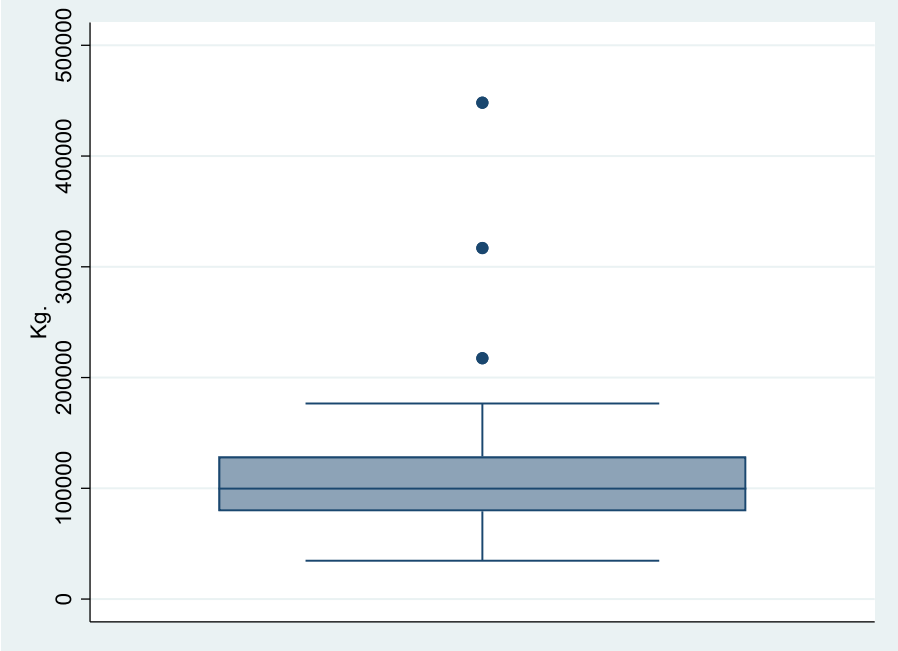
Nota. La figura muestra la media de la variable Otros. Fuente: Elaboración propia.

La categoría "Otros" representa la variable más inestable dentro del manejo de residuos sólidos urbanos en Ambato durante el periodo analizado. Esta fuerte irregularidad se refleja en un coeficiente de variación global del 55,10% y en una elevada desviación estándar de 62500,35 kg respecto a su media de 113433,17 kg. La ocurrencia de eventos extremos en la generación de esta clase de desechos queda expuesta por la amplia oscilación de las cifras, las cuales van desde los 34610 kg hasta los 448150 kg, con fluctuaciones importantes marcadas por un rango intercuartílico de 49657,50 kg.

Por otra parte, un evento particularmente crítico fue en el año 2023, puesto que en este se concentró tanto el mayor volumen promedio de recolección con un 136020,83 kg como la inestabilidad estadística más severa de toda la serie (coeficiente de variación de 87,69%).

Figura 8

Diagrama de caja y bigotes: Otros



Nota. La figura muestra el diagrama de caja y bigote (boxplot) de la variable Otros, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

La variable Otros desechos exhibe el comportamiento más asimétrico del conjunto de datos analizado. La caja se muestra altamente comprimida en la parte inferior del eje, con una mediana de 99725,00 kg y un rango intercuartílico estrecho, lo que indica que la recolección habitual es predominantemente baja y constante. No obstante, la distribución se caracteriza por una extrema asimetría positiva (3,27) y una curtosis elevada (14,76), evidenciada por un bigote superior empequeñecido frente a tres valores atípicos superiores masivos, cuyo valor máximo alcanza los 448150,00 kg, demostrando que esta categoría es sumamente propensa a eventos esporádicos de generación atípica.

Tabla 10

Análisis exploratorio de datos: Global

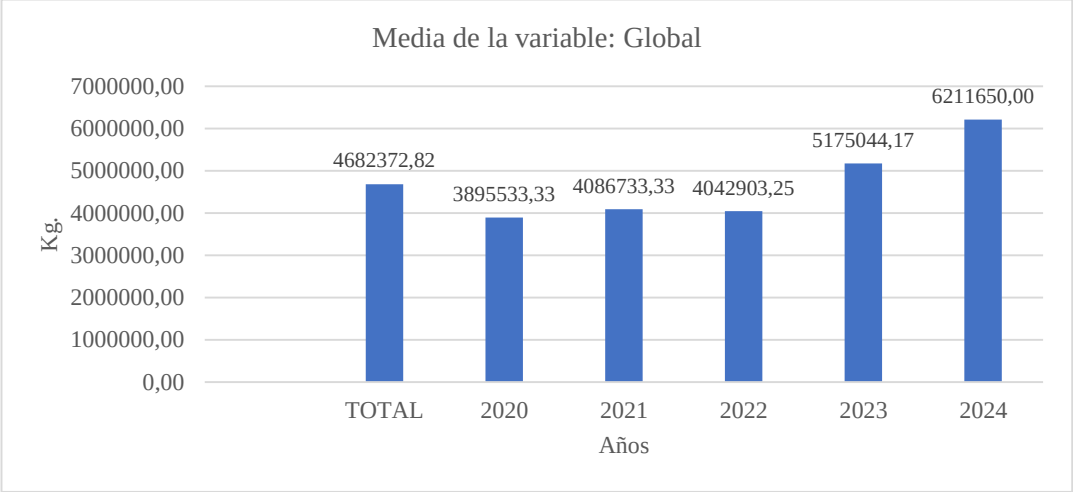
		Otros					
		TOTAL	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Media		113433,17	97907,50	109318,33	89041,67	136020,83	134877,50
95% de intervalo de confianza para la media	**Límite inferior**	97287,61	72857,78	98454,36	68944,74	60235,98	107262,12
	Límite superior	129578,72	122957,22	120182,31	109138,60	211805,69	162492,88
Media recortada al 5%		105646,48	97427,22	110152,04	88881,30	122762,59	133851,67
Mediana		99725,00	80385,00	110025,00	89320,00	88330,00	136550,00
Desv. Desviación		62500,35	39425,42	17098,67	31630,29	119276,79	43463,49
Mínimo		34610,00	34610,00	73380,00	35630,00	62540,00	70780,00
Máximo		448150,00	169850,00	130250,00	145340,00	448150,00	217440,00
Rango		413540,00	135240,00	56870,00	109710,00	385610,00	146660,00
Rango intercuartil		49657,50	62232,50	23840,00	48647,50	33482,50	72895,00
Asimetría		3,27	0,33	-0,66	0,02	2,24	0,23
Curtosis		14,76	-0,69	0,01	-0,27	4,26	-0,38
Coeficiente de variación		55,10	40,27	15,64	35,52	87,69	32,22
Q1 (25%)		79210,00	72302,50	98955,00	65392,50	78205,00	97832,50
Q3 (75%)		128867,50	134535,00	122795,00	114040,00	111687,50	170727,50

Nota. La tabla muestra los estadísticos obtenidos de la variable: Global, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de la variable “Global” de residuos sólidos urbanos durante el periodo de estudio se caracteriza por una marcada inestabilidad estructural y de fluctuaciones significativas. Esta variabilidad se evidencia al contrastar la media global de 113433,17 kg con una mediana inferior de 99725 kg; una discrepancia entre las medidas de tendencia central que sugiere una distribución asimétrica fuertemente influenciada por la presencia de valores extremos en la generación de desechos.

Figura 9

Media de la variable: Global

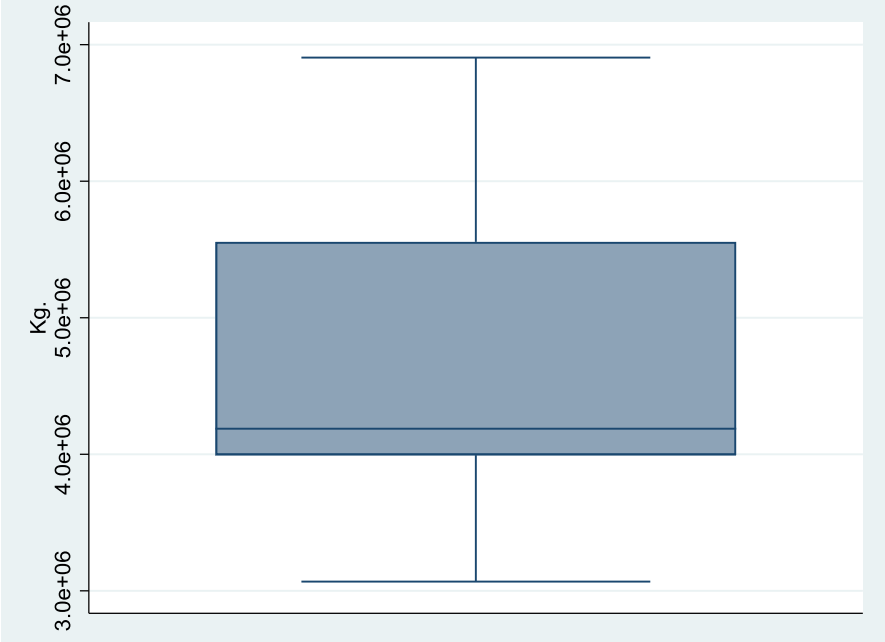


Nota. La figura muestra la media de la variable Global, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva de dispersión, la heterogeneidad de esta categoría queda confirmada por una desviación estándar de 62500,35 kg y un coeficiente de variación del 55,10%. A esta alta dispersión relativa se suma un amplio rango de 413540 kg, el cual refleja una brecha sustancial entre los registros mínimos y máximos. La literatura enfocada en ciudades intermedias de economías emergentes señala una clara relación de causa y efecto: el constante crecimiento poblacional, sumado a la expansión territorial y al mayor dinamismo económico, está transformando la producción de residuos sólidos urbanos en un proceso de alta complejidad e imprevisibilidad (Ferronato & Torretta, 2019).

Figura 10

Diagrama de caja y bigotes: Global



Nota. La figura muestra el diagrama de caja y bigote (boxplot) de la variable Global, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la recolección Global (Empresa privada DSU) muestra una dinámica de distribución particular y a una escala mayor, oscilando entre los tres y siete millones de kilogramos. La figura 10 detalla una marcada asimetría positiva en el cuerpo de los datos, dado que la mediana se sitúa levemente por encima de los datos, dado que la mediana se sitúa levemente por encima de los cuatro millones de kilogramos, posicionándose notablemente más cerca del primer cuartil. Aunque el bigote superior es considerablemente más extenso que el inferior, la variable no presenta valores atípicos estadísticos, lo que sugiere que estas alzas forman parte de la elasticidad operativa regular de la concesionaria.

Tabla 11

Análisis exploratorio de datos: DSU

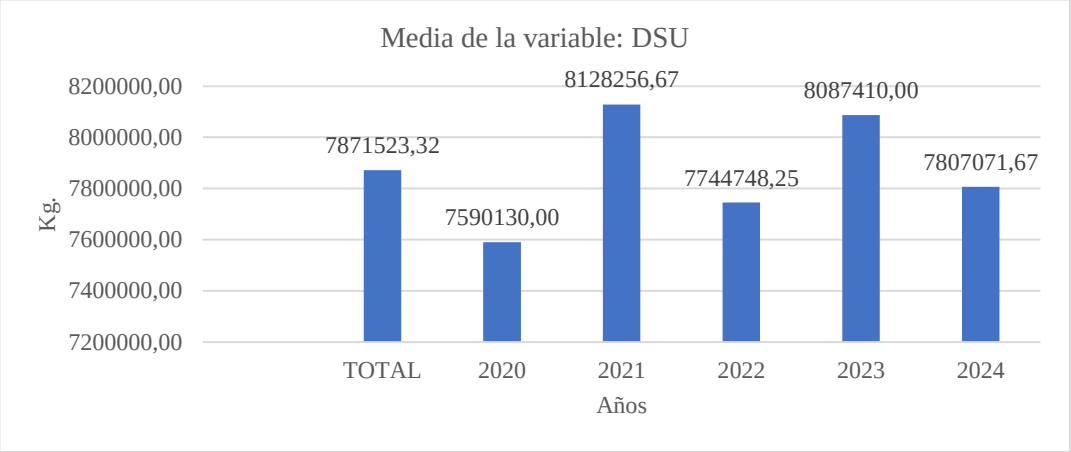
		DSU					
		TOTAL	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Media		7871523,32	7590130,00	8128256,67	7744748,25	8087410,00	7807071,67
95% de intervalo de confianza para la media	**Límite inferior**	7733195,54	7200424,41	7963012,02	7378257,25	7785772,91	7456291,64
	Límite superior	8009851,09	7979835,59	8293501,31	8111239,25	8389047,09	8157851,70
Media recortada al 5%		7892679,24	7614805,56	8127547,41	7811703,61	8103045,00	7774605,19
Mediana		7924230,00	7676790,00	8179740,00	7895359,50	8030750,00	7787080,00
Desv. Desviación		535474,66	613352,51	260076,38	576815,36	474742,65	552088,08
Mínimo		6097630,00	6235260,00	7651810,00	6097630,00	7051190,00	7034970,00
Máximo		9163570,00	8500840,00	8617470,00	8186670,00	8842200,00	9163570,00
Rango		3065940,00	2265580,00	965660,00	2089040,00	1791010,00	2128600,00
Rango intercuartil		532290,00	847620,00	378127,50	471702,50	502887,50	696247,50
Asimetría		-0,89	-0,77	-0,08	-2,43	-0,42	1,24
Curtosis		2,41	0,97	0,22	6,63	1,29	2,55
Coeficiente de variación		6,80	8,08	3,20	7,45	5,87	7,07
Q1 (25%)		7659825,00	7167072,50	7915797,50	7604632,50	7875485,00	7424425,00
Q3 (75%)		8192115,00	8014692,50	8293925,00	8076335,00	8378372,50	8120672,50

Nota. La tabla muestra los estadísticos obtenidos de la variable: Desechos sólidos urbanos (DSU), en Kg. Fuente: Elaboración propia.

El análisis exploratorio revela un patrón de generación estructuralmente elevado y constante. Esta estabilidad queda demostrada por la estrecha cercanía entre sus medidas de tendencia central, registrando una media global de 7871523,32 kg y una mediana de 7924230 kg, lo que demostraría una distribución equilibrada con escasa influencia de valores atípicos. Adicionalmente, el bajo coeficiente de variación de 6,80% subraya una dispersión mínima en los costos, confirmando de esta manera que la ciudad mantuvo volúmenes de basura persistentemente altos y homogéneos.

Figura 11

Media de la variable: DSU

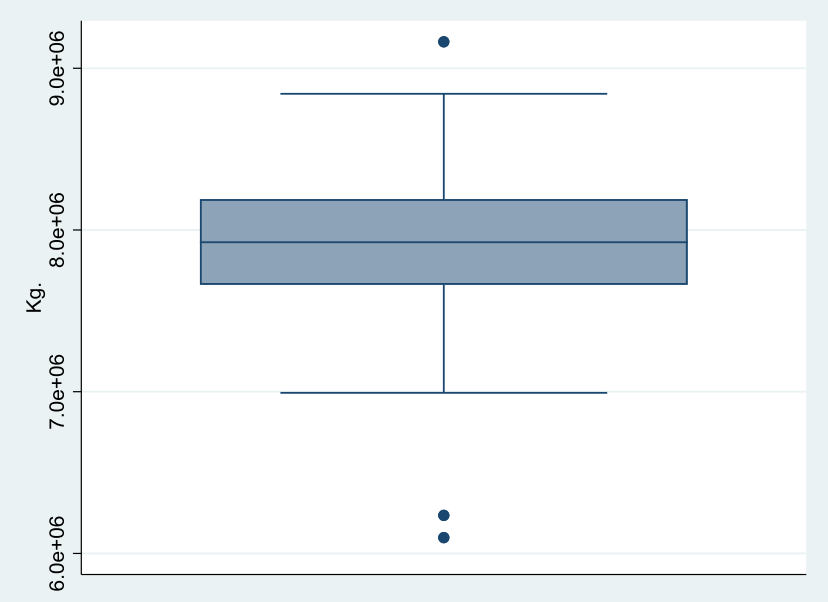


Nota. La figura muestra la media de la variable DSU, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva temporal, el año 2021 destacó por registrar el promedio máximo de 8128256,67 kg, un repunte directamente asociado a la reactivación económica posterior a las restricciones del COVID-19. Este comportamiento es congruente con la literatura científica, la cual advierte que el incremento del consumo doméstico, el auge del comercio electrónico y el retorno de las actividades urbanas dispararon la producción municipal de residuos a nivel global (Nzediegwu & Chang, 2020). Pese a que en 2022 se observó una ligera contracción con una media de 7744748,25 kg, los índices de generación se conservaron en niveles críticamente altos hasta el 2024.

Figura 12

Diagrama de caja y bigotes: DSU



Nota. La figura muestra el diagrama de caja y bigote (boxplot) de la variable DSU, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la figura 12 consolida el comportamiento macro del sistema, evidenciando una notable estabilidad central respaldada por el coeficiente de variación más bajo de todo el estudio (6,80%). La mediana de 7924230,00 kg se ubica en el centro exacto de una caja sumamente compacta, indicando una generación de desechos inelástica en la mayor parte del tiempo.

Para el desarrollo del segundo objetivo específico, se utilizó el coeficiente rho de Spearman como técnica estadística para analizar la relación entre los diferentes tipos de residuos sólidos domésticos y el costo en dólares asociado a su gestión. Este procedimiento permitió identificar asociaciones estadísticamente significativas entre las variables operativas del sistema, facilitando una mejor comprensión de las interacciones existentes dentro del proceso de manejo de residuos.

Tabla 12

Correlación de Spearman

		Costo en dólares	Carga lateral (Kg)	Camión gancho (Kg)	Otros (Kg)	Global (Kg)	Desechos sólidos urbanos DSU (Kg)
Costo en dólares	Rho	1,000					
	Sig. (bil)						
Carga lateral (Kg)	Rho	0,391**	1,000				
	Sig. (bil)	0,001					
Camión gancho (Kg)	Rho	,494**	0,242*	1,000			
	Sig. (bil)	0,000	0,039				
Otros (Kg)	Rho	-0,198	-,172	-0,209	1,000		
	Sig. (bil)	0,065	0,102	0,059			
Global (Kg)	Rho	,160	-0,647**	-0,012	0,197	1,000	
	Sig. (bil)	0,111	0,000	0,464	0,065		
Desechos sólidos urbanos DSU (Kg)	Rho	0,949**	0,320**	0,505**	-0,133	0,307**	1,000
	Sig. (bil)	0,000	0,008	0,000	0,156	0,009	

****. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).**

***. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).**

Nota. Coeficientes de correlación Rho de Spearman entre las variables financieras (costo en dólares), operativas y de generación de residuos. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados evidencian una correlación positiva muy fuerte entre el costo en dólares y los Desechos Sólidos Urbanos (DSU), con un coeficiente Rho de 0,949 y un nivel de significancia estadística de 0,001. Este resultado indica que existe una asociación directa entre ambas variables, de manera que, a mayores cantidades de residuos sólidos urbanos gestionados, mayores son los costos económicos requeridos para su manejo.

Asimismo, se identificaron correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre el costo en dólares y los sistemas de recolección analizados. El transporte mediante camión gancho presentó una correlación positiva moderada (0,494), mientras que la modalidad de carga lateral registró una correlación positiva de menor magnitud (0,391). Estos hallazgos sugieren que el incremento en la cantidad de residuos

movilizados mediante estos sistemas se asocia con mayores costos operativos, posiblemente debido a la demanda de recursos relacionados con el transporte, el mantenimiento de equipos y la operación del servicio.

Por otra parte, las variables "Otros" y "Global" no mostraron correlaciones estadísticamente significativas con el costo en dólares. La categoría "Otros" presentó un coeficiente de correlación de -0,198 con un valor de 0,065, mientras que la variable "Global" registró un coeficiente de 0,160 y una significancia de 0,111. Dado que ambos valores de significancia son superiores al nivel de referencia de 0,05, no existe evidencia estadística suficiente para afirmar la existencia de una relación significativa entre estas variables y el costo económico de la gestión de residuos

Con el propósito de dar cumplimiento al tercer objetivo específico de la investigación, el cual consistió en evaluar la eficiencia temporal en el manejo de los residuos, se estructuró el presente desglose de resultados. La información recolectada fue procesada sistemáticamente a través de tablas estadísticas y matrices de comparación temporal, aplicando un modelo matemático de índices de eficiencia. Esta metodología permite examinar el rendimiento de la gestión desde una perspectiva bidireccional, es decir, evaluando los datos tanto hacia atrás como hacia adelante en relación con cada año de referencia. A partir de este diseño, se identificaron los momentos con mejor desempeño en el servicio y se describieron las variaciones en kilogramos de las variables operativas: carga lateral, camión gancho, otros, el total global y los Desechos Sólidos Urbanos (DSU) durante el periodo 2020-2024.

Con el propósito de obtener matemáticamente dichos índices de eficiencia, se implementó la formulación que se detalla a continuación:

$$IE_{cl} = \frac{promedio\ del\ año_i}{promedio\ del\ año_{i+1}} \qquad [3]$$

Donde IE_{cl}; Índice de eficiencia (carga lateral)

$promedio\ del\ año_i$; año inicial del periodo

$promedio\ del\ año_{i+1}$; año consecutivo del periodo

Ejemplo:

$$IE_{cl} = \frac{promedio\ del\ año_{2020}}{promedios\ del\ año_{2021}} \qquad [4]$$

$$IE_{cl} = \frac{2006450{,}83}{2443009{,}17} = 0{,}82\ veces \qquad [5]$$

Una vez definido el año de partida, el análisis no se limitó a seguir una línea de tiempo unidireccional. Para los periodos que continuaron al 2020, la operación matemática se replicó en sentido inverso; esto significa que el objetivo central fue capturar la dinámica comparativa hacia atrás y hacia adelante del año de referencia. A partir de la aplicación de este enfoque metodológico, se examinaron exhaustivamente los diferentes tipos de transporte y las clasificaciones de desechos movilizados en kilogramos.

Tabla 13

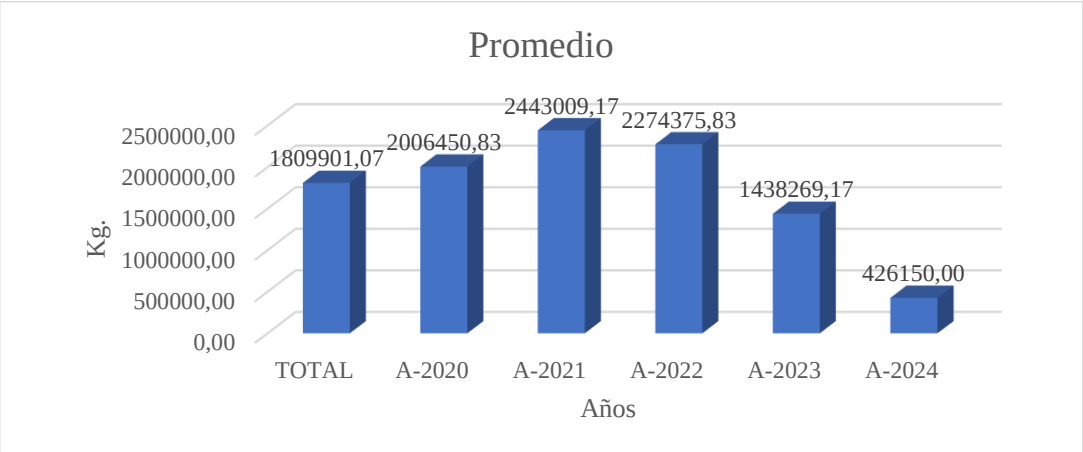
Promedio de la variable carga lateral

TOTAL	A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024
1809901,07	2006450,83	2443009,17	2274375,83	1438269,17	426150,00

Nota. Resultados obtenidos de las estadísticas descriptivas de la variable Carga lateral, en Kg. del primer objetivo de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

Promedio en años de la variable Carga lateral



Nota. Promedio de la variable Carga lateral, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Matriz de eficiencia comparativa de la Carga lateral de desechos orgánicos urbanos domésticos (2020-2024)

Años		A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024
		2006450,83	2443009,17	2274375,83	1438269,17	426150,00
A-2020	2006450,83	**1,00**	1,22	1,13	0,72	0,21
A-2021	2443009,17	0,82	**1,00**	0,93	0,59	0,17
A-2022	2274375,83	0,88	1,07	**1,00**	0,63	0,19
A-2023	1438269,17	1,40	1,70	1,58	**1,00**	0,30
A-2024	426150,00	4,71	5,73	5,34	3,38	**1,00**

Nota. *datos solo hasta septiembre. Fuente: Elaboración propia.

La matriz de eficiencia relacionada con la cantidad de kilogramos de desechos sólidos, transportados mediante vehículos de carga lateral, demostró diferencias significativas entre todos los años analizados. La comparación entre el año 2020 y 2021 mostró un índice de 1,22, indicando que en 2021 el volumen promedio transportado fue superior respecto al año 2020. De la misma manera, el año 2022 presentó un comportamiento similar, superando al año 2020, lo que manifiesta un incremento sostenido en la operación durante esos periodos.

Al comparar el año 2023 con los años anteriores, se observaron índices inferiores a 1 frente a los años 2020, 2021 y 2022, reflejando una disminución en la cantidad de residuos movilizados mediante carga lateral. Particularmente, frente al año 2021 el índice fue de 0,59, constatando una reducción considerable del desempeño operativo. La caída más pronunciada se registró en el año 2024, cuyos índices comparativos frente a los años 2020, 2021, 2022 y 2023 fueron de 0,21; 0,17; 0,19 y 0,30 respectivamente, mostrando una fuerte disminución en el último periodo analizado. En sentido inverso, los valores comparativos del año 2024 respecto a todos los años anteriores superaron ampliamente la unidad, alcanzando índices de 4,71 frente al año 2020 y 5,73 frente al año 2021 y esto se explica debido a que el año 2024 presentó el promedio absoluto más bajo de toda la serie, generando una relación proporcional inversa significativamente elevada respecto a los demás años evaluados.

Tabla 15

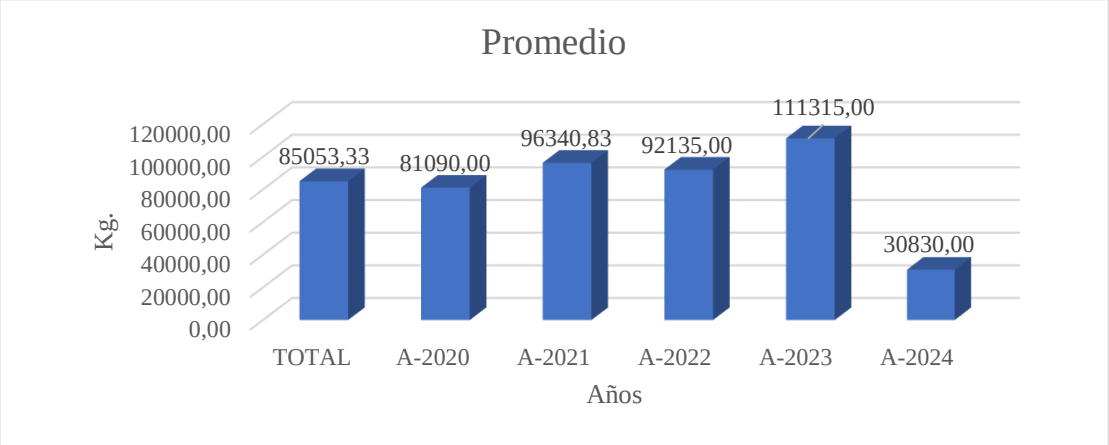
Promedio de la variable Camión gancho

TOTAL	A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024
85053,33	81090,00	96340,83	92135,00	111315,00	30830,00

Nota. Resultados obtenidos de las estadísticas descriptivas de la variable Camión gancho, en Kg. del primer objetivo de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Promedio en años de la variable Camión gancho



Nota. Promedio de la variable Camión gancho, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16

Matriz de eficiencia comparativa del transporte de desechos mediante camión gancho (2020-2024)

Años		A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024*
		81090,00	96340,83	92135,00	111315,00	30830,00
A-2020	81090,00	**1,00**	1,19	1,14	1,37	0,38
A-2021	96340,83	0,84	**1,00**	0,96	1,16	0,32
A-2022	92135,00	0,88	1,05	**1,00**	1,21	0,33
A-2023	111315,00	0,73	0,87	0,83	**1,00**	0,28
A-2024	30830,00	2,63	3,12	2,99	3,61	**1,00**

Nota. *datos solo hasta septiembre. Fuente: Elaboración propia.

La matriz de eficiencia asociada al transporte de kilogramos de desechos mediante este tipo de vehículos mostró un comportamiento relativamente estable entre los años 2020, 2021 y 2022. La comparación entre el año 2021 frente al 2020 evidenció un incremento

con un índice de 1,19, mientras que en el año 2022 este superó al año 2020 con un índice de 1,14, indicando un crecimiento moderado en la cantidad de residuos transportados en el inicio del periodo. El año 2023 presentó los índices más altos frente a todos los años previos, alcanzando valores de 1,37 frente al año 2020, 1,16 frente al año 2021 y 1,21 frente al año 2022.

Por otra parte, el año 2024 mostró una disminución considerable respecto a todos los periodos anteriores. Los índices de eficiencia de los periodos previos frente a este último año fueron de 0,38 frente al año 2020, 0,32 frente al año 2021, 0,33 frente a año 2033 y 0,28 frente al año 2023, reflejando una reducción importante en el promedio de los residuos movilizados mediante este sistema de transporte. De manera inversa, las comparaciones de los años anteriores respecto al año 2024 presentaron índices superiores a 2 y 3 (alcanzando un máximo de 3,61 en el año 2023), debido al menor promedio registrado en 2024.

Tabla 17

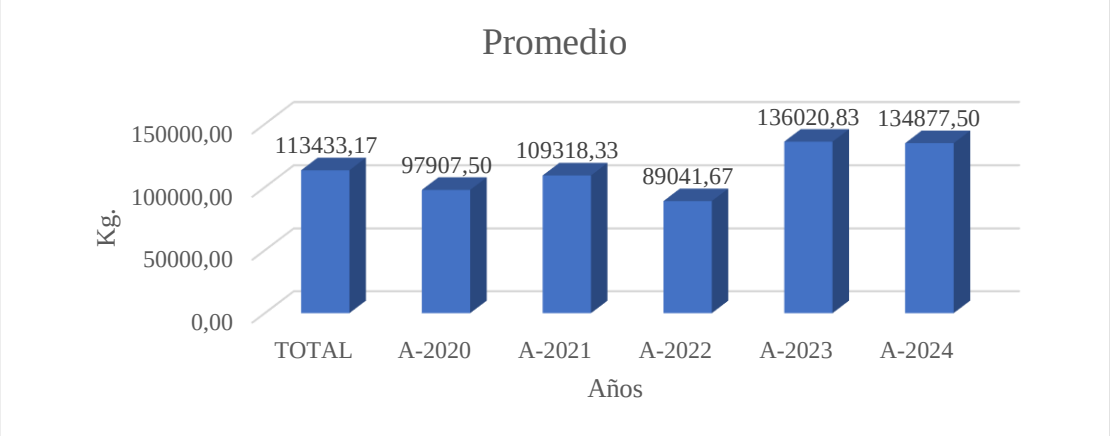
Promedio de la variable Otros

TOTAL	A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024
113433,17	97907,50	109318,33	89041,67	136020,83	134877,50

Nota. Resultados obtenidos de las estadísticas descriptivas de la variable Otros, en Kg. del primer objetivo de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Promedio en años de la variable Otros



Nota. Promedio de la variable Otros, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

Matriz de eficiencia comparativa de la variable Otros (2020-2024)

Años		A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024*
		97907,50	109318,33	89041,67	136020,83	134877,50
A-2020	97907,50	**1,00**	1,12	0,91	1,39	1,38
A-2021	109318,33	0,90	**1,00**	0,81	1,24	1,23
A-2022	89041,67	1,10	1,23	**1,00**	1,53	1,51
A-2023	136020,83	0,72	0,80	0,65	**1,00**	0,99
A-2024	134877,50	0,73	0,81	0,66	1,01	**1,00**

Nota. *datos solo hasta septiembre. Fuente: Elaboración propia.

La matriz de eficiencia relativa asociada a la gestión y manejo de residuos clasificados dentro del sistema bajo la variable "Otros" permite evaluar las fluctuaciones operativas de la recolección no convencional. Es fundamental precisar que esta variable agrupa el tonelaje total de desechos sólidos recolectados por vehículos alternativos y de menor escala, tales como volquetas, camionetas y camiones pequeños, encargados de la cobertura en zonas de difícil acceso o de la atención a requerimientos específicos del servicio urbano.

En términos de rendimiento, el sistema mostró un comportamiento con variaciones moderadas entre los periodos 2020, 2021 y 2022. La comparación del año 2021 diferente al año 2020 demostró un índice de 1,12, mientras que el año 2022 reflejó una contracción temporal en esta variable, registrando un índice de 0,91 respecto al año 2020 y de 0,81 respecto al año 2021. Los años 2023 y 2024 presentaron los índices de eficiencia y niveles operativos más altos de toda la serie analizada, mostrando un incremento en la gestión de estos residuos. El año 2023 alcanzó valores de eficiencia relativa de 1,39 frente al año 2020, 1,24 frente al año 2024 y un notable índice de 1,53 al compararse con el año 2022. En sí, el año 2023 registró el mayor promedio absoluto de otros desechos sólidos urbanos con 136020,83 kg dentro del periodo de estudio.

Por otra parte, el año 2024 exhibió un comportamiento sumamente cercano al pico histórico del año 2023, alcanzando un promedio de 134877,50 kg. Al evaluar sus índices de eficiencia respecto a los periodos iniciales, el año 2024 superó al año 2020 con un índice de 1,38, al año 2021 con un índice de 1,23 y al año 2022 con un índice

de 1,51, manteniendo una relación prácticamente simétrica y un comportamiento operativo equivalente al del año 2023 con un índice de 0,99.

Tabla 19

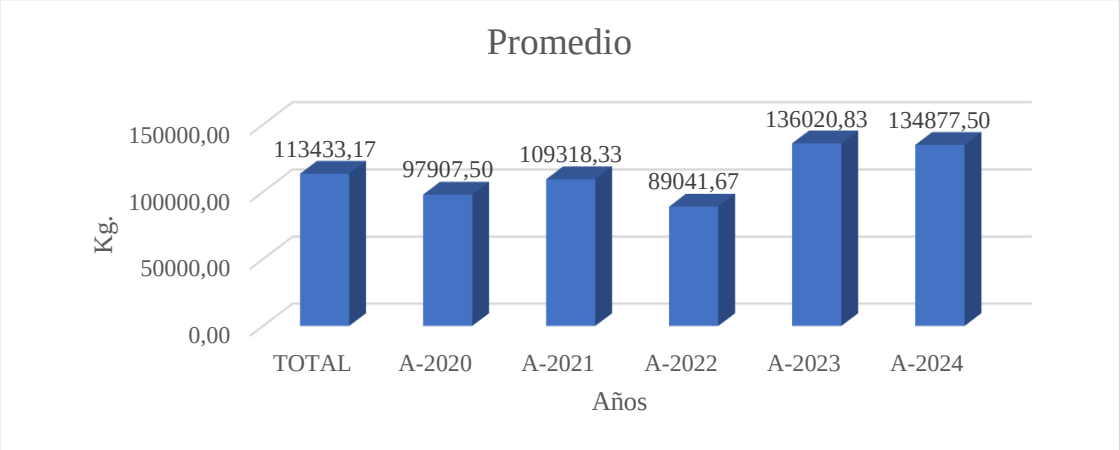
Promedio de la variable Global

TOTAL	A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024
113433,17	97907,50	109318,33	89041,67	136020,83	134877,50

Nota. Resultados obtenidos de las estadísticas descriptivas de la variable Global, en Kg. del primer objetivo de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Promedio en años de la variable global



Nota. Promedio de la variable Global, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Matriz de eficiencia comparativa de la empresa privada DSU kg global (2020-2024)

Años		A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024*
		3895533,33	4086733,33	4042903,25	5175044,17	6211650,00
A-2020	3895533,33	**1,00**	1,05	1,04	1,33	1,59
A-2021	4086733,33	0,95	**1,00**	0,99	1,27	1,52
A-2022	4042903,25	0,96	1,01	**1,00**	1,28	1,54
A-2023	5175044,17	0,75	0,79	0,78	**1,00**	1,20
A-2024	6211650,00	0,63	0,66	0,65	0,83	**1,00**

Nota. *datos solo hasta septiembre. Fuente: Elaboración propia.

La matriz de eficiencia asociada a la cantidad total de desechos sólidos gestionados por el sector privado mostró un comportamiento relativamente estable y homogéneo

durante los años 2020, 2021 y 2022. La comparación del año 2021 frente al año 2020 certificó un ligero incremento (índice de 1,05), mientras que el año 2022 mantuvo una tendencia casi idéntica al superar al año 2020 (índice de 1,04) y situarse prácticamente a la par del año 2021 con un índice de 0,99. El año 2023 marcó el inicio de un crecimiento significativo en el sistema, registrando índices de eficiencia superiores frente a los periodos previos.

Por otra parte, el año 2024 presentó el desempeño y los índices de actividad más altos de todo el periodo de estudio, consolidando la tendencia expansiva. Al evaluar sus índices de eficiencia respecto a las etapas iniciales, el año 2024 superó al año 2020 con un índice de 1,54. De la misma manera, este último periodo superó el récord del año previo con un índice de 1,20 frente al año 2023, demostrando que durante el año 2024 se movilizó el mayor promedio absoluto de desechos de toda la serie analizada con un total de 6211650,00 kg.

Tabla 21

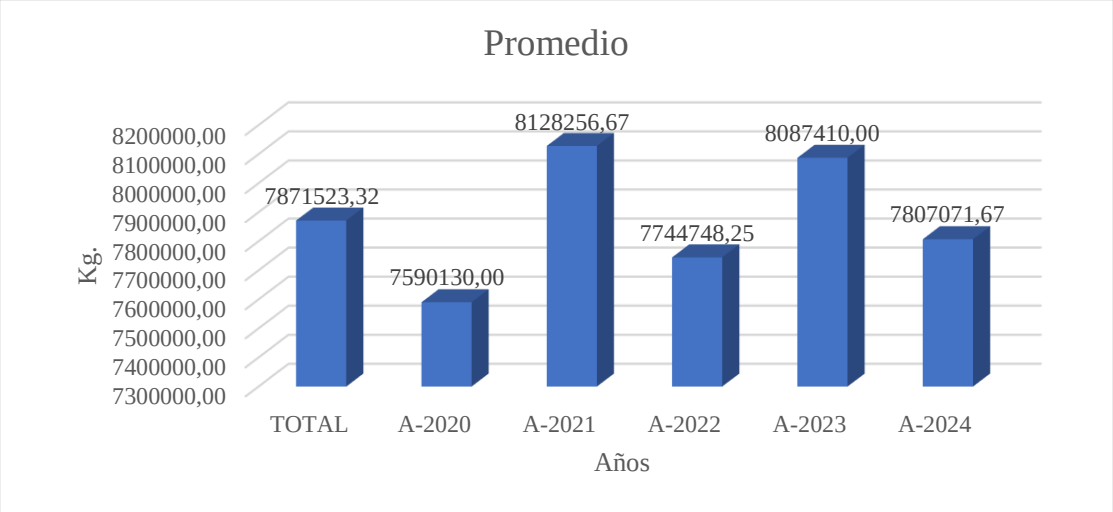
Promedio de la variable DSU

TOTAL	A-2020	A-2021	A-2022	A-2023	A-2024
7871523,32	7590130,00	8128256,67	7744748,25	8087410,00	7807071,67

Nota. Resultados obtenidos de las estadísticas descriptivas de la variable DSU, en Kg. del primer objetivo de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Promedio en años de la variable DSU



Nota. Promedio de la variable DSU, en Kg. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Matriz de eficiencia comparativa de desechos sólidos urbanos DSU kg (2020-2024)

Años		**A-2020**	**A-2021**	**A-2022**	**A-2023**	**A-2024***
		7590130,00	8128256,67	7744748,25	8087410,00	7807071,67
A-2020	7590130,00	**1,00**	1,07	1,02	1,07	1,03
A-2021	8128256,67	0,93	**1,00**	0,95	0,99	0,96
A-2022	7744748,25	0,98	1,05	**1,00**	1,04	1,01
A-2023	8087410,00	0,94	1,01	0,96	**1,00**	0,97
A-2024	7807071,67	0,97	1,04	0,99	1,04	**1,00**

Nota. *datos solo hasta septiembre. Fuente: Elaboración propia.

La matriz de eficiencia asociada a la cantidad total de kilogramos de residuos gestionados por el sistema mostró un comportamiento sumamente estable y homogéneo a lo largo de todo el periodo analizado. Al comparar el año 2021 frente al año 2020, se comprobó un incremento moderado con un índice de 1,07, alcanzando un promedio de 8128256,67 kg, el cual se posicionó como el valor más alto de la serie. Por su parte, el año 2022 reflejó una ligera contracción operativa al registrar un índice de 1,02 frente al año 2020 y una disminución respecto al año 2021 con un índice de 0,99. El año 2023 presentó índices de eficiencia prácticamente idénticos a los del

primer pico registrado en la serie, alcanzando un valor de 1,07 frente al año 2020 y situándose casi a la par con el año 2021 (índice de 0,99).

Por otra parte, el año 2024 presentó un comportamiento con variaciones mínimas respecto a las etapas previas. Al evaluar sus índices de eficiencia respecto a los periodos anteriores, el año 2024 superó ligeramente al año 2020 con un índice de 1,03 y al año 2022 con un índice de 1,01. De esta forma, el año 2024 se posicionó con un promedio de 7807071,67 kg, ratificando la estabilidad y el comportamiento lineal del sistema económico y operativo de gestión de DSU en el tiempo.

4.2 Verificación de la hipótesis o fundamentación de las preguntas de investigación

1. Planteamiento de hipótesis

a) Modelo lógico

H_o: No hay relación entre los costos y masa de desechos sólidos domésticos en Kg. recolectados anualmente por medio de la EPM-GIDSA, en el periodo 2020-2024.

H_1: Sí hay relación entre los costos y masa de desechos sólidos domésticos en Kg. recolectados anualmente por medio de la EPM-GIDSA, en el periodo 2020-2024.

b) Modelo matemático

H_o: $Rho = 0$

H_1: $Rho \neq 0$

c) Modelo estadístico

$$Rho = 1 - \frac{6\sum {d_i}^2}{n(n^2-1)} \quad [6]$$

2. Regla de decisión

Se rechaza la hipótesis nula si el valor de *r* calculada es igual a 0, caso contrario evidencia alguna fuerza de correlación

3. Cálculo de r, R^2 y ecuación de regresión

Tabla 23

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,955[a]	0,913	0,911	13321,75933

a. Predictores: (Constante), Desechos sólidos urbanos (Kg)

Nota. El modelo toma como variable predictora (constante) a los desechos sólidos urbanos totales en kilogramos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24

Coeficientes del modelo

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	-13972,548	25552,967		-0,547	0,587
	Desechos sólidos urbanos (Kg)	0,080	0,003	0,955	24,624	0,000

a. Variable dependiente: Costo en dólares

Nota. La tabla detalla los coeficientes de regresión para la proyección de costos en dólares. Fuente: Elaboración propia.

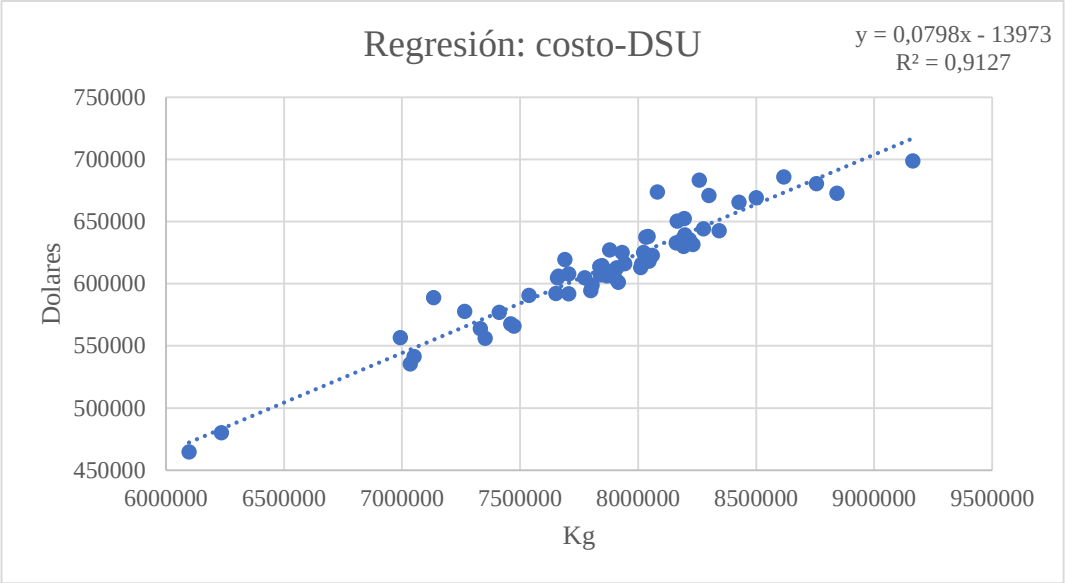
Ecuación de regresión estimada

$$y = bx + c \quad [7]$$

$$costo = 0{,}080(Kg.DSU) + (-13972{,}548) \quad [8]$$

Figura 18

Diagrama de dispersión



Nota. Representación visual de la dispersión de los datos y el ajuste de la recta de regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.

El análisis e interpretación de estos resultados se apoyan en los criterios teóricos de Levine et al. (2006) quien señala que los coeficientes de correlación sirven para medir de forma numérica qué tan fuerte y en qué dirección se mueve la asociación lineal entre dos variables. Asimismo, bajo esta perspectiva se establece que los valores del indicador se sitúan estrictamente dentro de un rango que va desde -1,00 hasta +1,00, clasificándose bajo los siguientes parámetros:

Tabla 25

Interpretación de los coeficientes de correlación

Coeficiente de correlación	Interpretación
-1,00	Correlación negativa perfecta
-0,95	Correlación negativa fuerte
-0,50	Correlación negativa moderada
-0,01	Correlación negativa débil
0,00	Ninguna correlación
+0,01	Correlación positiva débil
+0,50	Correlación positiva moderada
+0,95	Correlación positiva fuerte
+1,00	Correlación positiva perfecta

Nota. Los índices calculados operan dentro de un intervalo que va desde -1,00 hasta +1,00. El acercamiento de los datos hacia estos límites matemáticos demuestra que la fuerza de la relación entre las variables es superior. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusión

Los resultados obtenidos mediante el análisis de regresión lineal evidencian la existencia de una relación positiva y estadísticamente significativa entre la masa de desechos sólidos urbanos (DSU) recolectados y los costos de gestión de la EPM-GIDSA durante el período 2020-2024. El coeficiente de correlación obtenido (0,955) indica una asociación positiva muy fuerte entre ambas variables, mientras que el nivel de significancia asociado al modelo (0,001) demuestra que dicha relación no se debe al azar. En consecuencia, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Asimismo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,913$) muestra que el 91,3 % de la variación observada en los costos puede ser explicada por las variaciones en la cantidad de desechos sólidos urbanos recolectados. Este resultado evidencia una elevada capacidad explicativa del modelo y confirma que el volumen de residuos constituye un factor estrechamente asociado al comportamiento de los costos del servicio. Adicionalmente, el coeficiente Beta estandarizado (0,955) y el estadístico $t = 24,624$ corroboran la relevancia estadística de la variable predictora dentro del modelo de regresión. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

En relación con el objetivo general, se concluye que el sistema de recolección de desechos sólidos domésticos de Ambato presentó un desempeño económico y ambiental estable durante el período 2020–2024. Los niveles de recolección mantuvieron un comportamiento homogéneo entre los años analizados, evidenciando una capacidad operativa sostenida para atender la demanda del servicio. Aunque existieron ligeras variaciones en los volúmenes gestionados, estas no alteraron significativamente el funcionamiento general del sistema, lo que refleja una gestión que ha logrado conservar niveles adecuados de eficiencia en el tiempo.

Respecto al primer objetivo específico, se identificó que la gestión de recolección estuvo conformada por diferentes modalidades operativas y tipos de vehículos que permitieron atender las distintas necesidades del territorio. La caracterización realizada evidenció que las toneladas procesadas mantuvieron una tendencia relativamente constante durante el período de estudio, destacándose el año 2021 como el de mayor volumen recolectado. Estos resultados muestran que la estructura operativa del sistema ha mantenido continuidad en sus actividades y capacidad para responder a los requerimientos de la ciudad.

En cuanto al segundo objetivo específico, se determinó la existencia de una relación positiva y significativa entre los costos operativos y la cantidad de residuos recolectados. El análisis estadístico evidenció que el incremento de los volúmenes gestionados estuvo acompañado por un aumento de los costos del servicio, lo que confirma que ambas variables evolucionan de manera conjunta. Además, el elevado nivel explicativo del modelo indica que la generación y recolección de residuos constituye uno de los principales factores asociados al comportamiento económico del sistema.

Con relación al tercer objetivo específico, se estableció que la eficiencia de la gestión de recolección mostró un comportamiento estable durante el período 2020–2024. Los

índices comparativos reflejaron variaciones reducidas entre los años analizados, lo que demuestra que el sistema logró mantener niveles similares de desempeño operativo. Esta estabilidad constituye un indicador favorable para la planificación municipal, debido a que evidencia continuidad en la prestación del servicio y una adecuada capacidad de gestión frente a las demandas de recolección.

De manera general, la investigación permitió evidenciar que la eficiencia económica y ambiental del sistema de recolección de desechos sólidos domésticos en Ambato depende de una adecuada articulación entre la capacidad operativa, la gestión de costos y el volumen de residuos recolectados. Los resultados obtenidos constituyen una base técnica útil para fortalecer la toma de decisiones orientadas a optimizar recursos, mejorar la planificación del servicio y promover estrategias que contribuyan a una gestión de residuos más sostenible y eficiente en el largo plazo.

5.2 Limitaciones del estudio

La principal limitación de la investigación estuvo relacionada con la disponibilidad de información secundaria proporcionada por las entidades responsables de la gestión de residuos sólidos. Para el año 2024, algunos registros operativos presentaron información parcial, lo que restringió la comparación completa de ciertas variables durante todo el período de análisis.

Asimismo, el estudio se desarrolló exclusivamente con datos administrativos e históricos, por lo que no incorporó información primaria proveniente de encuestas, entrevistas o mediciones directas que permitieran complementar la evaluación de aspectos sociales y ambientales asociados al servicio.

5.3 Futuras temáticas de investigación

Como futuras líneas de investigación, se podría diseñar modelos matemáticos y herramientas de análisis espacial mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para restructurar las rutas de recolección en Ambato, evaluando la reducción en distancias, tiempos y emisiones contaminantes. Igualmente, resulta pertinente analizar la viabilidad técnica y aceptación ciudadana de tasas diferenciadas

basadas en el pago por generación o incentivos por reciclaje domiciliario para evaluar su impacto en el comportamiento del consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdulwakeel, S. A., & Bartholdson, O. (2018). The governmentality of rural household waste management practices in Ala Ajagbusi, Nigeria. *Social Sciences*, *7*(6). https://doi.org/10.3390/SOCSCI7060095

Agovino, M., Garofalo, A., & Mariani, A. (2016). Effects of environmental regulation on separate waste collection dynamics: Empirical evidence from Italy. *Journal of Cleaner Production*, *124*, 30–40. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.082

Ahmed, A., Hussain, A., Thahrani, S., Ahmed, S., Khoso, A. Q., & Soomro, B. (2021). Municipal Solid Waste Management and Waste to Energy in Karachi Pakistan †. *Engineering Proceedings*, *12*(1). https://doi.org/10.3390/engproc2021012019

Akther, A., Tahrim, F., Voumik, L. C., Esquivias, M. A., & Pattak, D. C. (2025). Municipal solid waste dynamics: Economic, environmental, and technological determinants in Europe. *Cleaner Engineering and Technology*, *24*. https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100877

Ampong, R. O., Miezah, K., Banunle, A., Amuah, E. E. Y., & Amoah, E. G. (2024). Comparative analysis of the effectiveness and efficiency of formal and informal waste collectors in urban waste management system. *Heliyon*, *10*(20). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39017

Anand, T., Chatrath, S. K., Ramachandran, J., Batra, G., Dale, N. F., Tze, H. K., Bansal, R., & Govindakrishnan, D. (2024). Antecedents of online learning effectiveness and its impact on educational ethics: a comparative study between india and malaysia. *Journal of Applied Structural Equation Modeling*, *8*(2). https://doi.org/10.47263/JASEM.8(2)02

Andersen, M. S. (2007). An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, *2*(1), 133–140. https://doi.org/10.1007/s11625-006-0013-6

Angouria-Tsorochidou, E., Walk, S., Körner, I., & Thomsen, M. (2023). Environmental and economic assessment of household food waste source-separation efficiency in a German case study. *Cleaner Waste Systems*, *5*. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100092

Antonelli, M., Giordano, C., Chiriacò, M. V., Casari, S., Cadel, E., Chen, P. J., Magnani, A., Pizzileo, G., Falasconi, L., Alboni, F., & Cicatiello, C. (2024). Assessing the Monetary Value and Environmental Impact of Household Food Waste in Italy. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(23). https://doi.org/10.3390/su162310614

Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, *63*(2), 201–206. https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181

Baibatyrova, B., Tileuberdi, A., Begentayev, M., Kuldeyev, E., Nyrlybayev, R., Altybayev, Z., Sarsenbayev, B., Abduova, A., & Sauganova, G. (2024). Improving the Methods of Solid Domestic Waste Disposal to Reduce Its Human Impact on the Environment. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(24). https://doi.org/10.3390/su162411071

Barbosa, A., Gonçalves, T. J. de C., & Simões, P. (2025). Improving Municipal Solid Waste Services: Insights into Efficiency, Productivity, and Recycling in Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(6). https://doi.org/10.3390/su17062519

Barra, C., & Falcone, P. M. (2024). Environmental performance of countries. Examining the effect of diverse institutional factors in a metafrontier approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, *95*. https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.101972

Bernardo, M., Forehead, H., De Carvalho Vallin, I., & Gonçalves-Dias, S. L. F. (2023). Management of Household Plastic Waste in Wollongong, Australia: The Role of Selective Waste Collection Systems. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(2). https://doi.org/10.3390/su15021726

Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. *Waste Management*, *74*, 86–97. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.009

Bø, E., & Baxter, J. (2025). Sustainability of the Collection of Norwegian Household Waste. *Logistics*, *9*(1). https://doi.org/10.3390/logistics9010021

Bø, E., & Flygansvær, B. (2025). A triple-bottom-line evaluation of municipal solid waste collection. *Sustainable Futures*, *10*. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100914

Bongers, A., & Casas, P. (2022). The circular economy and the optimal recycling rate: A macroeconomic approach. *Ecological Economics*, *199*. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107504

Braga, A. B. T., Coutinho, J. V., Isac da Silva Farias, C., & Ceglia, D. (2025). Sustainable Optimization of Urban Solid Waste Collection Routes in A Semiarid Region of Brazil: An Environmental Assessment Using the Integration of LCA and GIS. *Environmental Quality Management*, *35*(1). https://doi.org/10.1002/tqem.70172

Breitenmoser, L., Behner, D., Baertsch, A., Mondardini, M. R., & Hugi, C. (2024). Citizen Science-Based Waste Diaries: An Exploratory Case Study of Household Waste in Switzerland. *Sustainability (Switzerland)* , *16*(9). https://doi.org/10.3390/su16093800

Bruel, A., Kronenberg, J., Troussier, N., & Guillaume, B. (2019). Linking Industrial Ecology and Ecological Economics: A Theoretical and Empirical Foundation for the Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, *23*(1), 12–21. https://doi.org/10.1111/jiec.12745

Burneo, D., Cansino, J. M., & Yñiguez, R. (2020). Environmental and socioeconomic impacts of urban waste recycling as part of circular economy. The case of cuenca (Ecuador). *Sustainability (Switzerland)*, *12*(8). https://doi.org/10.3390/SU12083406

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

Chen, D. M. C., Bodirsky, B. L., Krueger, T., Mishra, A., & Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: trends and impacts. *Environmental Research Letters*, *15*(7). https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659

Chen, J., Qi, J., Gao, M., Li, Y., & Song, M. (2021). Economic growth, air pollution, and government environmental regulation: Evidence from 287 prefecture-level cities in China. *Technological and Economic Development of Economy*, *27*(5), 1119–1141. https://doi.org/10.3846/tede.2021.14875

Cheng, K. M., Tan, J. Y., Wong, S. Y., Koo, A. C., & Sharji, E. A. (2022). A Review of Future Household Waste Management for Sustainable Environment in Malaysian Cities. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(11). https://doi.org/10.3390/su14116517

Chithra, K., Anilkumar, P. P., & Naseer, M. A. (2016). Municipal Solid Waste Management, a Major Impacted Sector of Urban Environment Due to Residential Land Use Activities- Study of Kozhikode City. *Procedia Environmental Sciences*, *35*, 110–118. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.055

Chua, M. H., & Yau, Y. (2022). Institutional Analysis and Development (IAD) Approach for Determining the Effects of the Waste Charging Scheme on Household Food Waste Recycling. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Number 23). MDPI. https://doi.org/10.3390/su142316120

Coelli, T., Rao, D. S., O'Donnell, C., & Battese, G. (2005). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6

Daraio, C., Di Leo, S., & Simar, L. (2024). Viable eco-efficiency targets for waste collection communities. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-66077-y

Dasgupta, P. (2009). The Welfare Economic Theory of Green National Accounts. *Environmental and Resource Economics*, *42*(1), 3–38. https://doi.org/10.1007/s10640-008-9223-y

Delgado-Antequera, L., Gémar, G., Molinos-Senante, M., Gómez, T., Caballero, R., & Sala-Garrido, R. (2021). Eco-efficiency assessment of municipal solid waste services: Influence of exogenous variables. *Waste Management*, *130*, 136–146. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.022

Diaz, M. A. H., Lin, Y., Burli, P. H., Hossain, T., Hartley, D. S., & Thompson, V. S. (2025). Evaluation of sustainable waste management: An analysis of techno-

economic and life cycle assessments of municipal solid waste sorting and decontamination. *Resources, Conservation and Recycling*, *212*, 107970. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107970

Doussoulin, J. P., & Colther, C. (2022). Evaluating the Efficiency of Municipal Solid Waste Collection Services in Developing Countries: The Case of Chile. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(23). https://doi.org/10.3390/su142315887

Fan, Y. Van, Jiang, P., Hemzal, M., & Klemeš, J. J. (2021). An update of COVID-19 influence on waste management. *Science of The Total Environment*, *754*, 142014. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142014

Ferdinan, Utomo, S. W., Soesilo, T. E. B., & Herdiansyah, H. (2022). Household Waste Control Index towards Sustainable Waste Management: A Study in Bekasi City, Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(21). https://doi.org/10.3390/su142114403

Ferreira, D. C., Marques, R. C., Pedro, M. I., & Amaral, C. (2020). Economic inefficiency levels of urban solid waste management services in Portugal. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(10). https://doi.org/10.3390/su12104170

Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(6), 1060. https://doi.org/10.3390/ijerph16061060

Franco, E. F., Padrón Iglesia, W., & Pérez Teruel, K. (2022). Household Solid Waste Management in the Dominican Republic: Case of the Municipality of Puñal, Santiago. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(6). https://doi.org/10.3390/su14063149

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 11–32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

Goyes-Balladares, A. C., & Moya-Jiménez, R. C. (2022). Use and presentation of sustainable potentialities in the ambato city center urban movement model. *Habitat Sustentable*, *12*(2), 66–83. https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.02.05

Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, *33*(1), 220–232. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008

Guerrini, A., Carvalho, P., Romano, G., Cunha Marques, R., & Leardini, C. (2017). Assessing efficiency drivers in municipal solid waste collection services through a non-parametric method. *Journal of Cleaner Production*, *147*, 431–441. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.079

Hidalgo-Crespo, J., Rivas-García, P., García-Balandrán, E. E., Albalate-Ramírez, A., Quintero-Herrera, S., Velastegui-Montoya, A., Amaya Rivas, J. L., & Soto, M. (2024). Validating Circular End-of-Life Strategies for Domestic Post-Consumer Materials in the Latin American Region: A Life Cycle Assessment Approach. *Environments - MDPI*, *11*(11). https://doi.org/10.3390/environments11110228

Ijaz, S. T., & Chughtai, S. (2022). The Impact of Financial, Economic and Environmental Factors on Energy Efficiency, Intensity, and Dependence: The Moderating Role of Governance and Institutional Quality. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *12*(4), 15–31. https://doi.org/10.32479/ijeep.13157

Jouhara, H., Czajczyńska, D., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Anguilano, L., Reynolds, A. J., & Spencer, N. (2017). Municipal waste management systems for domestic use. *Energy*, *139*, 485–506. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.162

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F., & Levine, D. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0

Kebaili, F. K., Baziz-Berkani, A., Aouissi, H. A., Mihai, F. C., Houda, M., Ababsa, M., Azab, M., Petrisor, A. I., & Fürst, C. (2022). Characterization and Planning of Household Waste Management: A Case Study from the MENA Region. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(9). https://doi.org/10.3390/su14095461

Kibonde, S. (2024). Household Solid Waste Generation Patterns and Collection Systems in Urban Tanzania: A Case Study of Morogoro Municipality.

Journal of the geographical association of tanzania, *44*(1). https://doi.org/10.56279/jgat.v44i1.283

Kirchherr, J., Yang, N. H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, *194*. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001

Kuznetsova, E., Sabit, S., Minzhanova, G., & Khamitova, K. (2025). Assessment of the effectiveness of the solid waste management system in almaty based on international experience. *Hydrometeorology and Ecology*, *116*(1), 77–90. https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-116-1-77-90

Kwarcińska, A. (2018). From theories of efficiency to specifications for assessment of the efficiency of municipal services. *European Journal of Service Management*, *27*, 127–133. https://doi.org/10.18276/ejsm.2018.27/1-15

Laurieri, N., Lucchese, A., Marino, A., & Digiesi, S. (2020). A door-to-doorwaste collection system case study: A survey on its sustainability and effectiveness. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(14). https://doi.org/10.3390/su12145520

Levine D. M., Krehbiel T. C., Berenson M. L. & González Acosta M. L. (2006). Estadística para administración. México: Pearson Educación.

Li, X., Jiang, Y., & Qing, P. (2023). Estimates of Household Food Waste by Categories and Their Determinants: Evidence from China. *Foods*, *12*(4), 776. https://doi.org/10.3390/foods12040776

Llanquileo-Melgarejo, P., Molinos-Senante, M., Romano, G., & Carosi, L. (2021). Evaluation of the impact of separative collection and recycling of municipal solid waste on performance: An empirical application for Chile. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(4), 1–15. https://doi.org/10.3390/su13042022

lo Storto, C. (2016). The trade-off between cost efficiency and public service quality: A non-parametric frontier analysis of Italian major municipalities. *Cities*, *51*, 52–63. https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.11.028

Lo Storto, C. (2021). Eco-productivity analysis of the municipal solid waste service in the Apulia region from 2010 to 2017. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(21). https://doi.org/10.3390/su132112008

Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P., & Thomsen, M. (2016). Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production*, *139*, 361–371. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024

Maghmoumi, A., Marashi, F., & Houshfar, E. (2020). Environmental and economic assessment of sustainable municipal solid waste management strategies in Iran. *Sustainable Cities and Society*, *59*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102161

Mance, D., Vilke, S., & Debelić, B. (2020). Sustainable governance of coastal areas and tourism impact on waste production: Panel analysis of croatian municipalities. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(18), 1–16. https://doi.org/10.3390/su12187243

Mantilla-Falcón, M., Benítez-Gaibor, M. K., Loor-Intriago, M. A., & Vásconez-Acuña, L. G. (2020). La ecoeficiencia en el sector de la educación superior. Una línea base para su implementación. *Contabilidad y Negocios*, *15*(29), 58–71. https://doi.org/10.18800/contabilidad.202001.004

Mazhar, S. A. (2021). Methods of Data Collection: A Fundamental Tool of Research. *Journal of Integrated Community Health*, *10*(01), 6–10. https://doi.org/10.24321/2319.9113.202101

Memon, M. A. (2010). Integrated solid waste management based on the 3R approach. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *12*(1), 30–40. https://doi.org/10.1007/s10163-009-0274-0

Mendezcarlo Silva, V., Medina Jiménez, A., & Becerra Quintero, G. E. (2010). Las teorías de Pigou y Coase, base para la propuesta de gestión e innovación de un impuesto ambiental en México. *Tlatemoani, (2)*.

Menéndez Jaramillo, G. G., Saavedra Meza, M. E., & Díaz Bedón, L. A. (2025). Estrategias de Economía Circular en la Gestión de Residuos Sólidos: Impacto Ambiental y Optimización de Recursos. *Revista Social Fronteriza*, *5*(1). https://doi.org/10.59814/resofro.2025.5(1)578

Mishra, P., Pandey, C., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, *22*(1), 67. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18

Mojtahedi, M., Fathollahi-Fard, A. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Newton, S. (2021). Sustainable vehicle routing problem for coordinated solid waste management. *Journal of Industrial Information Integration*, *23*. https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100220

Molinos-Senante, M., & Maziotis, A. (2021). The cost of reducing municipal unsorted solid waste: Evidence from municipalities in Chile. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(12). https://doi.org/10.3390/su13126607

Moser, A., & Korstjens, I. (2018). Series: Practical guidance to qualitative research. Part 3: Sampling, data collection and analysis. In *European Journal of General Practice* (Vol. 24, Number 1, pp. 9–18). Taylor and Francis Ltd. https://doi.org/10.1080/13814788.2017.1375091

Nielsen, B. B., & Raswant, A. (2018). The selection, use, and reporting of control variables in international business research: A review and recommendations. *Journal of World Business*, *53*(6), 958–968. https://doi.org/10.1016/j.jwb.2018.05.003

Niranjan, P. T., Murthy B M, S., & Istalingamurthy, D. (2025). Optimizing Municipal Solid Waste Collection for Environmental Sustainability: A GIS-Based Case Study of Mysuru City. In *International Journal of Environmental Sciences* (Vol. 11, Number 24). https://theaspd.com/index.php

Nzediegwu, C., & Chang, S. X. (2020). Improper solid waste management increases potential for COVID-19 spread in developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*, *161*, 104947. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104947

Ogunbode, T. O., Jazat, J. P., & Akande, J. A. (2023). Potency of some economic variables affecting environmental quality in Nigeria. *Scientific Reports*, *13*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-34968-1

Panainte-Lehadus, M., Vulpe, M., Nedeff, V., Mosnegutu, E., Przydatek, G., Tomozei, C., & Chitimus, D. (2022). Study on the Method of Household Waste Collection: Case Study. *Applied Sciences (Switzerland)*, *12*(15). https://doi.org/10.3390/app12157490

Panzone, L., Ulph, A., Areal, F., & Grippo, V. (2021). A ridge regression approach to estimate the relationship between landfill taxation and waste collection and

disposal in England. *Waste Management*, *129*, 95–110. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.054

Pérez-López, G., Prior, D., Zafra-Gómez, J. L., & Plata-Díaz, A. M. (2016). Cost efficiency in municipal solid waste service delivery. Alternative management forms in relation to local population size. *European Journal of Operational Research*, *255*(2), 583–592. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.034

Plastinina, I., Teslyuk, L., Dukmasova, N., & Pikalova, E. (2019). Implementation of circular economy principles in regional solid municipal waste management: The case of Sverdlovskaya Oblast (Russian Federation). *Resources*, *8*(2). https://doi.org/10.3390/resources8020090

Poma, P., Polanco, M., Usca, K., Casella, C., & Toulkeridis, T. (2025). An Evaluation of the Public Service of the Integrated Municipal Management of Urban Solid Waste in the Galapagos and the Amazonian Region of Ecuador. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(3). https://doi.org/10.3390/su17031066

Prata, J., Simões, C. L., & Simoes, R. (2025). Improvements to Municipal Solid Waste Collection Systems Using Real-Time Monitoring. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(4). https://doi.org/10.3390/su17041405

Quispe, K., Martínez, M., da Costa, K., Romero Giron, H., Via y Rada Vittes, J. F., Mantari Mincami, L. D., Hadi Mohamed, M. M., Huamán De La Cruz, A. R., & López-Gonzales, J. L. (2023). Solid Waste Management in Peru's Cities: A Clustering Approach for an Andean District. *Applied Sciences (Switzerland)*, *13*(3). https://doi.org/10.3390/app13031646

Ragazzi, M., Catellani, R., Rada, E. C., Torretta, V., & Salazar-Valenzuela, X. (2014). Management of municipal solid waste in one of the Galapagos islands. *Sustainability (Switzerland)*, *6*(12), 9080–9095. https://doi.org/10.3390/su6129080

Rom, P., & Guillotreau, P. (2024). Mismanaged plastic waste and the environmental Kuznets curve: A quantile regression analysis. *Marine Pollution Bulletin*, *202*, 116320. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116320

Romano, G., & Molinos-Senante, M. (2020). Factors affecting eco-efficiency of municipal waste services in Tuscan municipalities: An empirical

investigation of different management models. *Waste Management*, *105*, 384–394. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.028

Rousta, K., Bolton, K., & Dahlén, L. (2016). A procedure to transform recycling behavior for source separation of household waste. *Recycling*, *1*(1), 147–165. https://doi.org/10.3390/recycling1010147

Bobushev, T., & Tursunalieva, D. M. (2025). Economic Sustainability as a Basis for Circular Economy: Economic Growth and Reduction of Environmental Pollution. *International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM)*, *13*(05), 8897–8902. https://doi.org/10.18535/ijsrm/v13i05.em01

Salmia, S. S. (2023). Development of quality instruments and data collection techniques. *Jurnal Pendidikan Dan Pengajaran Guru Sekolah Dasar (JPPGuseda)*, *6*(1), 119–124. https://doi.org/10.55215/jppguseda.v6i1.7527

Samreen, S., Agarwal, M. K., Gautam, A. K., & Khajanchi, Y. (2023). Comprehensive review of solid waste management strategies and disposal approaches. *Multidisciplinary Reviews*, *6*. https://doi.org/10.31893/multirev.2023ss076

Shadrin, I., & Kuznetsova, E. (2019). Ecological and economic efficiency of household waste disposal. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, *6*(2). https://doi.org/10.15862/10ecor219

Shen, Z. (2025). An In-Depth Economic Analysis of Xiangjiang River Water Pollution Control: Introducing New Variables. *Business, Economics and Management REPGU*, *2024*, 59.

Shi, K., Zhou, Y., & Zhang, Z. (2021). Mapping the research trends of household waste recycling: A bibliometric analysis. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(11). https://doi.org/10.3390/su13116029

Siddiqi, M. M., Naseer, M. N., Wahab, Y. A., Hamizi, N. A., Badruddin, I. A., Hasan, M. A., Chowdhury, Z. Z., Akbarzadeh, O., Johan, M. R., & Kamangar, S. (2020). Exploring e-waste resources recovery in household solid waste recycling. *Processes*, *8*(9). https://doi.org/10.3390/pr8091047

Soares, T. M., Monteiro, P. I., Ramos, R. M. B., Silva, C. L. Da, & Bassetti, F. De J. (2025a). Analysis of institutional aspects, efficiency, and costs of urban solid waste selective collection in the municipality of colombo, pr, brazil. *Revista*

Políticas Públicas & Cidades, *14*(2), e1697. Https://doi.org/10.23900/2359-1552v14n2-62-2025

Soares, T. M., Monteiro, P. I., Ramos, R. M. B., Silva, C. L. da, & Bassetti, F. de J. (2025b). Analysis of institutional aspects, efficiency, and costs of urban solid waste selective collection in the municipality of colombo, pr, brazil. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, *14*(2), e1697. https://doi.org/10.23900/2359-1552v14n2-62-2025

Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., & Soto-Oñate, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, *214*, 952–961. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271

Sun, J., Rosli, A. B., Daud, A., & Yan, X. (2025). Evaluation of Operational Efficiency in China's Pharmaceutical Industry and Analysis of Environmental Impacts. *Economies*, *13*(4). https://doi.org/10.3390/economies13040090

Sung, H. C., Sheu, Y. S., Yang, B. Y., & Ko, C. H. (2020). Municipal solid waste and utility consumption in Taiwan. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(8). https://doi.org/10.3390/SU12083425

Tayeh, R. A., Alsayed, M. F., & Saleh, Y. A. (2021). The potential of sustainable municipal solid waste-to-energy management in the Palestinian Territories. *Journal of Cleaner Production*, *279*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123753

Temesgen, A., Storsletten, V., & Jakobsen, O. (2021). Circular Economy – Reducing Symptoms or Radical Change? *Philosophy of Management*, *20*(1), 37–56. https://doi.org/10.1007/s40926-019-00112-1

Teng, C. C., Chih, C., Yang, W. J., & Chien, C. H. (2021). Determinants and prevention strategies for household food waste: An exploratory study in taiwan. *Foods*, *10*(10). https://doi.org/10.3390/foods10102331

Ukkonen, A., & Sahimaa, O. (2021). Weight-based pay-as-you-throw pricing model: Encouraging sorting in households through waste fees. *Waste Management*, *135*, 372–380. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.011

Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, *27*, 1437–1457. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018

Vélez, A. G., Peñafiel, P. A., Heredia, M., Barreno, S. N., & Chávez, J. F. (2019). Propuesta de sistema de gestión de residuos sólidos domésticos en la comunidad Waorani Gareno de la Amazonía ecuatoriana. *Ciencia y Tecnología*, *12*(2), 33–45. https://doi.org/10.18779/cyt.v12i2.324

Villafaña Vallejo, G. (2020). La ecoeficiencia en el reciclaje de residuos sólidos en las empresas hoteleras de La Paz (B.C.S.) en el marco de la responsabilidad social empresarial. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 13(29)*, 121–152.

Wilson, D. C., Rodic, L., Scheinberg, A., Velis, C. A., & Alabaster, G. (2012). Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, *30*(3), 237–254. https://doi.org/10.1177/0734242X12437569

Wirani, Y., Eitiveni, I., & Sucahyo, Y. G. (2024). Framework of Smart and Integrated Household Waste Management System: A Systematic Literature Review Using PRISMA. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 16, Number 12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/su16124898

Wooditch, A., Johnson, N. J., Solymosi, R., Medina Ariza, J., & Langton, S. (2021). Descriptive Statistics: Measures of Central Tendency. In *A Beginner's Guide to Statistics for Criminology and Criminal Justice Using R* (pp. 61–76). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50625-4_4

Xu, S., Zhu, Q., & Yang, Z. (2024). Influencing factors of environmental efficiency of strategic emerging industries and their power cooperation mechanism design. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(7), 10045–10070. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23756-5

Yakah, N., Samavati, M., Akuoko Kwarteng, A., Martin, A., & Simons, A. (2023). Prospects of Waste Incineration for Improved Municipal Solid Waste (MSW) Management in Ghana—A Review. In *Clean Technologies* (Vol. 5, Number

3, pp. 997–1011). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/cleantechnol5030050

Yu, Q., & Li, H. (2020). Moderate separation of household kitchen waste towards global optimization of municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, *277*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123330

Yu, Y., Huang, J., & Zhang, N. (2019). Modeling the eco-efficiency of Chinese prefecture-level cities with regional heterogeneities: A comparative perspective. *Ecological Modelling*, *402*, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.03.012

Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Beijoco, F. (2013). Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal. *Waste Management*, *33*(4), 793–806. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.11.015