

**PROPUESTA DE MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA EL APROVECHAMIENTO DE
RESIDUOS BIODEGRADABLES EN ITAGÜÍ, ANTIOQUIA: FORTALECIMIENTO DE LA
CADENA DE GESTIÓN INTEGRAL EN EL MARCO DEL PGIRS**

JHON ALEJANDRO ORTIZ CASTIBLANCO

ESTEFANIA TABORDA MUÑOZ

JUAN SEBASTIAN GUTIERREZ ABRIL

UNIVERSIDAD EAN

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN

YIMI ALEJANDRO BERNAL CAMPOS

23 DE MAYO 2026

RESUMEN

Ante la inminente saturación del Relleno Sanitario La Pradera proyectada para el año 2027, esta investigación propone un modelo híbrido de economía circular que permite valorizar la fracción orgánica de los residuos generados en el municipio de Itagüí, Antioquia. Gracias al enfoque descriptivo y propositivo y al análisis documental de la línea base del PGIRS del año 2025, se determinó que el 40% de los residuos ordinarios generados corresponden a material biodegradable. Se identificó al sector residencial, específicamente a estratos 1 y 2 y la central Mayorista como los grandes generadores aportando una masa crítica clave, evidenciando así mismo, la ausencia de micro rutas selectivas, la no adecuada separación en la fuente y la dificultad de apropiación de la cultura del reúso, se determinaron los factores anteriormente mencionados como los principales cuellos de botella del sistema.

Como solución estructural, se formula una hoja de ruta basada en un esquema híbrido que propone integrar procesos centralizados (compostaje industrial y digestión anaerobia) y descentralizados (compostaje comunitario). La arquitectura del modelo sugiere una ECA Municipal y rutas específicas de orgánicos como innovación tecnológica para el control de calidad, reducción de costos por contaminación cruzada y trazabilidad del material. Esta propuesta garantiza el cumplimiento de las metas locales del PGIRS hacia el año 2034, aportando al logro de los objetivos de desarrollo sostenible 1-3-11-12-13, optimizando la gobernanza territorial al articular formalmente a la administración municipal, prestadores de servicios, gestores y organizaciones de recicladores de oficio, actores clave en la transformación ambiental y en la cadena de valor sostenible.

Palabras clave: Economía Circular, Residuos Biodegradables, PGIRS, Itagüí, Digestión Anaerobia, Compostaje, ECA Municipal

ABSTRACT

Given the imminent saturation of the La Pradera Landfill projected for 2027, this research proposes a hybrid circular economy model to valorize the organic fraction of waste generated in the municipality of Itagüí, Antioquia. Through a descriptive, purposeful approach and a document analysis of the 2025 PGIRS (Integrated Solid Waste Management Plan) baseline, it was determined that 40% of the generated ordinary waste consists of biodegradable material. The residential sector (specifically strata 1 and 2) and the Central Mayorista marketplace were identified as the major generators providing a key critical mass. Furthermore, the absence of selective micro-routes, inadequate source separation, and difficulties in adopting a reuse culture were identified as the main bottlenecks of the system.

As a structural solution, a roadmap is formulated based on a hybrid framework that proposes integrating centralized processes (industrial composting and anaerobic digestion) and decentralized processes (community composting). The model's architecture suggests a Municipal ECA (Waste Sorting and Economic Evaluation Station) and specific organic waste routes as technological innovations for quality control, reduction of cross-contamination costs, and material traceability. This proposal ensures compliance with local PGIRS targets by 2034, contributing to the achievement of Sustainable Development Goals 1, 3, 11, 12, and 13. Additionally, it optimizes territorial governance by formally articulating the municipal administration, service providers, managers, and formal waste pickers' organizations—key actors in environmental transformation and the sustainable value chain.

Keywords: Circular Economy, Biodegradable Waste, PGIRS, Itagüí, Anaerobic Digestion, Composting, Municipal ECA.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual en el que la producción sostenible y circular ha dejado de convertirse en una opción y en un diferenciador para ser una prioridad, se hace necesario desarrollar estrategias con enfoque funcional, eficiente e innovador para transicionar hacia formas limpias de interacción con el medio ambiente y los recursos naturales, más aún, cuando el resultado de siglos de producción ha dejado un enfoque centrado en la disposición final que no prioriza el aprovechamiento de los residuos.

En ese sentido, la cultura de la economía circular constituye la puerta que conlleva a la solución de un problema que actualmente presenta la mayoría de municipios del país y es la crisis sanitaria, climática, tecnológica y de infraestructura generada por el incremento desmedido en la producción de residuos.

En los municipios del Valle de Aburrá, como es el caso de Itagüí, el aumento de la generación de residuos y la alta proporción de la fracción orgánica han generado un rápido agotamiento de los recursos disponibles, en ese contexto, la valorización de los residuos biodegradables mediante alternativas como biodigestión y compostaje ofrecen un marco útil para reducir la presión sobre los rellenos sanitarios.

El presente trabajo de investigación tiene un alcance propositivo y documental, se centra en la estructuración de un modelo de economía circular diseñado específicamente para la valorización de residuos biodegradables en el marco del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Itagüí mediante el análisis técnico de datos secundarios, su propósito es la elaboración de una hoja de ruta estratégica que tiene en cuenta la caracterización de la situación local, el análisis de actores, procesos, barreras y

oportunidades, con el fin, de formular una propuesta que contiene posibles soluciones a las múltiples necesidades, lo anterior, teniendo en cuenta la capacidad institucional y operativa del municipio.

Por lo tanto, la investigación se limita a la fase de diseño conceptual y formulación de lineamientos, sin incurrir en validaciones empíricas o la implementación de pruebas piloto en campo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento demográfico acelerado y el fortalecimiento del modelo de consumo tradicional basado en extraer, fabricar, consumir y desechar han derivado en un incremento exponencial de los residuos sólidos urbanos (RSU). Según *Fernando et al. (2014)*, los residuos sólidos urbanos son todo material desechado por la población, pueden ser de origen doméstico, comercial, industrial, desechos de la limpieza de vías públicas y resultantes de construcción (RCD), estos subproductos son el resultado rechazado del uso de materias primas, su descomposición puede durar entre 4 semanas y 4000 años según el tipo de residuo, durante este proceso generan lixiviados altamente contaminantes del suelo y el agua y liberan gases de efecto invernadero que destruyen la capa de ozono contribuyendo al calentamiento global.

Del total de RSU dentro del panorama global, aproximadamente el 44% está compuesto por residuos de alimentos y vegetales, el 17% son papel y cartón, 12% corresponde a plástico, 5% vidrio, 4% Metal y el 2% corresponde a caucho, cuero y madera, *Brahme et al. (2023)*. Aunque pueden incorporarse en la cadena de valor, los RSU son desechados diariamente en rellenos sanitarios y a pesar de que son compactados y enterrados representan una de las

mayores problemáticas para las grandes ciudades debido, principalmente, a que la tasa exponencial de generación en comparación al tiempo de degradación necesario hacen insuficiente su infraestructura de almacenamiento, causando que la mayoría de rellenos sanitarios se encuentren en su límite operativo representando un riesgo logístico y ambiental inminente.

En Colombia, el decreto 1077 de 2015 “Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio” dicta la normativa sobre servicios públicos y los lineamientos de los **Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)**, cuya función es establecer un manejo adecuado desde la recolección hasta la disposición, priorizando el aprovechamiento, sin embargo, históricamente el enfoque principal se ha centrado en la economía lineal y los modelos de disposición final.

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Itagüí, Antioquia es uno de los diez municipios que conforman el área metropolitana del Valle de Aburrá, con 19,65 km² es el tercer municipio más pequeño de Colombia y uno de los más poblados e industrializados con aproximadamente 300.000 habitantes, 7 comunas, 9 veredas y 84 barrios. Alcaldía de Itagüí. (2025).

El 25 de octubre de 2018 el área metropolitana del Valle de Aburrá se acoge al acuerdo metropolitano N°23 el cual busca “*Adoptar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS Regional 2017-2030, para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y los municipios que la integran*” Área metropolitana. (2018), es por ello, que, en cumplimiento de la normativa, se pone en marcha el PGIR Municipal cuya actualización se realiza cada año. Según cifras de

la línea base del año 2024, Itagüí recolecta 298 Toneladas de residuos al día, aproximadamente 107.781 Toneladas al año, se reciclan cerca de 17.076 Toneladas al año, solo un **15%**, el resto 90.299 Toneladas, se disponen en el relleno sanitario la Pradera. Alcaldía de Itagüí. (2024).

Según *Superservicios. (2019)*, El relleno Sanitario La Pradera recibe los residuos procedentes de 32 municipios de Antioquia, con 2.648,97 Toneladas diarias, se calcula una vida útil hasta el 12 septiembre del 2027, fecha en la cual se espera llegar a la capacidad máxima de diseño. Aún sin llegar a la capacidad máxima, este relleno genera altos niveles de emisiones que afectan la calidad del aire principalmente de Medellín, sus lixiviados aún filtrados contaminan el suelo, estimula malos olores, incrementa la presencia de animales y plagas y afecta la salud de los ciudadanos. *Rangel et al. (2022)*

El incumplimiento de objetivos en el Municipio como: Fomentar el consumo responsable y la transición hacia modelos de economía circular, Implementar esquemas de separación en la fuente y recolección selectiva o Incrementar el porcentaje de residuos aprovechados. *Alcaldía de Itagüí. (2024)*, desencadenará no solo en un incremento de las tarifas de aseo, sino en posibles sanciones por parte de los entes de control, la agudización de los conflictos socioambientales y la incapacidad para transitar hacia un modelo de gestión integral que priorice la valorización de residuos biodegradables.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo una propuesta de un modelo de economía circular, para el aprovechamiento de residuos biodegradables, puede fortalecer la cadena de disposición y la implementación del PGIRS en Itagüí, Antioquia?

OBJETIVOS

General.

Formular una propuesta de un modelo de economía circular basada en el aprovechamiento de residuos biodegradables buscando fortalecer la cadena de valor y disposición en el municipio de Itagüí, Antioquia.

Específicos.

1. Caracterizar la disposición de los residuos biodegradables en el municipio de Itagüí, Antioquia, en el marco del PGIRS vigente.
2. Identificar actores, procesos y factores que intervienen en la cadena de residuos biodegradables en el municipio.
3. Revisar modelos de economía circular aplicados al aprovechamiento de residuos biodegradables a nivel nacional e internacional como referentes para el contexto del municipio.
4. Proponer estrategias de implementación del modelo de economía circular alineadas con los planteamientos del PGIRS y las condiciones institucionales, técnicas y operativas del municipio.
5. Analizar oportunidades y limitaciones existentes para la implementación de estrategias de economía circular en Itagüí, Antioquia.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación propone un modelo de economía circular que responde a la necesidad de transformar positivamente la gestión de residuos biodegradables en el municipio de Itagüí, se busca impactar la sostenibilidad en tres dimensiones: ambiental, socioeconómica y técnico-normativa.

Desde la perspectiva o dimensión ambiental, se busca darle un nuevo valor a los residuos integrándolos a ciclos productivos, esto contribuiría con una disminución significativa de la contaminación de la tierra, el agua y el aire, entendiendo que el objetivo principal es el de contribuir al desarrollo sostenible mediante el cumplimiento de objetivos como lo son el Objetivo de desarrollo sostenible “ODS” 12 “Producción y consumo responsable” ODS 11 “ciudades y comunidades sostenibles” y ODS 13 “Acción por el clima” y así evitar sobrepasar los límites planetarios, “ya que se deben proteger los ecosistemas y reducir la extracción de recursos, promoviendo el reciclaje, el uso de recursos renovables y la eficiencia en la producción” Vives. (2025).

En el ámbito socioeconómico, el fortalecimiento de la cadena de aprovechamiento en Itagüí en el marco del PGIRS no solo responde a una obligación de eficiencia en los servicios públicos, dignifica la labor de los actores de la cadena, reduce los costos asociados al transporte y disposición final de residuos, y evita el incremento desproporcionado de las tarifas de aseo contribuyendo a los ODS 1 “Fin de la pobreza” y ODS 3 “Salud o bienestar”.

Finalmente, desde la perspectiva técnica y normativa, la investigación se justifica porque el municipio debe alinear la gestión de residuos con los instrumentos establecidos en el marco del PGIRS y con la reglamentación nacional vigente (Decreto 1077 de 2015). En este sentido, el estudio aporta una propuesta aplicable para fortalecer el aprovechamiento de

residuos biodegradables, a partir del diagnóstico de actores, procesos y capacidades locales, y de la identificación de estrategias viables (por ejemplo, separación en la fuente, rutas selectivas y alternativas de tratamiento como compostaje). Con ello se busca orientar decisiones y acciones concretas dentro del PGIRS municipal, reduciendo la dependencia de la disposición final y mejorando la coherencia entre lineamientos normativos y la operación real del municipio.

ANTECEDENTES

El problema del crecimiento exponencial de los Residuos Sólidos Urbanos y su posible aprovechamiento es un tema tratado incluso antes del año 2006, un ejemplo de ello es la investigación realizada por María del Carmen Espinosa y otros autores en el año 2007, quienes investigaron la descomposición química de los residuos en La Habana, Cuba, caracterizando la fracción orgánica de residuos obtenidos de viviendas y mercados; tras realizar la rigurosa revisión de 20 indicadores, los autores determinaron que los residuos analizados poseían características fundamentales para ser valorizados y que dependiendo de su estado, el tipo de recolección, la época del año y el consumo de la población, los residuos generan metano el cual oscila entre el 45% y 60% y dióxido de carbono entre 40% y 60%, gases que pueden ser recuperados y almacenados. La estimación realizada para el caso de la Habana, resulta en 444.687 m³ de biogás al día que podrían ser empleados para diferentes fines utilizando el método de digestión anaerobia. En conclusión, los autores indican que “La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos puede ser fuente potencial de producción de biogás” *Espinosa, M., et al (2007), p.7.*

Otra forma de aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos es analizada por Alejandro Montoya, en su investigación estudia “estrategias para el manejo y aprovechamiento

de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos producidos en el municipio de La Pintada, Antioquia”, *Montoya; et al. 2015, p.1* . Encontrando el compostaje como una alternativa de aprovechamiento al valorizar los residuos obteniendo compost o fertilizante natural y contribuyendo al liberar presión en el relleno sanitario municipal.

Un antecedente regional directamente relacionado con el aprovechamiento de residuos biodegradables es el programa piloto “Composta Medellín”, propuesto como una estrategia de economía circular basada en compostaje in situ. El documento plantea reducir los residuos orgánicos que llegan al relleno sanitario La Pradera, fomentando hábitos sostenibles en la ciudadanía y aprovechando el compost para regeneración de suelos. Este caso es comparable y útil porque evidencia una ruta operativa para fortalecer la cadena de aprovechamiento de los orgánicos (educación ambiental, entrega de kits, acompañamiento/monitoreo y uso del compost), elementos alineados con la implementación y fortalecimiento de acciones del PGIRS en el territorio.

El crecimiento de los residuos sólidos urbanos (RSU) y la presión sobre los sistemas de disposición final se reconocen como una tendencia global. El Banco Mundial proyecta que la generación de residuos aumentará de manera significativa hacia 2050 si no se fortalecen estrategias de prevención, aprovechamiento y gestión integral, lo cual sustenta la pertinencia de propuestas que reduzcan la dependencia del relleno sanitario y recuperen valor de los residuos (Kaza et al., 2018).

En la misma línea, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente resalta que una gestión de residuos más eficiente aporta beneficios ambientales y socioeconómicos y se relaciona con el cumplimiento de objetivos de sostenibilidad, destacando la necesidad de fortalecer soluciones locales con enfoque integral (UNEP & ISWA, 2015).

Desde el marco conceptual, la economía circular plantea la transición desde un modelo lineal hacia uno que mantenga los recursos en uso, reduzca residuos y regenere sistemas naturales. La Ellen MacArthur Foundation representa esta lógica mediante el “diagrama de mariposa”, donde el ciclo biológico incluye procesos como el compostaje y la digestión anaerobia para devolver nutrientes al suelo, lo cual se relaciona directamente con el aprovechamiento de residuos biodegradables (Ellen MacArthur Foundation, 2013, 2021, 2022).

Como antecedente técnico directamente aplicable al territorio, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá desarrolló un manual específico para el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante compostaje y lombricultura. Este documento aporta orientaciones prácticas sobre separación, manejo del material, control de variables del proceso y uso del producto final; por tanto, funciona como base técnica para proponer rutas de aprovechamiento de biodegradables en municipios del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2013).

En un contexto urbano colombiano, la UAESP publicó una guía técnica relacionada con el aprovechamiento, útil como antecedente porque presenta criterios operativos y recomendaciones para estructurar estrategias de aprovechamiento dentro del servicio público, lo cual ayuda a conectar la propuesta con aspectos de implementación (logística, articulación, requisitos de operación) (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos [UAESP], s. f.).

El aprovechamiento energético de la fracción orgánica ha sido estudiado desde hace años. En un trabajo aplicado a RSU, se analiza el potencial de la fracción orgánica como fuente para producir biogás mediante digestión anaerobia, destacando que estos residuos pueden ser valorizables dependiendo de sus características y condiciones de manejo (Espinosa Lloréns et al., 2007).

MARCO INSTITUCIONAL

La gestión integral de residuos sólidos en Colombia se desarrolla dentro de un marco institucional y normativo que define responsabilidades y mecanismos de planeación, seguimiento y control. En este esquema, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) funciona como el instrumento de planeación que organiza la cadena de gestión (generación, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final), conforme al marco reglamentario del sector (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015) y a la metodología establecida para su formulación, seguimiento y actualización (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

Nivel nacional: lineamientos, regulación y política pública

A nivel nacional, el sistema se soporta en instrumentos que orientan la gestión integral y promueven el aprovechamiento. Desde la política pública, el CONPES 3874 plantea objetivos para fortalecer la gestión integral, impulsar el aprovechamiento y consolidar instrumentos de gestión en el territorio, en coherencia con enfoques de economía circular (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016).

La estructura jurídica que soporta la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) en Colombia parte de la constitución política de 1991, la cual en los artículos 8, 79 y 80, eleva la protección ambiental y el derecho a un entorno sano a la categoría de deber estatal y ciudadano. Bajo esta premisa, la **Ley 99 de 1993** consolidó la institucionalidad a través del Sistema Nacional Ambiental (SINA), mientras que la **Ley 142 de 1994** definió las reglas del juego para la prestación del servicio público de aseo, siendo el año en el que se integraría por

primera vez el aprovechamiento como una fase esencial de la cadena. El **Decreto 1076 de 2015** permitió tecnificar y unificar la reglamentación del sector ambiente, dotándolo de un enfoque social y operativo con el **Decreto 596 de 2016**, el cual reglamenta el esquema de aprovechamiento y reconoce la labor fundamental de los recicladores de oficio en la economía circular. Finalmente, la dimensión cultural y sancionatoria se articula a través de la **Ley 1259 de 2008**, que mediante el comparendo ambiental, busca corregir conductas ciudadanas y fomentar la separación en la fuente, cerrando así el ciclo entre la norma técnica y la responsabilidad social.

En el plano normativo, el **Decreto 1077 de 2015** integra disposiciones aplicables al servicio público de aseo y consolida lineamientos generales sobre la gestión de residuos, reconociendo el PGIRS como instrumento central de planeación y articulación local (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015). Adicionalmente, la **Resolución 0754 de 2014** define la estructura metodológica del PGIRS e insiste en el uso de diagnóstico (línea base), programas, metas e indicadores, lo que respalda la necesidad de que las propuestas municipales estén alineadas con instrumentos verificables de seguimiento (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

Nivel regional: Área Metropolitana del Valle de Aburrá y el PGIRS Regional

En el Valle de Aburrá, la gestión institucional se fortalece con un nivel de coordinación regional. El Área Metropolitana del Valle de Aburrá adoptó el PGIRS Regional 2017–2030 mediante el Acuerdo Metropolitano 23 de 2018, lo que genera un marco común de planeación y

metas para los municipios que integran el área metropolitana, incluyendo Itagüí (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2018).

Este nivel regional es particularmente relevante porque los retos de disposición final y la presión sobre la infraestructura no se entienden de forma aislada: el relleno sanitario La Pradera recibe residuos de múltiples municipios, y su capacidad proyectada hace visible la urgencia de fortalecer estrategias de aprovechamiento y reducción de carga hacia disposición final (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019).

Nivel municipal: PGIRS de Itagüí y actores operativos

En el nivel municipal, el marco institucional se concreta en la formulación y actualización del PGIRS con horizontes de actualización de 4, 8 o 12 años y periodos de revisión anuales, y en su ejecución a través de actores operativos del servicio. La administración municipal, en este caso la Secretaría de Medio Ambiente, lidera la planeación, el seguimiento y la articulación con el PGIRS regional a través del seguimiento riguroso de las metas e indicadores propuestos en su línea base; el prestador del servicio público de aseo ejecuta recolección y transporte; y la actividad de aprovechamiento se articula con organizaciones de recicladores, gestores y, cuando existe, infraestructura como las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECAs). En este componente, la eficiencia del sistema depende de condiciones como separación en la fuente, rutas selectivas y control de contaminación del material, ya que de ello dependen los niveles de rechazo del aprovechamiento y, por tanto, los costos y resultados del proceso y la disposición final (CRA, 2015; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2016).

La gestión realizada de forma anual es comunicada en la rendición de cuentas del PGIRS, en la cual los municipios deben reportar volúmenes de recolección, aprovechamiento,

avances en cuanto a metas, indicadores, proyectos y programas establecidos, garantizando la reducción de residuos que van a disposición final. Esta situación refuerza la idea de que la implementación del PGIRS no depende solo de metas en papel ni de esfuerzos aislados, sino de condiciones operativas (separación, logística, rutas selectivas, infraestructura y cultura ciudadana) y esfuerzos conjuntos alineados a los objetivos para que la fracción biodegradable sea efectivamente aprovechada.

MARCO TEÓRICO

La economía circular puede entenderse como una forma distinta de producir y consumir: en lugar de “usar y botar”, busca mantener los materiales en circulación el mayor tiempo posible, reduciendo pérdidas y recuperando valor mediante la reducción, reutilización, reciclaje y valorización. En esa lógica, la eco-concepción cobra importancia porque obliga a pensar el impacto ambiental desde el diseño del producto, su vida útil y la posibilidad real de un segundo uso (Negrón, 2020). Esta mirada es relevante para los residuos porque el modelo circular considera que una parte importante de lo que hoy se clasifica como “desecho” puede convertirse en recurso si existen condiciones técnicas y de gestión que lo permitan.

Promover la economía circular, a través del diseño de instrumentos en el marco de la gestión integral de residuos sólidos es el propósito del CONPES 3874, Política Nacional para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia, la cual busca desarrollar instrumentos que promuevan la prevención, minimización, reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos con fines de valorización (generación de combustible o de energía eléctrica). La meta propuesta por esta política es que para el año 2030 el 30% de los residuos generados

sea efectivamente aprovechada. Este marco respalda que una propuesta de economía circular orientada a residuos biodegradables no sea solo un planteamiento ambiental, sino una respuesta coherente con la dirección de la política pública.

Como respuesta operativa a estos lineamientos surge el plan de Gestión de residuos sólidos PGIRS (regional) bajo resolución 0754 de 2014. El PGIRS es el plan que marca la hoja de ruta para la recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos, consta de 12 programas y 27 proyectos que buscan el cumplimiento de las metas propuestas por el Valle de Aburrá hasta el año 2027.

Itagüí, es uno de los diez municipios que forma parte del acuerdo N°023 del área metropolitana, acordando así, adoptar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS Regional 2017-2030.

El Municipio ha demostrado avances significativos de cumplimiento del PGIRS desde el año 2020, para ello, se realizan investigaciones año tras año sobre la línea base de formulación, el cual es un diagnóstico de indicadores clave que permite determinar el estado actual de la gestión y las tendencias de comportamiento. La línea base de generación de residuos es la que permite obtener información sobre la cantidad de residuos por actividad, este instrumento contempla aspectos como la caracterización de los residuos, la identificación de actores involucrados y la definición de estrategias de aprovechamiento (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

Gestión integral de residuos y servicio público de aseo

La gestión de residuos en los municipios se articula con el servicio público domiciliario de aseo, que no se reduce a la recolección. La Ley 142 de 1994 reconoce el servicio y sus actividades complementarias, dentro de las cuales se incluyen componentes asociados a tratamiento, aprovechamiento y disposición final (Congreso de Colombia, 1994). Por tanto, el aprovechamiento no debe leerse como una actividad marginal: hace parte de un sistema regulado que requiere coordinación institucional y operación en territorio.

En esa misma línea, el marco reglamentario sectorial se consolida con el Decreto 1077 de 2015, que integra disposiciones aplicables al sector vivienda y saneamiento básico y sirve de soporte para ordenar la prestación del servicio y la planeación local de la gestión de residuos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015). Lo anterior es importante porque ubica a los municipios en un escenario de responsabilidades: planear, coordinar actores, medir indicadores y orientar acciones que vayan más allá de la disposición final.

PGIRS como instrumento de planeación y seguimiento

El instrumento que aterriza la planeación es el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). En la práctica, el PGIRS organiza la cadena de gestión (recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final) y permite pasar de “propósitos” a programas, proyectos, metas e indicadores verificables. La Resolución 0754 de 2014 define la metodología para formular, implementar, evaluar, controlar y actualizar el PGIRS, y le da peso a la construcción de una línea base, la caracterización, la identificación de actores y la definición de estrategias de aprovechamiento (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014). De forma

complementaria, el Ministerio de Vivienda ha publicado guías asociadas al enfoque de “PGIRS de segunda generación”, reforzando el papel del diagnóstico y la trazabilidad del seguimiento (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2022).

Separación en la fuente y “calidad del residuo”: condición habilitante del aprovechamiento

En la operación real, el aprovechamiento depende de que el residuo llegue con calidad suficiente. Una de las principales barreras es la contaminación cruzada, que ocurre cuando los orgánicos se mezclan con materiales no aprovechables o peligrosos, o cuando se depositan en condiciones inadecuadas (humedad, exposición, almacenamiento prolongado). Cuando esto sucede, aumenta la proporción de material que no se puede valorar y termina regresando a disposición final. Por ese motivo, la separación en la fuente y la recolección diferenciada son condiciones habilitantes: sin ellas, incluso una buena tecnología (compostaje o biodigestión) pierde viabilidad técnica y social por olores, plagas, riesgos sanitarios y baja calidad del producto final (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014, 2022).

Desde el punto de vista regulatorio, esta realidad se refleja en el concepto de rechazos del aprovechamiento. La Resolución CRA 720 de 2015 define los rechazos como el material que resulta de la selección de residuos aprovechables en la Estación de Clasificación y Aprovechamiento (ECA) pero que no puede comercializarse o transformarse y, por tanto, debe disponerse en relleno sanitario (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico [CRA], 2015). Además, el Ministerio de Vivienda ha explicado que el manejo de estos rechazos (también denominados “QR” en la metodología tarifaria) hace parte de la lógica de

costos del sistema (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, s. f.). En términos simples: si la separación en la fuente es débil, la tasa de rechazo sube, los costos aumentan y el aprovechamiento se vuelve menos eficiente.

Rutas selectivas y enfoque por grandes generadores

Una estrategia frecuente para iniciar procesos de aprovechamiento de orgánicos en municipios es priorizar grandes generadores (por ejemplo, plazas de mercado, restaurantes, instituciones educativas o agroindustria) porque concentran volumen y generan residuos más “homogéneos” en comparación con el sector residencial. Con estas fuentes, se facilita la implementación de rutas selectivas (recolección diferenciada), el control de calidad del material y el diseño de pilotos escalables antes de extender estrategias a los hogares. En el marco del PGIRS, la focalización por fuentes y la consolidación de información en línea base permiten precisamente identificar dónde tiene más sentido empezar y qué capacidades se requieren para sostener el sistema (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014, 2022).

Aprovechamiento: infraestructura (ECA) y actores (recicladores organizados)

Para que el aprovechamiento ocurra de manera estable se requieren dos piezas: infraestructura y actores con capacidad operativa.

Una infraestructura clave es la Estación de Clasificación y Aprovechamiento (ECA). En términos prácticos, una ECA es un sitio donde se recibe material aprovechable (proveniente de recolección selectiva o rutas de aprovechamiento) y se realizan actividades como clasificación, selección, pesaje y almacenamiento temporal para mejorar la calidad del material y facilitar su

comercialización o transformación. El DNP presenta las ECAs como infraestructura relevante para que las entidades territoriales organicen y mejoren el manejo de residuos sólidos aprovechables (DNP, 2022). Desde lo regulatorio, la CRA incluye definiciones y componentes operativos del aprovechamiento (incluidos los rechazos), lo que refuerza que una ECA no es un “extra”, sino un punto operativo de control de calidad y trazabilidad (CRA, 2015).

La segunda pieza son los actores organizados. Una asociación u organización de recicladores (asociación, cooperativa u otra forma organizativa) agrupa recicladores de oficio y participa en la actividad de aprovechamiento articulando recolección selectiva, clasificación y comercialización. El Decreto 596 de 2016 define el esquema operativo de la actividad de aprovechamiento y el régimen transitorio para la formalización de recicladores de oficio, reconociendo su rol dentro del servicio público y fijando obligaciones para su fortalecimiento (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2016). En la práctica, esto implica que mejorar tasas de aprovechamiento no se logra solo con infraestructura: requiere coordinación con organizaciones de recicladores, prestadores del servicio y la administración municipal, además de cultura ciudadana y control de la separación en la fuente.

Residuos biodegradables y ciclo biológico en economía circular

Los residuos biodegradables son aquellos que se degradan por acción de organismos vivos bajo condiciones específicas (humedad, temperatura y tiempo). En economía circular se ubican principalmente en el ciclo biológico, donde el objetivo es recuperar valor devolviendo nutrientes al suelo o transformando la materia orgánica en productos útiles. En municipios

donde la fracción orgánica suele ser alta, este flujo se vuelve un punto de intervención con potencial significativo.

Entre las alternativas de valorización más usadas están el compostaje y la biodigestión anaeróbica. El compostaje reproduce procesos naturales de descomposición con microorganismos, en condiciones controladas, y produce compost que puede emplearse en usos agrícolas o de recuperación de suelos (Docampo, 2013). La biodigestión anaerobia descompone la materia orgánica sin oxígeno y genera biogás, además de un digestato con potencial uso como fertilizante; su aporte puede ser energético cuando existen condiciones técnicas y operativas adecuadas (Solano et al., 2022).

Un aspecto clave en ambos procesos es la calidad del producto. En Colombia, la norma técnica NTC 5167 establece requisitos y ensayos para productos orgánicos usados como abonos o enmiendas de suelo, lo cual sirve como referencia para asegurar que el compost/digestato cumpla condiciones mínimas y no se convierta en un “subproducto sin salida” (ICONTEC, 2022). Incluso entidades técnicas como AGROSAVIA utilizan la NTC 5167 como referente para análisis químicos y evaluación de abonos orgánicos, reforzando la importancia de controlar variables del proceso y del material de entrada (AGROSAVIA, s. f.).

En resumen, aprovechar residuos biodegradables no es solamente escoger una tecnología. Para que funcione, se necesita planeación (PGIRS), información de línea base, focalización de fuentes (especialmente grandes generadores), infraestructura de apoyo (como ECAs), actores organizados (organizaciones de recicladores), y condiciones mínimas en la fuente (separación y reducción de contaminación). Bajo esa lógica, una propuesta de economía

circular para biodegradables puede ordenar la cadena de gestión integral y reducir la carga que termina en disposición final, lo cual es especialmente relevante para Itagüí por su articulación regional y por la presión que enfrenta la infraestructura de disposición final (DNP, 2016; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación se desarrollará con un enfoque mixto con predominio cualitativo ya que son indispensables datos como cantidades en toneladas que alimentarán la línea base y cualitativos debido a la necesidad de conocer la percepción de los actores clave; el alcance pretende ser descriptivo al analizar y caracterizar el estado actual del plan de Gestión Integral de residuos Sólidos de Itagüí teniendo en cuenta aspectos como: identificación de residuos, actores clave, metas propuestas y alcanzadas, puntos críticos, entre otros; a su vez, la investigación es propositiva al plantear alternativas de gestión de residuos sólidos alineadas con los objetivos municipales impulsando un modelo de economía circular viable.

Se utilizará un diseño no experimental, de corte transversal, basado en estudio de caso “municipio de Itagüí” y análisis documental, complementado con recolección de información secundaria. Este diseño permite comprender el funcionamiento actual de la cadena “generación, separación, recolección, aprovechamiento, disposición final” y construir una propuesta viable con base en la realidad institucional y operativa local.

Esta investigación estará limitada sólo a la revisión de la gestión integral de residuos sólidos con énfasis en los residuos biodegradables del Municipio de Itagüí, Antioquia, basado

en la línea base de caracterización del PGIRS vigente y actualizado al año 2025. Para ello, se tendrán fuentes secundarias de información como lo son los proyectos, programas e indicadores propuestos por los coordinadores y ejecutores del Plan de Gestión en cumplimiento de la normatividad aplicable. La información será obtenida de los avances de rendición de cuentas publicados anteriormente por la secretaría de Medio Ambiente del Municipio y a su vez, información recolectada que alimenta la línea base de gestión, como lo es ubicación de puntos críticos, zonas de alta generación de residuos; entre otros. Información facilitada por el municipio a los investigadores.

Se analizarán, además, estudios sobre aprovechamiento compostaje, biodigestión y entrevistas realizadas a actores clave en la cadena, con ello, se pretende construir una matriz de revisión documental donde se presente registro de las prácticas de separación, manejo de orgánicos, logística y puntos de acumulación.

La investigación será convergente exploratoria ya que los objetivos de la investigación se cumplirán por fases y la recolección de datos se hará de forma simultánea de la siguiente manera: **Fase 1.** Caracterización del estado actual, **Fase 2.** Mapeo de actores y procesos, **Fase 3.** Análisis de oportunidades y limitaciones, **Fase 4.** Revisión de modelos y buenas prácticas, **Fase 5.** Formulación del modelo y estrategias.

TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Dada la presente investigación y el enfoque principal cualitativo, se realizará la integración de elementos de análisis propios de enfoques mixtos, especialmente en la priorización de estrategias y evaluación de viabilidad. Es importante anotar que dentro de este

tipo de investigaciones se destacan dos diseños principales: el diseño convergente, en el cual, los datos cuantitativos y cualitativos se recolectan de manera simultánea para que después integrarse para su interpretación; y el diseño secuencial, donde uno de los enfoques se desarrolla primero y sus resultados orientan la aplicación del segundo. Este tipo de diseños resultan muy útiles en estudios aplicados, ya que permiten complementar la medición objetiva con el análisis contextual y la percepción de los actores. (Creswell & Plano Clark, 2018).

La recolección de datos no consistirá simplemente en aplicar técnicas cuantitativas y cualitativas por separado, sino en lograr que ambas se complementen de manera coherente según lo que se quiere analizar. En la práctica, esto implicará una toma de decisiones sobre el momento, la prioridad y la forma en que se integran los datos. Se tomará el esquema convergente, donde la información se recoge casi en paralelo, por un lado, se pueden usar datos estructurados como cifras del PGIRS, indicadores de aprovechamiento o registros de generación de residuos y, al mismo tiempo, información interpretativa obtenida a través de entrevistas o revisión de actores.

Al final, la recolección exigirá un mayor cuidado al momento de organizar e interpretar la información, pero también evitará una mirada parcial del problema, este es un tema relevante debido a que en la gestión de residuos intervienen tanto actores como factores.

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

1. Matriz de revisión documental

Tipo: Matriz en Excel o tabla de sistematización.

Se registrará información clave del PGIRS municipal, informes del operador del servicio de aseo, reportes de disposición final y documentos técnicos relacionados con el aprovechamiento de residuos orgánicos.

Descripción técnica:

- Unidad de análisis: metas, programas, indicadores, responsables, evidencias de ejecución, avances reportados, brechas y oportunidades identificadas.
- Frecuencia de uso: se diligencia una vez durante la fase documental y se ajusta si aparece información relevante durante el trabajo de campo.
- Criterios de calidad: se deja evidencia de la fuente consultada (fecha, página/URL) y se mantiene el mismo esquema de registro para todos los documentos, con el fin de comparar información y evitar inconsistencias.

2. Matriz DOFA

Se aplicará al sistema local de aprovechamiento de biodegradables para organizar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Por ejemplo: capacidades institucionales, infraestructura disponible, cultura de separación, presiones por disposición final.

3. Matriz comparativa de alternativas de aprovechamiento

Se evaluarán opciones como compostaje centralizado, compostaje comunitario o domiciliario, biodigestión u otras, usando criterios simples como factibilidad técnica, costos

relativos, requerimientos operativos, riesgos (olores, contaminantes), aceptación social y alineación con PGIRS.

Con base en estas matrices, se realizará una priorización impacto vs factibilidad para seleccionar las estrategias que integrarán la propuesta final.

PROCEDIMIENTO

- **Fase 1: Caracterización del estado actual:** se recolectarán datos secundarios mediante la revisión documental de la línea base del PGIRS y rendiciones de cuentas de la Secretaría de Medio Ambiente, la información que se espera obtener es la de cantidad de toneladas que se van a disposición final/año, toneladas recicladas/año, toneladas recolectadas/año, censo de recicladores y asociaciones, caracterización de residuos. Participan en esta fase los investigadores y se restringe a la veracidad de la información facilitada por el municipio.
- **Fase 2: Mapeo de actores y procesos:** se identificarán actores clave de la cadena (recicladores, usuarios, asociaciones, empresas de transporte, empresas de aseo) para construir un mapa de procesos que va desde la generación hasta la disposición final.
- **Fase 3: Análisis de oportunidades y limitaciones:** Se realizarán comparaciones y análisis de Fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades de los datos relevantes obtenidos en la revisión de la línea base.
- **Fase 4: Revisión de modelos y buenas prácticas:** se realizará un análisis comparativo de experiencias como "Composta Medellín" , se realizarán estudios en la

literatura de modelos internacionales funcionales para extraer estrategias replicables según la caracterización cultural, social, topográfica, etc del municipio.

- **Fase 5: Formulación del modelo y estrategias:** se consolidarán los hallazgos para proponer una ruta de implementación técnica y operativa alineada al PGIRS municipal.

Los controles aplicados serán principalmente la validación de la información con expertos en gestión ambiental, coordinadores expertos en estructuración de planes de gestión de residuos sólidos y contraste de información con la publicada previamente en los informes de avance de cumplimiento de metas desde el año 2020 publicadas por el municipio.

El procesamiento de los datos se realizará bajo una lógica de integración de métodos mixtos, se realizará triangulación para contrastar los datos cuantitativos (toneladas recicladas/dispuestas en el relleno sanitario) con los hallazgos cualitativos (razones por las que no se separa en la fuente/ razones por las cuales no se realiza aprovechamiento) para validar las brechas entre las metas propuestas y las ejecutadas, fundamentando así la propuesta del modelo de economía circular.

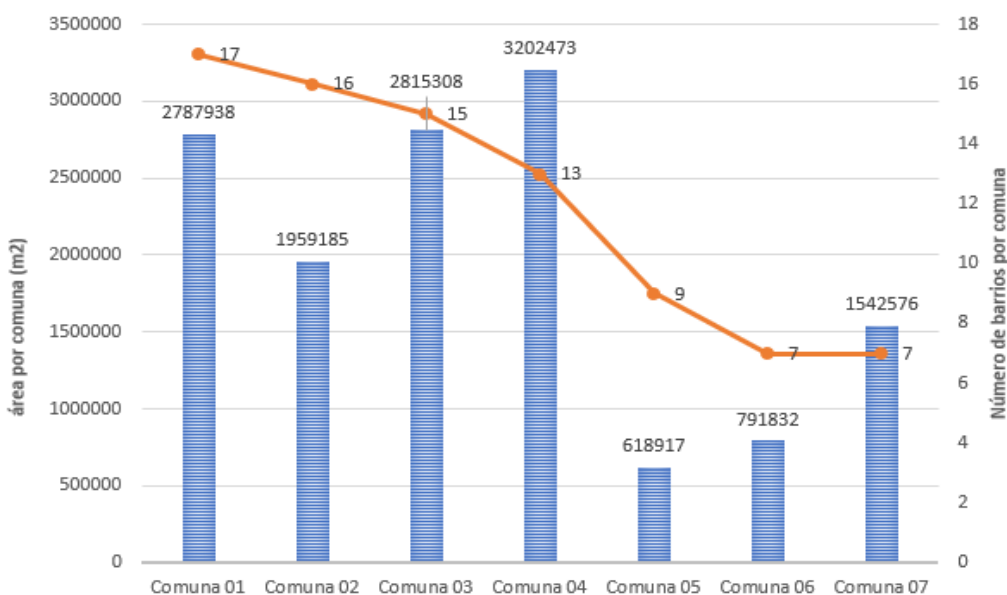
CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS BIODEGRADABLES EN EL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ

El primer paso para lograr el fortalecimiento en la gestión integral de residuos sólidos consiste en comprender la composición física de los residuos generados en el municipio. Es por ello, que para proponer un modelo de economía circular es indispensable realizar el análisis de la línea base del plan de gestión de residuos sólidos vigente (año 2025), lo cual permite diagnosticar o caracterizar el origen, composición y volumen de los residuos generados

en Itagüí, es importante entender que la caracterización surge del proceso de estratificación de generadores por sectores y estratos, lo cual consiste en dividir la población en grupos homogéneos y características comunes para después, aplicar técnicas probabilísticas de muestreo, muestreo que fue realizado por una empresa ambiental especializada y certificada en gestión de residuos en el año 2025 en acompañamiento a la secretaría de Medio Ambiente del Municipio. Aunque la caracterización de residuos en la fuente realizada en el año 2025 comprende residuos sólidos orgánicos, ordinarios, residuos RCD y residuos especiales, solo será objeto de análisis en este apartado, lo relacionado con los residuos sólidos orgánicos. Los datos relevantes de ingreso para el estudio comprendieron: el número de comunas, la cantidad de barrios por comuna, el área de las mismas y la cantidad total de usuarios o generadores de residuos previamente censados.

Figura 1

Caracterización de comunas en el Municipio de Itagüí

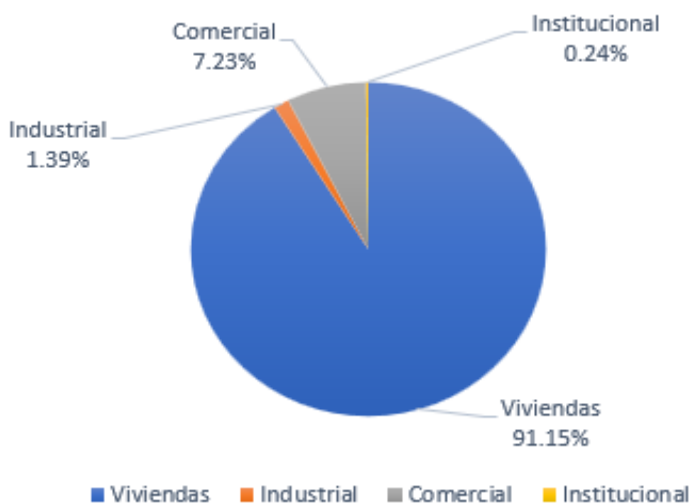


Nota: El gráfico representa el área en m2 de cada barrio del Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág 10.

Como puede observarse en la figura N°1, la comuna número cuatro es la comuna con mayor área superficial del municipio con una extensión de aproximadamente 3,202 km² compuesta por 13 barrios, seguida de la comuna tres con 2,815 km² y 15 barrios. Esta información es de gran relevancia en el muestreo para el cálculo del tamaño de muestra del estudio, garantizando una heterogeneidad espacial, el resultado de este proceso se resume en los gráficos a continuación:

Figura 2

Usuarios por sector



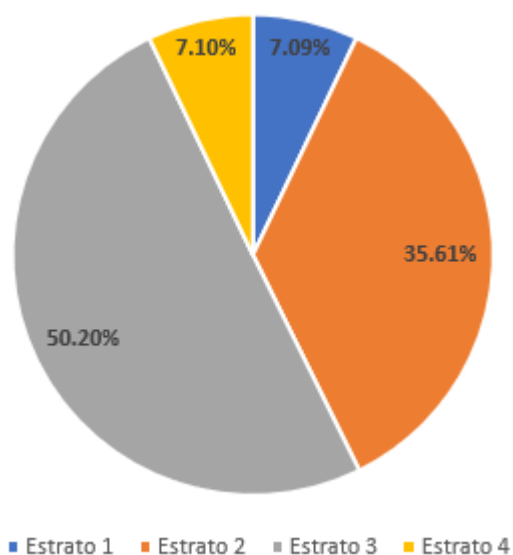
Nota: El gráfico muestra la distribución de usuarios por sector en el Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 16

Aproximadamente el 91% de los usuarios generadores de residuos sólidos fueron censados en el sector viviendas (residencial), equivalente a 106,126 usuarios, es importante aclarar que son denominados usuarios debido a que son el primer actor clave en la cadena de

generación de residuos y hacen uso de los servicios de las empresas prestadoras de aseo. En consecuencia, el 7% pertenece al sector del comercio con aproximadamente 8,414 usuarios, seguido del sector Industrial con un 2% y un total de 1,219 empresas pequeñas y 398 clasificadas como grandes productores, dejando así al sector institucional con un porcentaje menor al 0.2% correspondiente a 274 usuarios.

Figura 3

Usuarios por estrato en cada sector de vivienda



Nota: El gráfico muestra la distribución de las viviendas por cada estrato en el Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 17

Según los datos analizados en el sector residencial, el 50% de los usuarios registrados en el municipio se encuentra ubicado en un barrio estrato 3, seguido en porcentaje del estrato 2 (36%). Con los porcentajes por estrato, sector y comuna fueron realizados por expertos los cálculos del tamaño de muestra para la clasificación de los residuos, haciendo uso de fórmulas

para poblaciones finitas. El siguiente paso de la caracterización consistió en hacer recolección de las muestras calculadas mediante selección aleatoria de usuarios garantizando la representatividad de las muestras. La recolección de las muestras se realizó previa socialización con los usuarios, haciendo entrega de los recipientes, bolsas e insumos que una vez colectados fueron debidamente rotulados para ser trasladados a una Estación de Clasificación y Aprovechamiento (ECA), sitios de operación acondicionados para la separación y pesaje en la cual fueron volcados los residuos sobre una superficie plana y limpia para ser divididos en 4 partes iguales haciendo uso del método del cuarteo. Método en el cual, se disponen los residuos en cuadrantes de igual tamaño con un peso aproximado de 90 kg, se procede a escoger dos cuadrantes opuestos bien sea (I y III) o (II y IV) para realizar la respectiva clasificación y pesaje de residuos por material; en este proceso es indispensable tener en cuenta que “entre la sumatoria de los dos cuadrantes elegidos no debe existir una diferencia superior a 2 kg, si esto se cumple, significa que hubo una correcta homogeneización en la muestra” *Alayón, E . (2020)*

El método busca reducir el volumen de residuos a analizar de una forma representativa encontrando como resultado el promedio en peso y el porcentaje del residuo por tipología (orgánicos, reciclables, no aprovechables, entre otros).

El estudio reveló la siguiente caracterización de residuos ordinarios recolectados y cuarteados en Itagüí:

Tabla 1.
Caracterización de residuos en el Municipio de Itagüí según estrato

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS (Kg)				
RESIDUOS	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	COMERCIAL PEQUEÑO
Orgánicos	17,52	14,13	19,56	12,6
Papel	1,86	0,47	0,44	1,2
Cartón	1,23	1,15	1,57	3,3
Vidrio	1,3	0,51	0,92	1,3
Plástico	2,4	0,25	0,75	1,3
Pet	1,6	0,91	1,43	1,9
Pasta	1,8	0,60	0,65	1,7
Latas - chatarra	1,9	0,18	0,74	1,1
Madera		0,00	0,01	9,7
Tetrapack	0,8	0,14	0,55	1,2
Empaques	5,4	2,91	3,08	5,9
Servilletas papeles	2,6	0,66	1,73	1,3
Otros	20,6	8,96	9,40	26,8
TOTAL	59,01	30,87	40,82	69,14

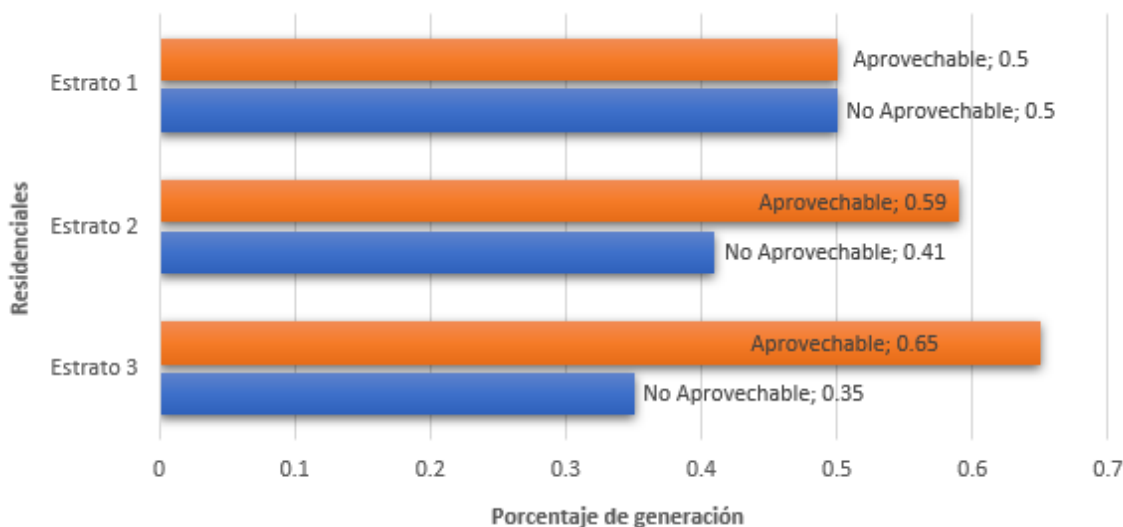
Nota: En la tabla se muestra la caracterización de los residuos en el Municipio de Itagüí. Contrato 048 de 2024 - caracterización de residuos (2025). pág. 22

La anterior gráfica realizada por la empresa experta, ofrece un panorama general sobre la clasificación de residuos ordinarios de la cual se puede distinguir la proporción entre residuos aprovechables y no aprovechables. El resultado de la tabla N°1 indica que más del 50% de los residuos recolectados son residuos aprovechables como orgánicos, papel, cartón, vidrio y plásticos, y aproximadamente el 42% restante corresponde a no aprovechables o no reciclables como residuos contaminados o mezclados. Este resultado determina una de las grandes conclusiones del análisis de la caracterización de residuos y es que más de la mitad de los residuos ordinarios generados en Itagüí pueden ser reintegrados a los ciclos productivos mediante algunas de las técnicas de transformación.

Con la revisión de los datos obtenidos en la recolección de muestras también se pudo determinar cuáles son las comunas que presentan mayor generación de residuos, la lista es encabezada por la comuna 1, este dato tiene sentido ya que corresponde a la comuna con mayor número de barrios (17) los cuales se dividen en los estratos 2 y 3 y una población que para el año 2021 ya superaba los 47.943 habitantes; es seguida de la comuna 4 con (13) barrios entre los estratos 2 y 3 y la mayor área superficial del municipio con más de 68.855 habitantes. Estos datos dan un indicio del porcentaje de generación de residuos por estrato en el sector residencial, esta hipótesis es verificada con la gráfica obtenida por los expertos citada a continuación:

Figura 4

Porcentaje de generación según tipo de residuo, sector residencial

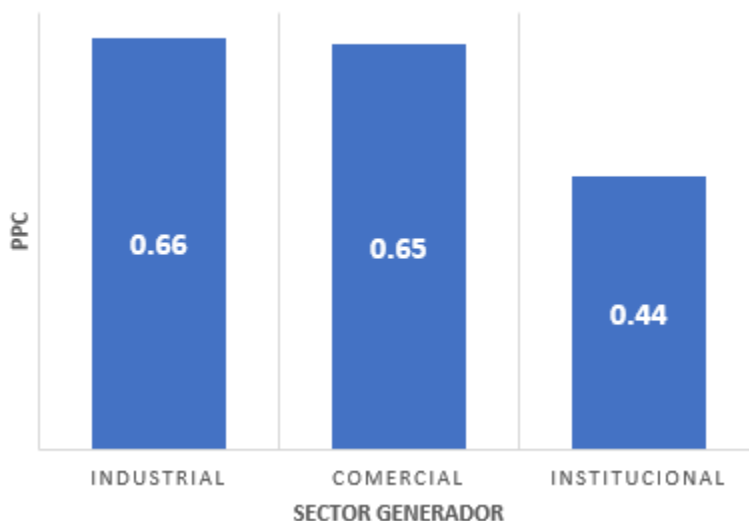


Nota: En la gráfica se muestra que porcentaje de residuos está generados en el sector residencial del Municipio de Itagüí, indicando si son o no aprovechables. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 30

Es así como puede confirmarse la hipótesis anteriormente expuesta, la gráfica permite concluir que el mayor porcentaje de generación de residuos ordinarios en el municipio de Itagüí en el sector residencial es producido principalmente por los estratos 2 y 3 cuya tipología de residuos es mayoritariamente aprovechable. Esto tiene relación con la Producción Per Cápita (PPC) calculada por los expertos con el peso de los residuos generados por estrato socioeconómico, el número de personas y el número de días de realización del análisis.

Figura 5

Producción Per cápita en el sector No residencial



Nota: En la gráfica se muestra el porcentaje de producción per cápita del sector no residencial del Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 41

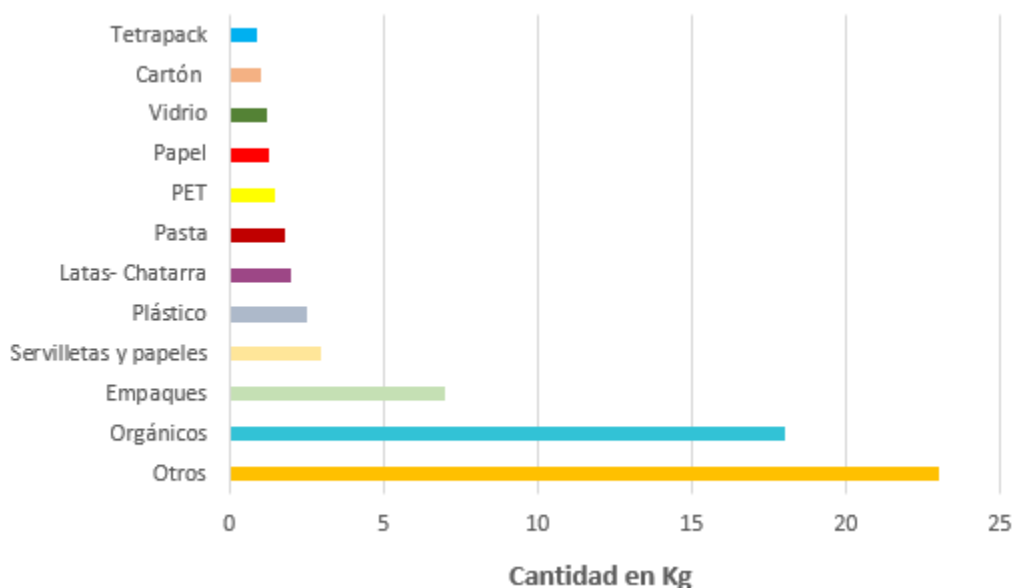
La figura anterior permite concluir que la mayor generación per cápita de residuos sólidos en sectores no residenciales es aportada por el sector industrial, seguido del sector comercial que aunque presenta porcentajes de generación muy similares, es importante

reconocer que los tipos de residuos difieren significativamente en composición física y requerimiento adecuado de manejo.

Al analizar la tipología de los residuos encontrados en el cuarteamiento según el estrato se encuentra que:

Figura 6

Tipología de residuos en el Estrato 1



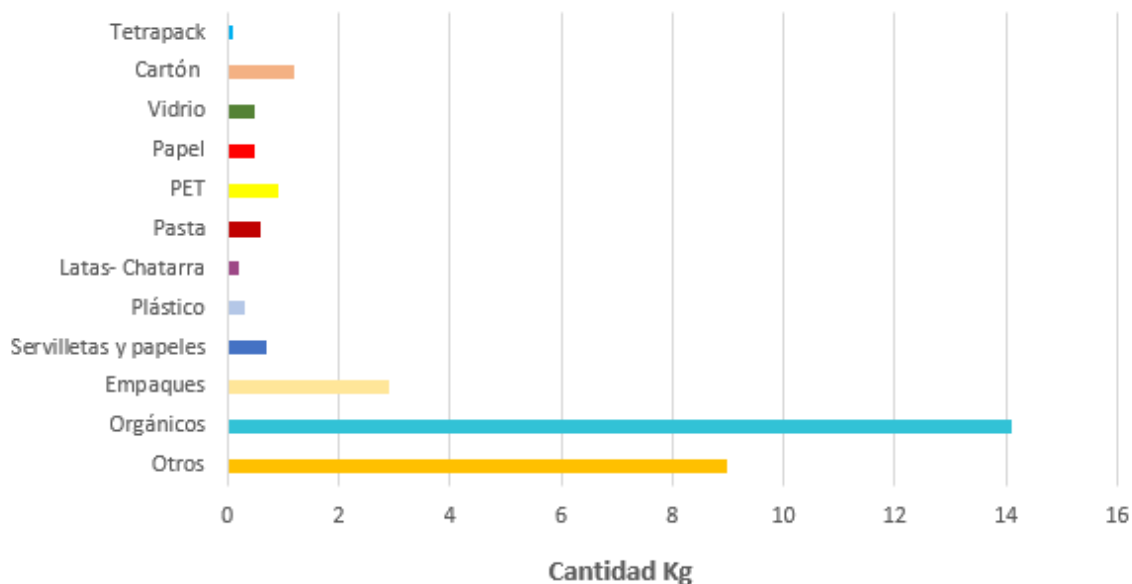
Nota: En la gráfica se muestra la distribución de residuos en el sector residencial estrato 1 del Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 45

Como puede observarse en la figura N°6, la mayor cantidad de residuos generados en el estrato 1 son residuos no aprovechables denominados “otros” como envolturas, material contaminado, mezclado, deteriorado o que, debido a su composición, se dificulta el proceso de aprovechamiento, este alto porcentaje refleja un reto significativo para los procesos de

recolección selectiva y reciclaje. Por otro lado, dentro de los residuos considerados como aprovechables, los orgánicos representan la fracción predominante 28.72% del total generado, lo que puede indicar patrones de consumo basados en alimentos frescos, preparados en casa. El 9.46% es ocupado por empaques metalizados específicamente de alimentos ultra procesados que por su composición en multicapas y con presencia de aluminio, no pueden ser aprovechados. Los demás residuos graficados, tienen porcentajes menores al 5% lo cual representa una participación baja en la composición total de residuos, sin embargo, dichas tipologías tienen un impacto ambiental alto que debe ser mitigado. Para el caso del estrato 2, al analizar la gráfica N° 7 se encuentra que:

Figura 7

Tipología de residuos en el Estrato 2



Nota: En la gráfica se muestra la distribución de residuos en el sector residencial estrato 2 del Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 46

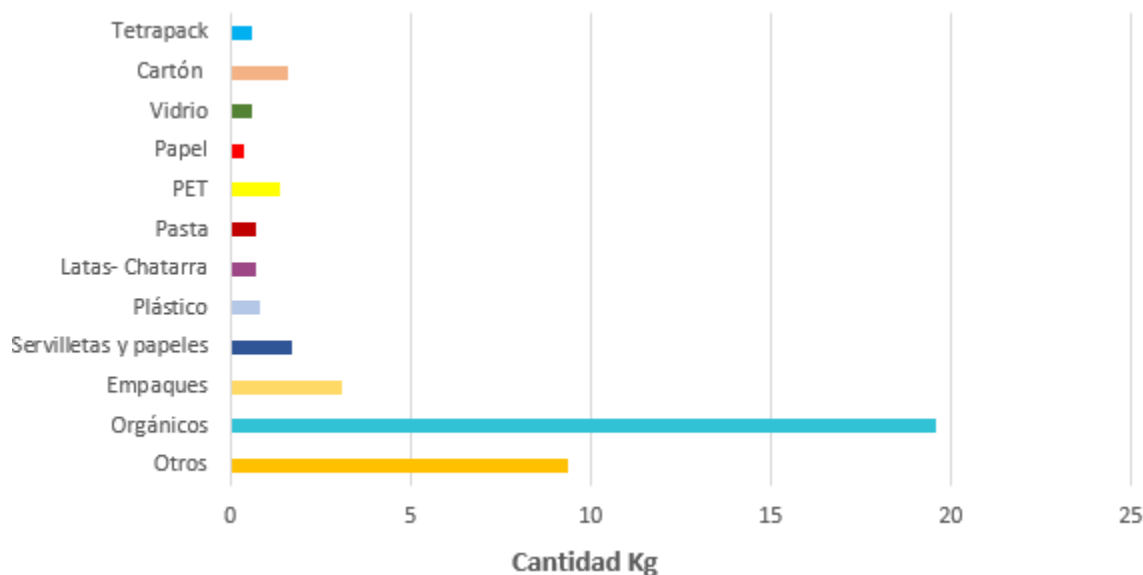
Es evidente en la figura N°7 que la fracción orgánica continúa siendo la categoría de residuos más predominante 37.52% del total generado, lo que refleja hábitos de consumo asociados a alimentos frescos y preparados. Esta fracción, aunque aprovechable, suele terminar en disposición final por la falta de separación en la fuente y aprovechamiento efectivo. Al aplicar una producción per cápita PPC promedio de 0.44 kg/Hab/día, estimación realizada por expertos estadísticos, se obtiene que una persona de estrato 2 en el municipio de Itagüí, genera de forma diaria un aproximado de **0.165 kg** diarios de residuos orgánicos

En segundo lugar, se observa una alta proporción de residuos no aprovechables clasificados en la categoría de “Otros” con aproximadamente 23.24%, los cuales corresponden a materiales altamente contaminados o deteriorados. Entre los residuos aprovechables, se encuentra una gran cantidad de cartón el cual tiene un alto potencial de valorización. Así mismo, el PET representa una cantidad significativa, atribuida al consumo frecuente de bebidas embotelladas, especialmente gaseosas.

Un dato preocupante, es que, aproximadamente el 69% de los residuos generados en el estrato 2 son residuos que bien podrían ser valorizados pero que, debido a falta de educación ambiental, programas de reciclaje y programas de recolección diferenciada, no se hace.

Figura 8

Tipología de residuos en el Estrato 3



Nota: En la gráfica se muestra la distribución de residuos en el sector residencial estrato 3 del Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 47

En el estrato 3 se observa una alta proporción de residuos orgánicos 45.68%, manteniendo la tendencia observada que reafirma la predominancia en la generación total de residuos del sector residencial, con la estimación de la generación per cápita se calcula que para el estrato 3 genera alrededor de **0.201 kg/hab/día**, un 22% más con respecto al estrato 2. Sin embargo, al igual que en el estrato 2, la categoría de "otros" presenta un volumen significativo 21.73%, lo que indica la presencia de residuos altamente contaminados o no identificables dentro de las categorías comunes, reflejando la necesidad de fortalecer los hábitos de separación en la fuente.

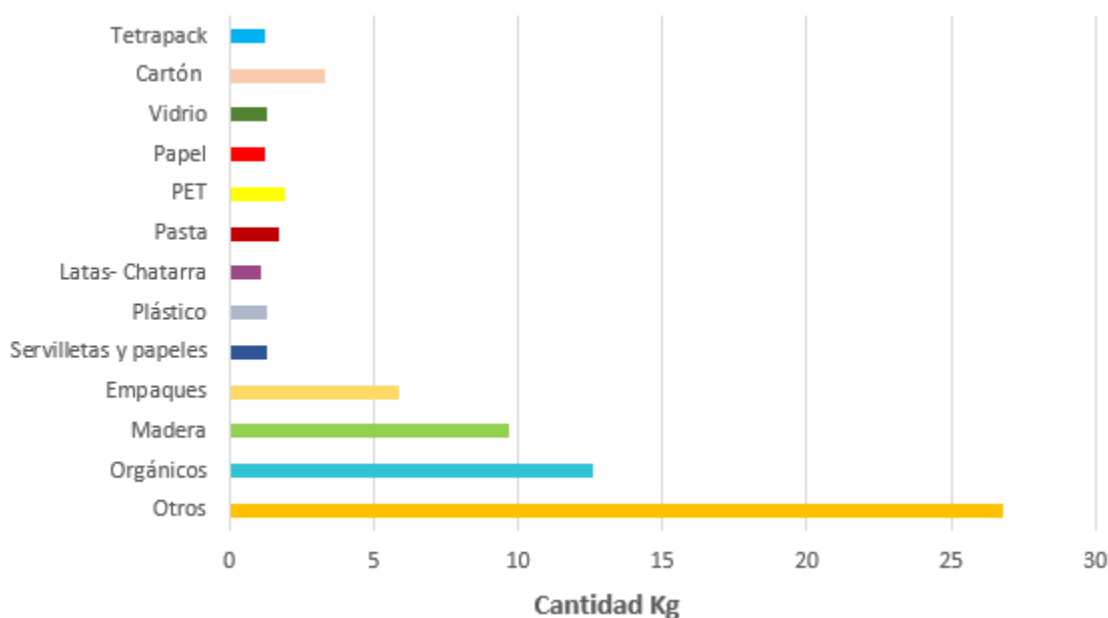
No obstante, en este estrato se evidencia un cambio importante en la composición de los residuos aprovechables: los papeles y servilletas toman mayor porcentaje en comparación

con el papel y el PET, que eran más representativos en el estrato 2. Esta situación puede estar relacionada con prácticas de consumo específicas del estrato, como un mayor uso de productos de oficina, servilletas desechables y papelería doméstica.

A continuación, se presenta la gráfica que detalla la tipología de residuos identificados en el proceso de muestreo realizado en comercios del municipio. Esta información permite conocer la composición específica de los residuos generados en este sector no residencial, el cual se caracteriza por altos volúmenes de consumo.

Figura 9

Tipología de residuos sector No residencial



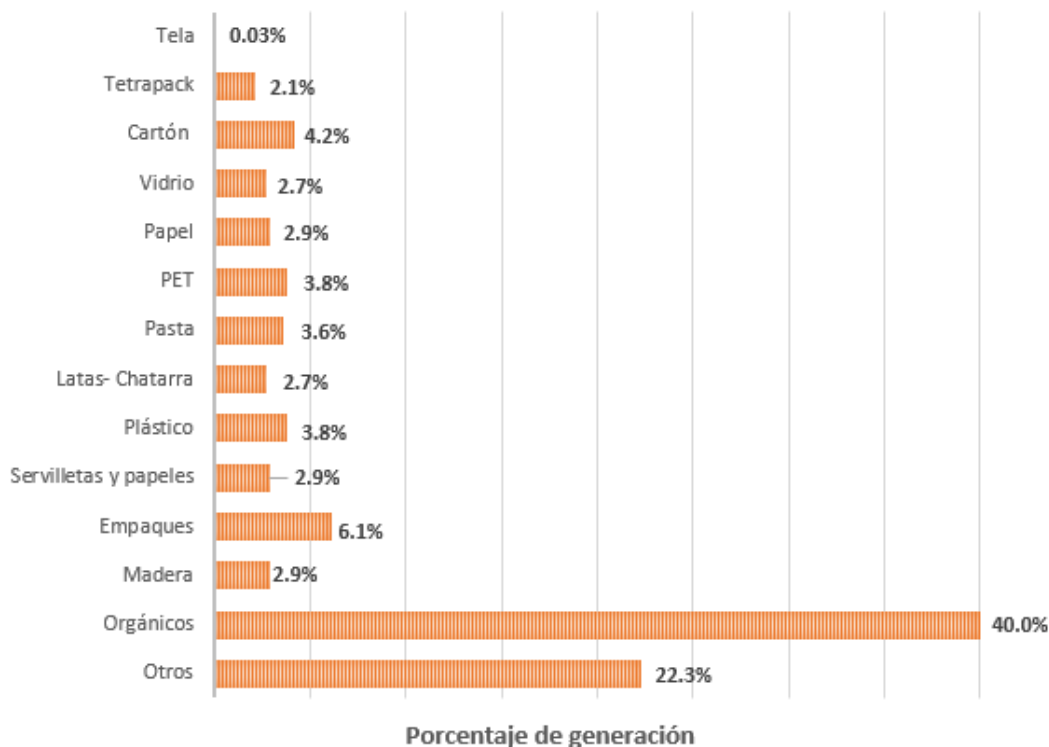
Nota: En la gráfica se muestra la distribución de residuos en el sector no residencial del Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 49.

Puede observarse en la anterior gráfica que el sector No residencial, genera mayor cantidad de “otro” tipo de residuos 27.24% los cuales no están definidos como aprovechables debido, probablemente a que presentan alta contaminación, adicionalmente, puede concluirse que la mayoría de residuos generados en itagüí tanto en sectores residenciales como No residenciales corresponden a residuos orgánicos. También se observa diversificación de materiales aprovechables en el sector No residencial como lo es la madera 9.79%, el cartón 5.91% y el PET 4.07%, esto refleja la dinámica operativa del comercio el cual por razones obvias presenta diferencias significativas al sector residencial.

Al tener claras las tendencias de generación de residuos los expertos aplicaron métodos estadísticos cuantitativos para proporcionar una base sólida y confiable sobre la producción municipal de residuos. La conclusión de los residuos generados en el Municipio se comprende en la siguiente gráfica:

Figura 10

Generación Municipal de residuos



Nota: En la gráfica se muestra la distribución de la tipología de residuos generados por el Municipio de Itagüí. THREECYCLES SAS. (25-06-2025). Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí, pág. 52

La figura en cuestión representa la composición general de residuos sólidos en el Municipio, por ello, es posible afirmar que:

- El 40% de los residuos generados en Itagüí son residuos orgánicos, compuestos principalmente por restos de cocina **60%** y frutas y verduras **40%**, lo que significa una alta producción de **residuos biodegradables**.
- El 22.3% de los residuos se clasificaron como “otros” lo que significa que gracias a su alto nivel de contaminación estos residuos no pueden ser aprovechados, por lo cual, se encienden las alarmas sobre el conocimiento de los usuarios con respecto a la adecuada separación en la fuente.

- El 27.0 % denominado como embalaje o envase son residuos reciclables con alto potencial de reincorporación en la cadena como lo es: PET, cartón, plástico, vidrio, pasta.
- El 7,8% corresponde a materiales de fácil incorporación en la cadena de valor y gran potencial de valorización como el tetra pak, la chatarra y la madera
- El 0.03% corresponde a telas que podrían ser incorporadas en la cadena, sin embargo, es necesario aclarar que para uso reutilización deberían tener un proceso de recolección exclusivo debido a que pueden contaminarse fácilmente con residuos de alimentos haciendo casi imposible su uso posterior.

Al hablar de la tipología de residuos es imprescindible tener claro los volúmenes generados para así dimensionar las alternativas de economía circular viables, es por esto, que se extraen y analizan los siguientes datos aportados por el municipio de Itagüí:

- El sector residencial genera **37,400** toneladas al año, cerca del **49.43%** de residuos sólidos ordinarios.
- El sector comercial aporta cerca del **25.59%** con un cifra de **19,360 ton/año**
- La participación del sector institucional es del **24%** con **18,460 ton/año**
- El sector industrial genera **430 ton/año**, cerca del **0.57%** de los residuos.
- El alto porcentaje residencial refleja el impacto del consumo doméstico y la necesidad de implementar estrategias efectivas de separación en la fuente, compostaje y educación ambiental en los hogares.
- La industria agroalimentaria genera aproximadamente **30,000 kg** de residuos orgánicos/día considerándose el mayor generador.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización de los residuos ordinarios en el Municipio de Itagüí, los expertos realizaron una proyección de dichos residuos para el año 2025 encontrando que las Toneladas de residuos ordinarios que se generarían es de aproximadamente **76.657**, de las cuales **30.271** ton, el **40.10%** son residuos orgánicos, **28.507 ton**, es decir, el **37.68%** son residuos aprovechables y **16.879** ton, **22.31%** son residuos no aprovechables.

Una conclusión importante en esta fase de caracterización y que refuerza la necesidad de proponer modelos de economía circular es: El Municipio de Itagüí debe aumentar las tasas de aprovechamiento de residuos orgánicos y reciclables que se encuentran mezclados en los residuos considerados como ordinarios, si esto sucede se estarían aprovechando **58.778 Ton** equivalentes al **77.69%** de los residuos ordinarios del municipio.

ACTORES CLAVE EN LA CADENA DE GENERACIÓN, DISPOSICIÓN Y APROVECHAMIENTO

Grandes generadores

Para mayor claridad sobre los generadores, el Municipio de Itagüí realizó encuestas para conocer la ubicación, tipo de generación, número de empleados, tipo y cantidad de residuos generados y hábitos de aprovechamiento del sector No residencial. Fueron realizadas otro tipo de preguntas cómo:

- ¿Qué tipo de residuos orgánicos genera principalmente?
- ¿Cómo maneja actualmente los residuos orgánicos generados?
- ¿Separan actualmente los residuos orgánicos de otro tipo de residuos?.

El análisis de las encuestas corroboró que la mayoría de residuos generados corresponden a restos de frutas y verduras, además se encuentra que el 50% de los establecimientos no realiza separación en la fuente debido principalmente a dos factores: el primero es el desconocimiento sobre la correcta separación y el segundo es que no cuentan con sistemas de aprovechamiento.

Se concluye que, en promedio, cada establecimiento genera 95.06 kg de residuos orgánicos diariamente y que existe una relación directa entre la generación y la cantidad de empleados. El análisis también reveló que la Central Mayorista de Antioquia se consolida como el gran generador de residuos orgánicos en el Municipio de Itagüí con un aporte de 35 toneladas de residuos orgánicos al día.

Prestadores del servicio

Uno de los actores clave en la cadena de residuos del Municipio es la empresa de aseo Serviaseo S.A.S E.S.P quien actúa en Itagüí a través del operador Interaseo S.A.S E.S.P, empresa encargada del servicio integral para el adecuado manejo de residuos sólidos cuyas actividades comprenden: recolección, barrido, limpieza de vías y áreas públicas, corte de césped, poda de árboles y disposición final de residuos (Serviaseo Itagüí, 2020). En el programa para prestación del servicio público de aseo actualizado y publicado en el año 2025, serviaseo enlista los barrios y comunas en las cuales se tienen establecidas 51 macro rutas de transporte que incluyen la recolección de residuos en viviendas e industrias y el censo de 109 puntos críticos identificados, de ello se puede concluir que la empresa atiende aproximadamente al **98.94%** de los usuarios del municipio recolectando 236 toneladas de residuos diarias.

El restante, **1.02%** del total de usuarios, es atendido por empresas del grupo epm, completando así, la mayoría del territorio.

Prestadores del servicio de aprovechamiento

Como parte del diagnóstico de la línea base del PGIRS, el Municipio de Itagüí, como entidad territorial responsable, realiza censos anuales de las asociaciones de reciclaje, en cumplimiento de la ley 142 de 1994 y el Decreto 1381 de 2024. Lo que se busca es la correcta identificación y registro de los recicladores de oficio, censo que contempla varios propósitos, uno de ellos es mapear a los recicladores, conocer los barrios, comunas y rutas que atienden y conocer sus condiciones de trabajo para lograr una inclusión social y económica facilitando el acceso a beneficios; otro de los propósitos es el de dignificación de la labor mediante el reconocimiento en la gestión adecuada de residuos.

Según el censo de recicladores del año 2025, el Municipio cuenta con ocho prestadores de servicio de aprovechamiento registrados, de los cuales siete son Organizaciones de Recicladores de Oficio (OROs) que se acogen al régimen de regularización establecido por la normativa vigente. Se tiene un censo base de **600** recicladores de los cuales **190** se encontraban verificados y activos a diciembre de 2025, **180** asociados a alguna de las organizaciones y **10** que laboraban de forma independiente. Se calcula un promedio estimado de **2.3** toneladas de material recolectado por reciclador al mes.

Gestores Aliados

En el Municipio existen casos de éxito en cuanto a modelos de economía circular, a continuación, se nombran algunos de los posibles aliados que han implementado la transformación de materiales en la gestión de residuos:

S.C Recycling S.A.: Ubicada en la dirección Cl. 51 #40-98, Santa Cruz, Itagüí, S.C recycling es una empresa dedicada a la transformación de los excedentes del plástico, mezclas, polietilenos, polipropilenos, resinas etc, en diferentes tipos de maderas ecológicas mediante las cuales se elaboran decks, estibas, parques infantiles, perfilería y mobiliarios. Esta compañía tiene más de **20** años de experiencia, cuenta con una capacidad de procesamiento de **350 ton/mes** y contribuye con la disminución de **553,218** toneladas de residuos al año.

Biomezclas: Empresa dedicada a la transformación de residuos orgánicos para producir acondicionadores orgánicos de suelo mediante el compostaje por volteo de pilas, actualmente procesa **10,800** toneladas anuales (**900 toneladas mensuales**), aunque es una empresa establecida en Santa Rosa de Osos, capta residuos de todo el Valle de Aburrá, Norte de Antioquia y Oriente cercano, asistiendo a aproximadamente 40 clientes en casi toda la zona urbana de Itagüí.

GDA- Gestión y desarrollo ambiental: Utiliza el compostaje industrial para generar abono orgánico, GDA gestiona un promedio de **1247.99 toneladas** de residuos orgánicos por mes. El volumen gestionado ha mostrado una tendencia creciente: **14,314.56 Toneladas/Año** en 2023, **15,339.94 Toneladas/Año** en 2024, y **4,791.95 Toneladas** de enero a abril de 2025. Opera en 5 barrios del Municipio de Itagüí atendiendo a 39 clientes.

DESAFÍOS IDENTIFICADOS

Los siguientes desafíos u oportunidades de mejora son identificados mediante el análisis de encuestas realizadas a distintos actores clave en la gestión de residuos sólidos, las cuales permitieron explorar conocimientos, percepciones, actitudes y experiencias relacionadas con la separación en la fuente, frecuencia de recolección, confianza en el sistema de gestión,

así como los niveles de compromiso y corresponsabilidad frente al manejo de residuos. Otros desafíos son identificados mediante el estudio de los programas y proyectos de la línea base del PGIRS proporcionado por el Municipio.

Desconocimiento o Desinformación

Una de las principales causas de la No separación en la fuente según las encuestas, es el desconocimiento sobre cómo separar correctamente los residuos, acompañado de la desinformación sobre la ubicación de puntos limpios y/o la implementación de programas municipales. La separación en la fuente es el pilar fundamental para el éxito de cualquier programa de aprovechamiento de residuos orgánicos. La observación de que aproximadamente la mitad de los establecimientos en Itagüí no realizan esta práctica adecuadamente representa un punto de falla crítico que impacta directamente la consecución de las metas del PGIRS. Cuando los residuos orgánicos se mezclan con otros tipos de residuos, su calidad disminuye drásticamente, lo que incrementa los costos de pretratamiento (como la remoción de contaminantes físicos a un costo estimado basado en referencias operativas actuales de \$800,000 COP por tonelada de contaminación) y reduce el valor o la calidad del producto final. Por ello, una de las grandes conclusiones es: para cumplir las metas propuestas por el PGIRS es indispensable la inversión en educación ambiental priorizando la separación en la fuente y la sensibilización de grandes generadores de residuos sólidos.

Problemas de recolección

Según las encuestas, otra de las principales dificultades identificadas es la falta de recipientes de almacenamiento. Ante la pregunta: ¿Cuáles considera que son las principales

dificultades para separar y entregar adecuadamente los residuos?, más del 30% de las personas encuestadas contestó que la no separación en la fuente se debía a no tener ni contenedores ni espacios adecuados de almacenamiento, otro porcentaje relevante contestó que no sabía a quién y cuándo entregar el reciclaje, lo que indica que la comunidad no conoce a las empresas prestadoras del servicio ni a los recicladores de oficio, o que las 51 rutas estipuladas de recolección las cuales contemplan los días y horarios por barrio, no se están cumpliendo. Adicionalmente, debe pensarse en una solución para que los usuarios hagan entrega eficaz de los residuos debidamente separados, la adopción de la tecnología podría permitir el diseño de contenedores adecuados que cumplan su función de retener olores y lixiviados mientras son recolectados y transportados.

Micro Rutas selectivas

El diagnóstico revela una debilidad estructural persistente, ni el municipio ni la empresa prestadora del servicio reportan el establecimiento de rutas formales de recolección selectiva. Esta situación limita el potencial de aprovechamiento a la labor de los recicladores en la calle, sin un esquema claro de micro ruteo.

Es indispensable contar con rutas de recolección de residuos aprovechables, establecer la ubicación, los horarios, las frecuencias y la descripción de las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento ECAs que aprovechan los materiales, esa posibilidad de realizar una adecuada trazabilidad a los residuos generados, recolectados y aprovechados mediante el uso de la tecnología, lograría tener datos sobre disposición final y aprovechamiento del Municipio al instante, facilitando el cumplimiento de las metas propuestas.

Infraestructura

La transición hacia una economía circular exige una base sólida de infraestructura y la formalización de los actores que operan en el territorio. El municipio ha mantenido una estabilidad en su infraestructura física de acopio y clasificación, reportando la siguiente capacidad instalada:

Bodegas Pequeñas (< 150 m²): 25 centros.

Bodegas Medianas (150 - 999 m²): 17 centros.

Bodegas Grandes (≥ 1.000 m²): 3 centros.

En cuanto a la formalización de los recicladores, es indispensable su dignificación mediante condiciones seguras de trabajo lo cual se logra con la vinculación a alguna de las Asociaciones de reciclaje. Esto no solo permite el bienestar de los actores sino que garantiza la reducción de la desconexión entre los usuarios generadores y los actores de aprovechamiento construyendo cultura. Ante la pregunta: ¿ Con qué frecuencia entrega materiales reciclables a los recicladores u organizaciones?, las personas contestaron: A veces **45%**, siempre **37%**, nunca **12.98%**, no hay recicladores en mi zona **4.81%**, esto significa que hay un gran desafío en cuanto a educación ambiental, compromiso y engranaje entre actores.

DIAGNÓSTICO FINAL

Figura 11

Matriz DOFA de diagnóstico final



Nota: En la matriz DOFA se muestra el diagnóstico técnico y estratégico del Municipio de Itagüí en materia de gestión de los residuos. Elaboración propia (2026).

La matriz presentada consolida el diagnóstico final técnico y estratégico del municipio, en cuanto a los factores internos, se evidencia que Itagüí posee una infraestructura operativa robusta y un conocimiento detallado de sus actores clave, además realiza riguroso seguimiento de la normativa vigente realizando censos y actualizaciones de los proyectos y programas de la línea base del PGIRS (Fortalezas), sin embargo, enfrenta una desconexión estructural en la base de la cadena: la **separación en la fuente** (Debilidad), esto indica que existe una baja apropiación cultural y dificultades en educación ambiental y en materia de articulación completa de actores.

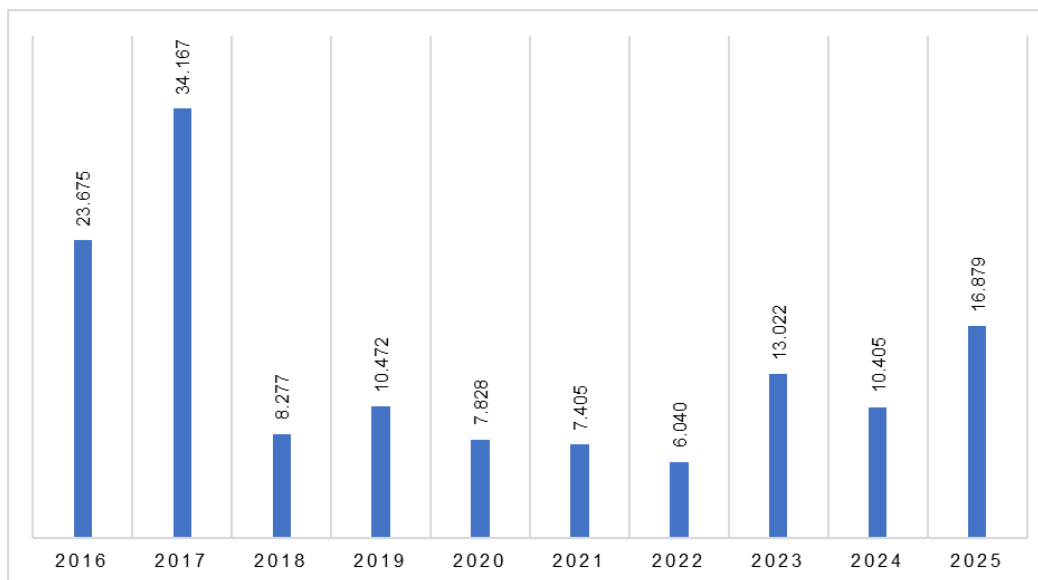
En cuanto a factores externos, se resalta que la crisis inminente del relleno sanitario **La Pradera (2027)** no debe verse solo como una amenaza, sino como el catalizador necesario para activar las oportunidades de valorización biológica (biodigestión, compostaje, biocombustibles) que el estudio identifica. Sin embargo, el éxito de este tránsito hacia la circularidad está condicionado por la superación de barreras técnicas, como la **variabilidad de la carga orgánica** y las **limitaciones logísticas del prestador**, junto con un desafío pedagógico que transforme la desconfianza del sector comercial en corresponsabilidad ciudadana. En conclusión, la matriz justifica la necesidad de una **hoja de ruta estratégica integral** que blinde el proceso ante la inestabilidad normativa nacional y optimice la capacidad instalada local.

METAS E INDICADORES

Mediante el sistema Único de Información de servicios públicos domiciliarios (SUI), repositorio digital administrado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), fue posible realizar la revisión y descarga de datos oficiales relacionados con los indicadores de disposición y aprovechamiento reportados por los prestadores de servicio.

Figura 12

Toneladas de residuos sólidos que ingresan al sitio de disposición final



Nota: La figura muestra las toneladas/año de residuos generados en el Municipio de Itagüí que llegan al relleno sanitario la Pradera. Sistema Único de servicios públicos domiciliarios "SUI". (2025).

Puede observarse el incremento en el año 2025 de las toneladas dispuestas en el relleno sanitario la Pradera, residuos provenientes del municipio de Itagüí, este dato está incluso por encima del promedio de los últimos cinco años, lo que concluye una relación directa con el desafío anteriormente mencionado, y es que las personas en el municipio de Itagüí no han adquirido una cultura de reciclaje y adecuada separación en la fuente; adicionalmente, puede haberse aumentado el uso de materiales No aprovechables.

El Municipio de Itagüí estableció metas en pro de la gestión de residuos sólidos, una de sus metas más importantes es el incremento del aprovechamiento de residuos en un 21% en el periodo 2024-2025, el cual se cumplió en un 15.7% (Alcaldía de Itagüí, 2025, p.27).

Para el periodo 2025-2034 se espera un crecimiento anual del 1% en generación de residuos partiendo del año 2025 con cifras de residuos orgánicos establecidas en 30,271 Ton/Año, que proyectadas a 2034 se convierten en 33,106 toneladas de residuos orgánicos al año; así mismo, se parte de 28,507 toneladas de residuos aprovechables en 2025 y 16,879 toneladas de residuos No Aprovechables, con proyecciones realizadas a 2034 de 31,778 Ton/año y 18,460 Ton/año, respectivamente.

Las metas trazadas consisten en un incremento de aprovechamiento del 10% anual partiendo del año 2026, lo que establece que para el año 2034 se espera un aprovechamiento del 90% de los residuos orgánicos y aprovechables, esto es: 29,796 Toneladas RO aprovechadas/año y un cifra de 28,060 ton de residuos aprovechables/año, de igual manera, se busca una reducción del 50% de los residuos No Aprovechables con una cifra aproximada de 9,230 toneladas de residuos No Aprovechables/año.

Las Cifras anteriormente mencionadas son de gran importancia ya que ayudarán a dimensionar las alternativas propuestas de modelos de economía circular.

OTRAS PROPUESTAS DE ECONOMÍA CIRCULAR

Baja california, año 2020. Según Vásquez (2020), es posible “dimensionar un biodigestor a partir del análisis y caracterización de residuos sólidos orgánicos de la cafetería de la universidad Cetys” (p.1). Esta investigación aplicada aborda la problemática de la gestión de residuos sólidos orgánicos (RSO) generados en la cafetería del campus Mexicali de la Universidad CETYS. A través de una caracterización física, Vazques determinó que la cafetería genera un promedio de **31.22 kg/día** de residuos con un alto potencial de biodegradabilidad. Su

hipótesis inicial consistía en afirmar que dichos residuos podrían producir 0.2 m³ de biogás por kilogramo. Para la valorización de los residuos, el investigador diseñó un **sistema de digestión anaerobia (biodigestor)**, con el objetivo de capturar el biogás resultante de la descomposición bacteriana. Los resultados técnicos indican que, bajo condiciones controladas de temperatura y pH, el sistema diseñado es capaz de producir energía renovable para el autoconsumo de las instalaciones en un orden del 30% al 40% del valor planteado, reduciendo simultáneamente la carga de residuos enviados a rellenos sanitarios y las emisiones de gases de efecto invernadero. Este caso demuestra la viabilidad técnica de implementar modelos de **valorización energética a pequeña escala** en instituciones educativas.

Cusco, 2015, Ferrer y otros autores documentaron y difundieron la implementación de un modelo de digestión anaerobia a pequeña escala y de bajo costo, con el fin de que las familias en Perú sustituyeran la quema de madera o estiércol para cocinar, el modelo se probó en comunidades rurales de los Andes peruanos (Cuzco y Cajamarca), situadas entre los 3.000 y 4.000 m.s.n.m. El proyecto evaluó la viabilidad de **biodigestores de geomembrana de bajo coste** con un aporte técnico diferencial, el cual es la adaptación al clima: ante las bajas temperaturas, Ferrer indica que se implementaron **invernaderos rústicos** que permitieron mantener la temperatura interna del biodigestor entre 10°C y 23°C, asegurando la actividad bacteriana. Los resultados demostraron que “es posible obtener una producción estable de energía y biofertilizantes con una inversión mínima de biodigestores tubulares de plástico, instalados en una zanja con aislamiento térmico del suelo, y cubiertos con un invernadero” (Ferrer et al, 2015, p.6). validando así el modelo como una solución técnica y socialmente apropiada para entornos con limitaciones económicas y logísticas. Este caso es un referente para el diseño de soluciones descentralizadas en zonas de difícil acceso o con recursos financieros limitados.

En México, Tavera (2010). y otros autores investigaron “La composta como alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en México” (p.1) donde se evaluaron residuos de plantas, estiércol de animal y restos de cosechas como fuente estable de nutrientes, los autores encontraron beneficios del uso de composta en el suelo, como lo son la mejora de la estructura, la disponibilidad de nutrientes, la retención de humedad y una disminución importante en el costo de implementación con respecto a otras técnicas, el modelo busca transformar los residuos recolectados de mercados y áreas residenciales convirtiéndolo en abono de alta calidad. Los autores resaltaron que el éxito de la propuesta depende principalmente de la adecuada separación en la fuente y en la inclusión y aceptación del producto final en el mercado.

Un modelo diferente e interesante fue el propuesto por Villegas y Laines (2017) quienes analizaron el vermicompostaje “proceso que integra lombrices (principalmente *Eisenia fetida*) y microorganismos para la bio-oxidación y estabilización de residuos sólidos orgánicos” (p.1). El estudio destaca que, al operar a temperaturas más bajas, el vermicompostaje, logró un producto final de granulometría fina, de gran porosidad y una carga microbiana rica que favorece el crecimiento vegetal. Se concluye que las lombrices tiene la capacidad de acelerar la degradación de la materia orgánica lo cual representa una ventaja en la reducción de tiempos de procesamiento y eliminación de patógenos de manera eficiente, es una estrategia de fácil adopción, bajo costo y alta rentabilidad para el tratamiento de residuos orgánicos urbanos y agroindustriales, permitiendo la obtención de un biofertilizante con alto valor agregado que promueve la salud del suelo y la sostenibilidad agrícola.

Otra investigación de gran relevancia fue la realizada por Flores y otros autores (2019), quienes, en busca de alternativas energéticas, evaluaron “la factibilidad técnica y ambiental de transformar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) en bioetanol de

segunda generación” (p.2). Su investigación corroboró que los residuos orgánicos presentan alto contenido de celulosa y almidón, que al ser sometidos a hidrólisis y fermentación alcohólica producen biocombustibles. Los resultados sugieren que, mediante el aprovechamiento de residuos de frutas y vegetales, es posible obtener rendimientos significativos de etanol, lo que refuerza la idea de que los RSU no son un desecho, sino como una materia prima estratégica para las industrias, como es el caso de la industria de los combustibles renovables.

MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR PROPUESTO

Previo a realizar una propuesta de modelo de economía circular para el Municipio de Itagüí fue indispensable revisar detalladamente las necesidades reales en cuanto a gestión de residuos sólidos basados en las normas vigentes regulatorias del Plan de Gestión de Residuos sólidos. Después de realizar el respectivo análisis se proponen las siguientes recomendaciones estratégicas que deberían implementarse independientemente del modelo de economía circular desarrollado:

- **Priorizar la separación en la fuente y la educación ciudadana:** Es fundamental lanzar campañas intensivas de educación ambiental para fomentar la separación de residuos orgánicos y aprovechables del resto de residuos.
- **Fortalecer la Infraestructura y Cumplimiento de las ECA:** Es prioritario y obligatorio implementar mejoras en la infraestructura de las ECA, su señalización y la formalización de programas críticos de prevención y control (incendios, plagas y vectores). Es esencial abordar la falta de certificados de uso de suelo donde sea aplicable.

- **Capacitar sobre la Jerarquía de la Gestión de residuos:** Es indispensable hacer énfasis en la pirámide invertida que prioriza la Prevención, la Reducción/Reutilización, la Recuperación/Reciclaje, el Tratamiento y como última medida la disposición final.
- **Establecer rutas de recolección selectiva:** Las rutas selectivas son indispensables para evitar la contaminación cruzada y preservar la homogeneidad y calidad de los residuos que pueden ser valorizados, el municipio debe garantizar que se cumplan las rutas y los horarios dispuestos para dicha recolección.
- **Trazabilidad de los datos:** Es indispensable rastrear y documentar de manera ininterrumpida el proceso de recolección, transporte, tratamiento, valorización y disposición de cada uno de los residuos, conocer las cifras reales en una ventana de tiempo corta permite tomar acción de forma concreta sobre los procesos, además, del cumplimiento normativo establecido.

Los datos a continuación, se tomarán como datos clave de ingreso de los cuales se partirá para elaborar la propuesta de modelo de economía circular

- El 40% de los residuos generados en el Municipio son residuos orgánicos, es por ello, que la propuesta presentada se basa en la valorización de los residuos de mayor generación.
- La Plaza Mayorista es el mayor generador comercial de residuos orgánicos del Municipio
- Existen empresas que recolectan los residuos orgánicos pero no tienen rutas definidas y el costo de recolección por kilo de residuo es alto.

- Se espera la generación de 30,876 toneladas de residuos orgánicos para el año 2027 de las cuales 6,175 toneladas deben ser aprovechadas según las metas trazadas por el municipio.
- Para cumplir la meta anteriormente descrita en el año 2027, se hace necesaria la valorización o tratamiento de 16.9 toneladas/día.

Comparación de Escenarios para el Tratamiento de Residuos Orgánicos

Se hace indispensable un análisis de caracterización fisicoquímica de los residuos obtenidos para poder proponer de una forma específica las tecnologías y modelos adecuados de tratamiento de residuos según las condiciones encontradas, sin embargo, se analizaron los escenarios principales:

1. Compostaje a Gran Escala (Centralizado)

Implica la construcción y operación de una planta de compostaje industrial para procesar la fracción orgánica de los residuos municipales, especialmente de grandes generadores. Utiliza tecnologías como pilas estáticas aireadas o in-vessel. El resultado es Compost de alta calidad para uso agrícola, paisajístico y como enmienda de suelos.

Beneficios: Reducción del volumen de residuos en rellenos sanitarios (40-60% de materia orgánica), mitigación de emisiones de metano y CO₂, mejora de la salud del suelo, ahorro en costos de disposición final, generación de ingresos por venta de compost, y creación de empleo local.

Desafíos: Alta inversión inicial (plantas en Antioquia varían de \$60M a \$1.5B COP), necesidad de asegurar separación en la fuente efectiva para evitar contaminantes, y gestión rigurosa de olores

2. Digestión Anaeróbica (DA) para Producción de Biogás y Digestato

Proceso biotecnológico en el que se degrada materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás (metano) y un digestato (líquido y sólido). El biogás puede usarse para calefacción, electricidad o combustible vehicular; el digestato como fertilizante orgánico.

Beneficios: Alta reducción de emisiones de GEI al capturar metano, disminución de la deforestación, prevención de contaminación de suelo y agua, generación de energía renovable y producción de fertilizantes orgánicos.

Desafíos: Alta inversión de capital para instalaciones industriales, costos de operación y mantenimiento elevados (aprox. 80% de costos totales), necesidad de pre-tratamiento y purificación del biogás, sensibilidad del proceso a la composición de la materia prima, y riesgos de explosión por almacenamiento de metano.

3. Bioconversión con Mosca Soldado Negro

Consiste en el uso de la mosca soldado negro “*Hermetia illucens*” para la “bioconversión de residuos orgánicos en dos subproductos, en biomasa o harina y en abono rico en fósforo y nitrógeno” (Guerrero y Palomino, 2024, p.13)

Beneficios: Pueden procesarse residuos en corto tiempo, de 4 a 7 días, presenta baja emisión de olores y se generan subproductos de alto valor económico.

Desafíos: No es apta bajo ninguna circunstancia para residuos con trazas químicas, se requiere de mayor experiencia y capacitación para su operación, requiere un exhaustivo control ambiental referente a temperatura, humedad.

4. Aprovechamiento Comunitario Descentralizado

Pequeños proyectos de economía circular social en barrios o instituciones donde se realiza compostaje o lombricultura a pequeña escala con participación ciudadana.

Beneficios: Educación ambiental constante, de bajo costo, fácil de replicar

Desafíos: Requiere organización constante, bajo volumen procesado, no es técnicamente eficiente.

MATRIZ COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO

Tabla 2.

Puntuación y comparación de alternativas

Alternativa	¿Qué produce?	Factibilidad técnica (Itagüí)	Costos relativos	Requerimientos operativos	Riesgos (olores/contaminación/seguridad)	Aceptación social	Alineación PGIRS	Observación para Itagüí
Compostaje centralizado (gran escala)	Compost/enmienda orgánica	4	3	3	3	4	5	Conveniente para grandes generadores (plazas, restaurantes, industria alimentaria). Depende de separación en la fuente y control de olores; requiere sitio, operación y logística estable.
Digestión anaerobia (DA)	Biogás + digestato (fertilizante)	4	4	4	3	4	4	Útil para fortalecer cultura y separación. Baja costos de transporte, pero necesita acompañamiento, control y continuidad para evitar vectores/olores.
Mosca Soldado Negra (BSF)	Harina/aceite/frass (fertilizante)	3	2	2	2	3	5	Reduce GEI y genera energía, pero exige inversión alta, operación especializada y control (metano). Requiere flujo constante y residuo orgánico con buena calidad (poca contaminación).
Compostaje comunitario/domiciliario (descentralizado)	Compost local	3	2	2	3	2	4	Puede dar productos de alto valor, pero necesita mercado, control biológico y escala. Puede ser fase posterior si hay alianza privada/mercado asegurado.

Nota: La Tabla N° 2 muestra la puntuación otorgada a cada una de las alternativas consideradas según 6 indicadores clave. (Autores, 2026).

Según las alternativas contempladas se decidió realizar una matriz con seis de los indicadores clave que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar, dimensionar y presupuestar el modelo de economía circular definitivo, para su elección se asignó una escala de calificación del indicador de 1 a 5, siendo 1 un concepto desfavorable o difícil, 3 un concepto intermedio y 5 un concepto viable o favorable

Escala de calificación (1–5):

1 = Muy desfavorable - Muy difícil

3 = Intermedio

5 = Muy favorable - Muy viable

Con base en los criterios de comparación, las opciones más viables para iniciar suelen ser la digestión anaerobia dado que muestra un desempeño alto en factibilidad técnica y aceptación, y además se ajusta a los objetivos del PGIRS al transformar los orgánicos en biogás y un subproducto útil. Como complemento operativo el compostaje centralizado (si se garantiza separación en la fuente y control de olores) y compostaje comunitario/domiciliario como estrategia complementaria para mejorar cultura y reducir contaminación del orgánico, una vez exista estabilidad en volúmenes, calidad del residuo y capacidad operativa.

Enfoque del modelo

El modelo propuesto parte de una idea práctica, Itagüí tiene masa crítica de orgánicos, pero hoy el cuello de botella no es la tecnología sino la calidad del residuo y la coordinación operativa. Tan solo en 398 establecimientos analizados se estiman 38,227.9 kg/día de

orgánicos sin contar, la Central Mayorista que aporta cerca de 35 ton/día de orgánicos, lo que suma alrededor de 73.23 ton/día identificadas como oferta relevante para aprovechamiento.

Sin embargo, cerca del 50% de los usuarios no separa en la fuente, generando contaminación y costos extra de pretratamiento; el informe estima costos de remoción de contaminantes en el orden de \$800.000 COP por tonelada retirada.

Por eso, la presente propuesta de modelo no se plantea como una única y definitiva alternativa, sino como un sistema híbrido ya que el cambio no lo genera una sola acción, sino una articulación completa que debe contemplar:

- Aprovechamiento centralizado (para grandes generadores y rutas selectivas)
- Aprovechamiento descentralizado (comunitario/domiciliario) con un componente transversal de separación, educación, control y trazabilidad.

Arquitectura del modelo: Cadena circular: entradas, procesos y salidas.

Entradas

Materia prima:

- Grandes generadores: Central Mayorista y establecimientos de alimentos.
- Generadores medianos y pequeños: comercio, restaurantes y tiendas.
- Hogares o comunidades: componente descentralizado, enfocado a cultura de separación y reducción de contaminación.

Procesos clave del sistema

A. Separación en la fuente y recolección selectiva de orgánicos como bolsas, recipiente verde esto como condición habilitante del aprovechamiento.

B. Pretratamiento y control de calidad: retiro de impropios, reducción de rechazos y costos.

C. ECA municipal: se propone crear o fortalecer una Estación de Clasificación y Aprovechamiento municipal como nodo de control. Esta ECA no se limita a reciclables más bien operaría como centro municipal para:

- Recepción, inspección y control de impropios en orgánicos antes de envío a planta.
- Pesaje, registros y trazabilidad por generador o ruta; información clave para PGIRS. Se propone monitoreo en tiempo real de los recorridos de la ruta y del pesaje de los residuos
- Articulación con recicladores y gestores; logística de rutas selectivas y manejo de rechazos. Se propone adicionalmente crear un plan en el cual se integre al reciclador y se reconozca el pago de su seguridad social.
- La necesidad de contar con un punto operativo tipo ECA es coherente con la forma en que el municipio ya usa ECAs como espacios acondicionados para separación y pesaje en procesos de caracterización y manejo.

D. Tratamiento y valorización:

- Compostaje centralizado para grandes generadores y rutas selectivas.
- Compostaje comunitario o domiciliario como puntos barriales, entrega de composteras y acompañamiento.
- Alianzas con gestores existentes para aprovechar capacidad instalada regional antes de invertir masivamente.
- Biodigestión anaerobia para la obtención de gas y fertilizante

Salidas

Productos y retorno a la cadena:

- Compost y abono orgánico como producto principal bajo la norma NTC 5167 como referente de calidad del compost. El retorno a la cadena ocurre a través de usos concretos y verificables, como:
 - Zonas verdes del municipio (parques, separadores, jardines públicos) y programas de recuperación paisajística.
 - Recuperación de suelos (en áreas degradadas o intervenidas).
 - Viveros municipales o aliados y proyectos de agricultura urbana/periurbana cuando aplique.
 - Comercialización (si se cumple estándar de calidad), lo cual fortalece el componente económico del modelo al convertir el residuo en un producto con valor.

- En el escenario de digestión anaerobia, la salida principal es el biogás, que puede aprovecharse como energía principalmente térmica o eléctrica. El retorno a la cadena se expresa en:
 - Sustitución parcial de fuentes energéticas convencionales (reducción de costos e impactos).
 - Aprovechamiento local por ejemplo, en instalaciones con demanda energética continua, si se diseña el modelo para ese fin.
 - Potencial de reducción de emisiones y beneficios ambientales al capturar y usar el gas generado.

Gobernanza del modelo

El modelo se implementa desde el PGIRS, por lo que requiere roles claros y coordinación:

- Alcaldía y Secretaría de Medio Ambiente de Itagüí: liderazgo del componente PGIRS, seguimiento, metas e indicadores; coordinación interinstitucional.
- Prestador del servicio y operador local: operación de rutas selectivas y articulación logística con ECA y gestores.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá: apoyo técnico, metropolitano y articulación regional del aprovechamiento.
- Gestores de orgánicos como alianzas: para el tratamiento de compostaje industrial u otras tecnologías, control de recepción y calidad, reportes.
- Grandes generadores: separación obligatoria estandarizada, almacenamiento adecuado, entrega a ruta selectiva y cumplimiento de controles.
- Ciudadanía y comercios: separación y participación; el informe insiste en educación y control como palanca costo efectiva.

Ruta de implementación

El modelo se presenta como hoja de ruta en tres fases:

Fase 1 a Corto plazo de 0 a 12 meses: ordenar la materia prima

- Objetivo: mejorar separación y reducir contaminación para que el orgánico sea aprovechable.

- Meta: lograr separación adecuada en al menos 40% de establecimientos priorizados en 12 meses.
- Acciones: campañas intensivas, capacitación, visitas de seguimiento y control; definición de rutas selectivas iniciales; protocolizar qué sí y qué no va en orgánicos.
- Implementación ECA municipal - fase 1: adecuación mínima y puesta en marcha como centro de control y trazabilidad del pesaje, calidad y rechazos.

Fase 2 a Mediano plazo de 12 a 24 meses: modelo híbrido operando

- Objetivo: operar un esquema híbrido que combine aprovechamiento centralizado, descentralizado y una línea inicial de valorización energética biogás para flujos orgánicos estables y de buena calidad.
- Meta: iniciar proceso para una planta de compostaje centralizada con capacidad de más de 50 t/día y establecer 10 puntos de compostaje comunitario en 24 meses. Desarrollar una línea piloto o fase de pre factibilidad de digestión anaerobia biogás y digestato, enfocada en flujos homogéneos como plazas, restaurantes, central mayorista, baja contaminación, y operación controlada para evitar rechazo y costos de pretratamiento.

Fase 3 a Largo plazo de 24 meses en adelante: consolidación circular

- Objetivo: cerrar el ciclo con mercados, calidad y seguimiento continuo consolidando tanto el aprovechamiento material compost y enmiendas como el energético biogás cuando sea viable.
 - Acciones: estrategia de comercialización del compost en mercados locales, recuperación de suelos; fortalecimiento del equipo interinstitucional, búsqueda de financiación externa y ajustes al esquema tarifario e incentivos según limitaciones.
- Escalamiento del componente de biogás si la fase piloto o pre factibilidad demuestra

viabilidad, estructurar la expansión del sistema (capacidad, operación, seguridad, uso energético y manejo del digestato).

Indicadores de seguimiento

Se debe monitorear:

- Toneladas por día de orgánicos captados por ruta selectiva ya sea por sector y comuna.
- Porcentaje de separación en la fuente en establecimientos priorizados comparando línea base vs avance.
- Tasa de rechazo en orgánicos.
- Toneladas por mes enviadas a aprovechamiento vs toneladas por mes a disposición final.
- Calidad del compost (criterios de NTC 5167 cuando aplique comercialización).

CONCLUSIONES

- El desarrollo de este trabajo permitió identificar, que una parte importante de los residuos ordinarios generados en el Municipio de Itagüí, podrían reincorporarse a procesos productivos mediante alternativas como el compostaje y la biodigestión. Esto deja ver que el aprovechamiento de los residuos, no depende únicamente de la disponibilidad del material, sino también de la capacidad operativa y logística para gestionarlo adecuadamente.

- En el sector residencial, los estratos 2 y 3 concentran la mayor generación de residuos ordinarios, debido a que representan la mayor proporción de usuarios del municipio. Por esta razón, cualquier estrategia orientada a fortalecer la separación en la fuente y la recolección selectiva debe enfocarse prioritariamente en estos grupos poblacionales.
- En cuanto a los sectores no residenciales, la actividad industrial presenta la mayor generación per cápita de residuos sólidos, seguida por el sector comercial. Esto convierte a los grandes generadores en actores estratégicos para la implementación de un modelo de economía circular, especialmente por la cantidad de residuos que manejan y por sus posibilidades de articulación institucional.
- Los residuos orgánicos constituyen la fracción de mayor participación dentro de los residuos sólidos del municipio, situación que respalda la posibilidad de desarrollar esquemas centralizados de aprovechamiento para este tipo de residuos.
- Entre los materiales potencialmente aprovechables, el cartón y el PET, se presentan oportunidades importantes de valorización en los estratos evaluados. Su inclusión dentro de rutas selectivas y programas articulados con organizaciones de recicladores, podría incrementar las tasas de aprovechamiento sin requerir inversiones significativas en nueva infraestructura.
- Finalmente, se evidencia, que las acciones de educación ambiental y el fortalecimiento del sistema local de aprovechamiento son elementos principales para el funcionamiento del modelo propuesto. La baja implementación de la separación en la fuente en parte de los establecimientos limita la eficiencia de cualquier alternativa de tratamiento, independientemente de la tecnología utilizada.

- El modelo propuesto parte de una idea práctica, Itagüí tiene masa crítica de orgánicos, sin embargo, cuello de botella no es la tecnología sino la calidad del residuo y la coordinación operativa.
- El análisis demuestra que las rutas de recolección selectiva constituyen el eslabón crítico e indispensable del modelo. La incapacidad de cobertura total del prestador puede mitigarse únicamente mediante un enfoque híbrido: esquemas centralizados mecanizados para grandes generadores (Central Mayorista) y esquemas descentralizados comunitarios para zonas de difícil acceso, garantizando así la homogeneidad del servicio de aprovechamiento.
- Partiendo de la caracterización de los residuos en la línea base, se concluye que el modelo óptimo para Itagüí no es homogéneo sino **híbrido**, dos propuestas válidas y replicables son la digestión anaerobia (biodigestión) y el compostaje.

DISCUSIONES

Los hallazgos del diagnóstico confirman que el principal reto del aprovechamiento de residuos biodegradables en Itagüí no se reduce a elegir una tecnología, sino a resolver primero el componente operativo: capturar orgánicos con calidad (sin contaminación) y con una logística estable. El estudio de caracterización realizado con 398 establecimientos reporta una generación promedio de 96,05 kg/día por establecimiento y evidencia un volumen significativo de orgánicos en el municipio; además, la Central Mayorista de Antioquia genera aproximadamente 50 t/día, de las cuales el 70% corresponde a residuos orgánicos. Estos datos indican que existe una masa crítica suficiente para estructurar estrategias de aprovechamiento

con enfoque por grandes generadores y rutas selectivas, sin depender inicialmente de un despliegue municipal universal.

La pregunta que dió origen a esta investigación cuestiona cómo un modelo de economía circular enfocado en biodegradables puede contribuir en el fortalecimiento de la cadena de aprovechamiento y disposición alineado con el PGIRS local. Al comparar la caracterización realizada en Itagüí, donde la fracción orgánica representa (más del **40%** del total de residuos ordinarios), con los modelos globales analizados, se evidencia que no existe una única respuesta o solución al problema, sino, que depende en gran medida del estilo de vida, la cultura y la concepción de la comunidad con respecto al significado de las palabras sostenibilidad, residuos, reciclar, recuperar y valorizar, un ejemplo de ello fue el modelo masivo de la Ciudad de México (Tavera Cortés et al., 2010) donde se demostró que el compostaje a gran escala puede ser la solución idónea para absorber grandes volúmenes municipales y desviar cargas críticas. Ahora bien, las restricciones de microruteo, la configuración de las comunas y la morfología de las laderas de Itagüí hacen que sea necesario contar con un modelo híbrido. Es aquí donde el modelo de digestión anaerobia institucional y descentralizada de bajo costo aplicado en Perú (Ferrer et al., 2009) y en entornos controlados de México (Vásquez Dávalos, 2020) cobra relevancia para Itagüí.

El fortalecimiento de los proyectos y actividades que dan vida al PGIRS se hará efectivo cuando exista una adecuada trazabilidad y calidad de los datos, un despliegue de rutas selectivas y esquemas de coordinación total con actores clave como grandes generadores, recicladores y empresas de aprovechamiento, además de tecnologías de georreferenciación y control para garantizar que la materia prima que entre a cualquiera de las tecnologías elegidas y estudiadas anteriormente, sea materia prima debidamente clasificada y No contaminada, ese

realmente es el cuello de botella de cualquier proyecto a gran escala en el Municipio, no lo será la tecnología elegida, ya que se ha comprobado a lo largo de los años que las técnicas de aprovechamiento mencionadas han tenido éxito en el mundo.

Por lo tanto, el modelo fortalece al PGIRS porque lo dota de predictibilidad operativa y financiera, permitiendo que el municipio transite de una gestión reactiva de "limpieza de puntos críticos" a una gobernanza de flujos de biomasa medible.

Según lo anterior, el modelo de economía circular propuesto se sostiene por dos razones. Primero, porque combina una solución centralizada para grandes generadores con esquemas comunitarios y domiciliarios que aportan cultura y reducción de contaminación. Segundo, porque incorpora una pieza institucional clave una ECA municipal como nodo de control pesaje, trazabilidad y control de impropios, que permite ordenar el flujo del residuo, reducir rechazos y generar información útil para seguimiento dentro del PGIRS. En la propuesta no se plantea la ECA sólo como infraestructura, sino como mecanismo para cerrar brechas entre planeación PGIRS y operación real de calidad.

En conjunto, estos hallazgos permiten responder la pregunta de investigación una propuesta de economía circular puede fortalecer la cadena de disposición y apoyar la implementación del PGIRS en Itagüí si se prioriza los puntos críticos del sistema, de esta forma los lineamientos del PGIRS pasan de ser metas generales a acciones implementables y medibles.

REFERENCIAS

AGROSAVIA. (s. f.). *Servicio de análisis químico de abonos orgánicos (referencia a NTC 5167).*

<https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/l%C3%ADnea-agr%C3%ADcola/cultivos-transitorios-y-agroindustriales/servicios-de-laboratorio/368-servicio-de-an%C3%A1lisis-qu%C3%ADmico-de-abonos-org%C3%A1nicos>

Alayón, E. (2020). "Guía para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos". *Inventum*, vol. 15, no. 29, pp. 76-94. doi: 10.26620/uniminuto.inventum. 15.29.2020.76-94

Alcaldía de Itagüí. (2025). *Itagüí estrena división político-administrativa con una nueva comuna y 18 barrios más*. https://itagui.gov.co/sitio/ver_noticia/itagui-estrena-division-politico-administrativa-con-una-nueva-comuna-y-18-barrios-mas.

Alcaldía de Itagüí. (2024). *Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos, Itagüí. Rendición de cuentas 2024*. <https://itagui.gov.co/uploads/entidad/control/8467a-rendicion-de-cuentas-pgirs-2024.pdf>

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2018, 25 de octubre). *Acuerdo Metropolitano No. 23 de 2018: Por el cual se adopta el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) Regional del Valle de Aburrá, 2017–2030 [PDF]*. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/Acuerdo-23-de-2018-PGIRS-R.pdf>

Brahme, R., Krishnan, P & Tiwari, K. (2023). *360-Degree Waste Management. Fundamentals, Agricultural and Domestic Waste, and Remediation. Elsevier, Vol 1*. páginas 239-264. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90760-6.00002-3>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). (2015). *Resolución CRA 720 de 2015 (definición de rechazos y marco operativo del aprovechamiento)*. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0720_2015.htm

CONPES 3874. (2016). *POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/conpes-3874-de-2016.pdf>

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 142 de 1994 (servicios públicos domiciliarios)*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research*

Decretos Únicos – SUIN-Juriscal. (s. f.). *Decretos Únicos Reglamentarios (referencia al Decreto 1077 de 2015)*. <https://www.suin-juriscal.gov.co/legislacion/decretosUnicos.html>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). *Guía de formulación – Proyecto tipo: Construcción de Estación de Clasificación y Aprovechamiento (ECA) [PDF]*.

<https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/Residuos-solidos-ECA/GUIA-DE-FORMULACION-PT-ECAS-13012022-VF2.pdf>

Docampo, R. (2013). *Compostaje y compost*. Revista INIA.

<https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/128221231213112259.pdf>

Espinosa, M., López, M., Pellón, A., Mayarí, R., Fernanez, A. (2007). *La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás* Revista CENIC. Ciencias Biológicas, vol. 38, núm. 1, enero-abril, 2007, pp. 33-37.

FAO. (2013). *Food wastage footprint. Impacts on natural resources Technical Report*.

<https://www.fao.org/4/ar429e/ar429e.pdf>

Fernando, J., Niurka, D., Barrios, G & González, E. (2014). *MANAGEMENT OF THE SOLID RESIDUALS AND THEIR ECONOMIC, SOCIAL AND ENVIRONMENTAL IMPACTS*. Centro Azúcar Journal, Vol 41(4). https://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/268

Ferrer, I., Uggetti, E., Poggio, D., & Velo, E. (2009). *Producción de biogás a partir de residuos orgánicos en biodigestores de bajo coste*. Grup de Recerca en Cooperació i Desenvolupament Humà, Universitat Politècnica de Catalunya.

Geistdörfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). *The circular economy*.

Guerrero, S., Palomino, P. (2024). *Proyecto para introducción de abono orgánico frass proveniente del subproceso de la larva de mosca soldado negro en la empresa bioconversión s.a. en el mercado retail de la ciudad de guayaquil*. Universidad Politécnica Salesiana.

ICONTEC. (2022). NTC 5167: Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo [Norma técnica]. <https://www.cenicana.org/wp-content/uploads/2024/01/NTC-5167-2022.pdf>

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Política de gestión integral de residuos sólidos*.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). Resolución 754.

<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/resolucion-754-de-2014.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). Decreto 1077.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2016). Decreto 596 de 2016 (esquema operativo de aprovechamiento y formalización de recicladores).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=69038>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022). *Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los PGIRS*. <https://www.minvivienda.gov.co/pgirs-de-segunda-generacion-resolucion-754-de-2014/guia-para-la-formulacion-implementacion-evaluacion-seguimiento-control-y-actualizacion-de-los-pgirs>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (s. f.). *Guía para el cálculo de la tarifa de aprovechamiento y manejo de rechazos (QR) – referencia a CRA 720/2015 [PDF]*.

<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-para-el-calculo-de-la-tarifa-de-aprovechamiento.pdf>

Montoya, A., Vélez, I., Franco, B., Sánchez, J. *Análisis de estrategias para el manejo y aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos producidos en el municipio de La Pintada, Antioquia*. Tecnológico de Antioquia.

<https://dspace.tdea.edu.co/server/api/core/bitstreams/78510fce-228c-472a-8560-fa4828ad233f/content>

- Negrón, C. (2020). *La economía circular*. Departamento de Educación Agrícola, CCA,
RUM.<https://naturalezasintoxicos.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/02/cc-economc3ada-circular.pdf>
- Olmos Flores, R., Serafín Muñoz, A., Gómez Medina, A., & Polo Conrado, K. (2019). *Análisis de factibilidad de un proceso de producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos como alternativa sustentable al manejo de residuos sólidos urbanos*. *Jóvenes en la Ciencia*, 5, 1-7.
- Rangel, E., Castro, M., Misat, J., Velaides, G. (2022). *Análisis de los Gases Emitidos por el Relleno Sanitario La Pradera, Medellín–Colombia*. Universidad Francisco de Paula Santander. Capítulo 6. https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Alberto-Lopez-2/publication/386018964_Modelacion_del_comportamiento_de_los_gases_de_efecto_invernadero_de_9_rellenos_sanitarios_en_Colombia/links/673f8f97868c966b93b12b33/Modelacion-del-comportamiento-de-los-gases-de-efecto-invernadero-de-9-rellenos-sanitarios-en-Colombia.pdf#page=63
- Rivera, C & Tangarife, J. (2024). *Composta Medellín: Revolución circular en la gestión de residuos urbanos [Tesis de maestría, Universidad EAFIT]*. Repositorio Institucional Universidad EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/03a7bcfd-1088-41c5-b987-246bbdd4d417/content>
- Serviaseo Itagüí. (2020). *Quiénes somos*. <https://serviaseoitagui.com/quienes-somos/>
- Serviaseo Itagüí. (2025). *PROGRAMA PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO ITAGÜÍ - ANTIOQUIA*. https://serviaseoitagui.com/wp-content/uploads/2025/10/2025.01.01_PPSA-Itagui-1-1.pdf
- Solano, A., Ponce, W., Zambrano, F. (2022). *Biodigestión Anaeróbica de residuos de musáceas: Caso Ecuador*. *Revista Biotempo*. 19 (1). Versión electrónica: 2519-5697
- Superintendencia de servicios públicos domiciliarios-superservicios. (2019). *INFORME DE SEGUIMIENTO A SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EMPRESAS VARIAS DE MEDELLÍN S.A. E.S.P. RELLENO SANITARIO LA PRADERA*.

https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/empresas_varias_de_medellin_s.a._e.s.p.pdf

Tavera Cortés, M. E., Galicia Villanueva, S., & Escamilla García, P. E. (2010). *La composta como alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en México. Instituto Politécnico Nacional (UPIICSA - ESCA).*

THREECYCLES SAS. (25-06-2025). *Resultados y Análisis en la caracterización de los residuos ordinarios en el municipio de Itagüí.*

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). (s. f.). *Guía técnica para el aprovechamiento.* https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

UN Environment Programme. (2019). *Global Environment Outlook.* (s. f.).
<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27539>

Vives, J. (2025). *Los límites planetarios y las consecuencias de sobrepasarlos. Junior Report.*
<https://junior-report.media/los-limites-planetarios-y-las-consecuencias-de-sobrepasarlos/>

Vásquez Dávalos, S. E. (2020). *Dimensionamiento del biodigestor a partir de la caracterización y análisis de residuos sólidos orgánicos de la cafetería CETYS Universidad [Proyecto de aplicación de maestría, Centro de Enseñanza Técnica y Superior]. Repositorio Institucional CETYS.*

Villegas-Cornelios, V. M., & Laines Canepa, J. R. (2017). *Vermicompostaje: Avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(2), 393-406.*

Wilson, D., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero, A., Velis, C., Lyster, M & Simonett, O. (2015). *Global Waste Management Outlook. Chapter 2.* <https://www.unccllearn.org/wp-content/uploads/library/unep23092015.pdf>