

Cuaderno



# Más Allá del RAS: nuevos modelos de proyección de residuos sólidos para estimar la producción per cápita a nivel municipal

*Beyond the RAS: New Solid Waste Projection Models to Estimate Per Capita Production at the Municipal Level*

Diego Andrés Arteaga Zanguña<sup>1</sup>, Edinson Fabián Monroy Ávila<sup>2</sup>

**Tipo de Artículo:** Investigación.

**Recibido:** 24/07/2025. **Aprobado:** 22/08/2025. **Publicado:** 12/12/2025

**Resumen:** Este estudio analiza la generación de residuos sólidos en los municipios de Arcabuco, El Cocuy y Sáchica, utilizando modelos matemáticos de análisis retrospectivo para proyectar la Producción Per Cápita (PPC) hasta 2036. Se compararon tres métodos: modelo de retrospectiva de PPC, modelo de retrospectiva de PPC en función de la población y el modelo de proyección de la PPC del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento - (RAS). Los resultados muestran que, mientras los

modelos matemáticos ofrecen proyecciones ajustadas a la realidad local, el método RAS, basado en un valor de rango corto, subestima la generación de residuos, especialmente en contextos de cambios poblacionales y económicos o municipios con incidencia de turismo. El estudio destaca la importancia de utilizar datos históricos específicos para cada municipio y propone que las proyecciones de residuos en Colombia se basen en análisis retrospectivos y dinámicos, en lugar de depender

<sup>1</sup> Autor correspondiente: Diego Andrés Arteaga Zanguña. Mayor título: Ingeniero Ambiental. Filiación institucional: Universidad Santo Tomás. GICAN - CONRHI. País: Colombia, Ciudad: Tunja. Correo electrónico: arteagadiego212@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5041-0452>

<sup>2</sup> Autor correspondiente: Edinson Fabián Avila. Mayor título: Especialista en Aguas y Saneamiento Ambiental, Magíster en Tecnologías para el Manejo de Aguas y Residuos, Magíster en Gobierno Políticas Públicas y Desarrollo Territorial. Filiación institucional: Universidad Santo Tomás. GICAN - CONRHI. País: Colombia, Ciudad: Tunja. Correo electrónico: ingenieroafbianm@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-9442>

de valores normativos estáticos. Esta estrategia mejoraría la planificación y gestión de residuos sólidos, permitiendo a los municipios enfrentar mejor los desafíos asociados al manejo y tratamiento de residuos a nivel local.

**Palabras clave:** Desechos; residuos sólidos; gestión de residuos; modelo matemático.

**Abstract:** This study analyzes the generation of solid waste in the municipalities of Arcabuco, El Cocuy, and Sáchica, using retrospective mathematical models to project the Per Capita Production (PPC) until 2036. Three methods were compared: the retrospective PPC model, the retrospective PPC model based on population, and the PPC projection model from the Potable Water and Sanitation Regulation (RAS). The results show that while mathematical models provide projections aligned with local realities, the RAS method, based on a short-range value, underestimates waste generation, especially in contexts of population and economic changes or municipalities with a significant tourist impact. The study highlights the importance of using historical data specific to each municipality and suggests that waste projections in Colombia should be based on retrospective and dynamic analyses rather than relying on static normative values. This strategy would improve waste management planning, allowing municipalities to better face the challenges associated with local waste management and treatment.

**Keywords:** waste; solid waste; waste management; mathematical model.

## I. Introducción

Colombia cuenta con alrededor de 94 rellenos sanitarios, de los cuales 58 se encuentran en Antioquia, 8 en Nariño, 8 en Santander, 7 en Casanare y 6 en Caquetá, que reciben anualmente cerca de 11.4 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 61% son residuos orgánicos, según datos del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y el Banco Mundial [1]. Sin embargo, aún persisten problemas en la disposición de residuos, pues, según

el informe *Disposición Final de Residuos Sólidos Colombia 2023* de la Superintendencia de Servicios Públicos, a pesar de que el 97,95% de los residuos se gestionan en sitios autorizados, un preocupante 1.9% (equivalente a 225,709 toneladas) sigue siendo dispuesto en botaderos a cielo abierto, lo que subraya la necesidad urgente de un cambio en las prácticas de manejo de residuos a nivel nacional.

La gestión de residuos sólidos municipales en Colombia comenzó a nivel local con los llamados botaderos a cielo abierto [2]. Según lo establecido en el artículo 13 de la Resolución 1045 de 2003, se otorgó un plazo máximo de dos años, contados desde su publicación, para clausurar y restaurar ambientalmente estos botaderos y cualquier otro sitio de disposición final de residuos sólidos que no cumpliera con la normativa vigente. En caso contrario, se debía proceder con su adecuación a rellenos sanitarios, los cuales debían ser diseñados, construidos y operados de acuerdo con las medidas de manejo ambiental establecidas por las autoridades ambientales regionales competentes [3]. Dichas medidas buscaban establecer programas que reduzcan la generación de residuos y fomenten el aprovechamiento de aquellos residuos con un potencial valor económico [4].

A pesar de los avances legislativos en Colombia en la gestión integral de residuos sólidos, el país aún enfrenta grandes desafíos [5]. Hoy, por ejemplo, el constante crecimiento progresivo en la producción de residuos ha generado diversas consecuencias adversas tanto para la salud pública como para el entorno natural [6]. Según el *Informe de Basura Cero a corte 2024* del Ministerio de Vivienda, existen cerca de 60 botaderos a cielo abierto, con Chocó liderando esta cifra con 24 botaderos, seguido de Bolívar con 17 y Nariño con 7. Estos botaderos representan una forma inadecuada de disposición de residuos, generando graves impactos ambientales [7].

Estos municipios históricamente han enfrentado limitaciones económicas y logísticas que dificultan la gestión adecuada mediante rellenos sanitarios a nivel municipal. Sin embargo, a nivel regional, grandes urbes o empresas privadas han estable-

cido rellenos sanitarios o parques tecnológicos ambientales que sirven como espacios centralizados para la disposición de residuos sólidos [8]. No obstante, estos lugares han ido disminuyendo su vida útil debido al crecimiento en las cantidades de residuos, que superan las proyecciones cruzadas con las estimaciones de crecimiento poblacional [9].

En cuanto a las referencias recientes, un estudio realizado por Pulgarín y Orozco [10], sobre la gestión de residuos sólidos en Antioquia, mencionó que la producción diaria de residuos sólidos municipales es excesiva. La proyección de generación de residuos sólidos domiciliarios en San Gil muestra un crecimiento sostenido, pasando de 55,3 toneladas/día en 2021 a 65,2 toneladas/día en 2032, lo que representa un aumento del 18 %. Anualmente, la producción total se incrementa de 19.898 a 23.472 toneladas [11]. Por otra parte, en la actualización del PGIRS de la ciudad de Cartagena, entre 2018 y 2027, se proyecta un aumento sostenido en la generación de residuos sólidos, pasando de 436.848 a 493.167 toneladas anuales, impulsado por el crecimiento poblacional y una Producción Per Cápita (PPC) constante de 1,23 kg/hab/día. Este incremento evidencia una mayor presión sobre el sistema de gestión de residuos, lo que subraya la necesidad de fortalecer estrategias como la separación en la fuente, el reciclaje y el aprovechamiento de residuos, para garantizar la sostenibilidad ambiental y operativa del sistema en el mediano plazo [12].

La estimación precisa de la producción per cápita de residuos sólidos es esencial para la planificación de políticas públicas, la asignación de recursos y la implementación de estrategias de reciclaje y reducción de desechos [13]. En la actualidad, los consultores se basan en las tasas fijadas por el RAS o, en algunos casos en datos que son poco realistas para la situación municipal [14].

Esta concepción ha generado discrepancias y limitaciones en la precisión de los modelos utilizados para determinar las cantidades de residuos sólidos generados [15]. La realidad de una tasa constante ha sido ampliamente cuestionada, ya

que no refleja las variaciones que ocurren en la producción de residuos debido a factores sociales, económicos y demográficos [16].

La producción per cápita (PPC) de residuos sólidos es una medida fundamental en la gestión de residuos, que representa la cantidad de residuos generados por cada habitante de una determinada área o municipio durante un periodo específico [17]. Su importancia radica en que proporciona una base cuantitativa para la planificación y optimización de estrategias de manejo de residuos, permitiendo estimar las necesidades de infraestructura, recursos y políticas adecuadas. Definir correctamente la PPC en los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) es esencial, ya que influye directamente en la formulación de programas y proyectos de planificación municipal [18]. Una estimación precisa de la PPC permite a los municipios adaptarse a las dinámicas de crecimiento poblacional, consumo y generación de residuos, asegurando una gestión integral de los residuos sólidos [19].

El problema central de este estudio radica en que el RAS establece que la tasa de residuos sólidos per cápita debe ser un valor determinado en un rango; normalmente, para municipios de baja complejidad como los que se analizan, se toman valores entre 0.30 kg/hab-día, el valor máximo es de 0.75 kg/hab-día, y el valor promedio es de 0.45 kg/hab-día, según el RAS [20]. Por su parte, el Boletín 6 del año 2013 de Bogotá como vamos la PPC de Colombia es de 0.84 kg/hab-día. Según el Banco mundial, se espera que la PPC a 2050 sea de 0.74 kg/hab-día, con variaciones entre 0.11 y 4.54 kg/hab-día; sin embargo, esta concepción ha generado discrepancias en las estimaciones de la producción de residuos en diferentes municipios y regiones, ya que no considera factores como población flotante, los cambios en los hábitos de consumo, las políticas públicas implementadas ni los fenómenos económicos que afectan la producción de residuos [21].

Para abordar esta problemática, el presente estudio propone un modelo de análisis de datos retrospectivos que proyecta la generación mensual de residuos sólidos entre 2012 y 2024. Este enfoque

permite calcular los valores de ppc y compararlos con el valor promedio de 0,45 Kg/hab-día, establecido por el RAS para municipios de baja complejidad. Así, se contribuye a una estimación más precisa y ajustada a las realidades locales, lo que mejora la planificación y la toma de decisiones en la gestión integral de residuos sólidos, logrando una gestión más adecuada de estos [22].

El objetivo principal de este estudio es estimar la Producción per cápita de residuos sólidos mediante un análisis retrospectivo de datos, con el fin de determinar a un horizonte de 12 años la cantidad de residuos generados mediante modelos matemáticos que permitan adelantar este escenario de planeación estratégica prospectiva y de este modo determinar la generación de residuos.

El objetivo secundario de este estudio es desarrollar modelos de proyecciones de residuos basadas en datos locales, considerando no solo las dinámicas poblacionales de cada municipio, lo que permitiría obtener proyecciones más precisas y ajustadas a la realidad local, mejorando así la planificación y gestión de los residuos sólidos a nivel municipal.

## II. Materiales y Métodos

### Materiales

Para el desarrollo de este estudio, se utilizó como fuente de datos el registro mensual de generación de residuos sólidos entre los años 2012 y 2025 de los municipios de Arcabuco, El Cocuy y Sáchica en el departamento de Boyacá. Las variables analizadas incluyeron la generación mensual de residuos en toneladas (Ton), la Producción Per Cápita (PPC) en kilogramos por habitante por día (kg/hab/día), así como los valores mínimos, máximos y promedio anual de la generación de residuos, y la población de cada municipio durante el periodo de estudio. La normativa base utilizada para la estimación y comparación, fue el Régimen de Adecuación Sanitaria (RAS), título F. Para el procesamiento de los datos y la generación del modelo lineal, se empleó el software Microsoft Excel mediante análisis de tendencias lineales, que permitió organizar la

información y realizar los cálculos necesarios para la formulación del modelo de estimación.

### Métodos

La metodología empleada en este estudio se basa en la construcción de modelos de datos retrospectivos utilizando series temporales para analizar la generación mensual de residuos sólidos entre los años 2012 y 2025 en los municipios de Arcabuco, El Cocuy y Sáchica. El proceso se divide en diversas fases para garantizar la precisión de las proyecciones y el análisis de la Producción Per Cápita (PPC) de residuos sólidos.

#### Recopilación y procesamiento de datos:

El primer paso consiste en recopilar el registro mensual de la generación de residuos sólidos de los tres municipios mencionados, abarcando el período comprendido entre 2012 y 2025. Para ello, se trabaja con las empresas prestadoras de servicio y se utiliza la información reportada en el Sistema Único de Información (SUI). La información se organiza en base a variables clave, como: toneladas de residuos generados al mes, PPC (en kg/hab/día) y la población anual de cada municipio.

#### Análisis de series temporales y construcción del modelo matemático:

Una vez procesados los datos, se realiza un análisis retrospectivo de series temporales para evaluar las tendencias en la generación mensual de residuos sólidos a lo largo del período de estudio. Con base en los promedios anuales de generación de residuos, se construye un modelo matemático de regresión lineal. Este modelo permite proyectar la generación mensual de residuos sólidos hasta el año 2036, utilizando los datos históricos y aplicando las proyecciones poblacionales anuales de cada municipio.

### Cálculo de la producción per cápita (PPC):

La estimación de la PPC, que representa la cantidad de residuos generados por habitante, se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$Ppc = \frac{Kg}{Hab-dia} \quad (1)$$

Con los datos de producción mensual multianual comprendidos entre 2012 – 2014 se determinó el valor de la PPC, con la cual se estableció la base de comparación sobre datos RAS.

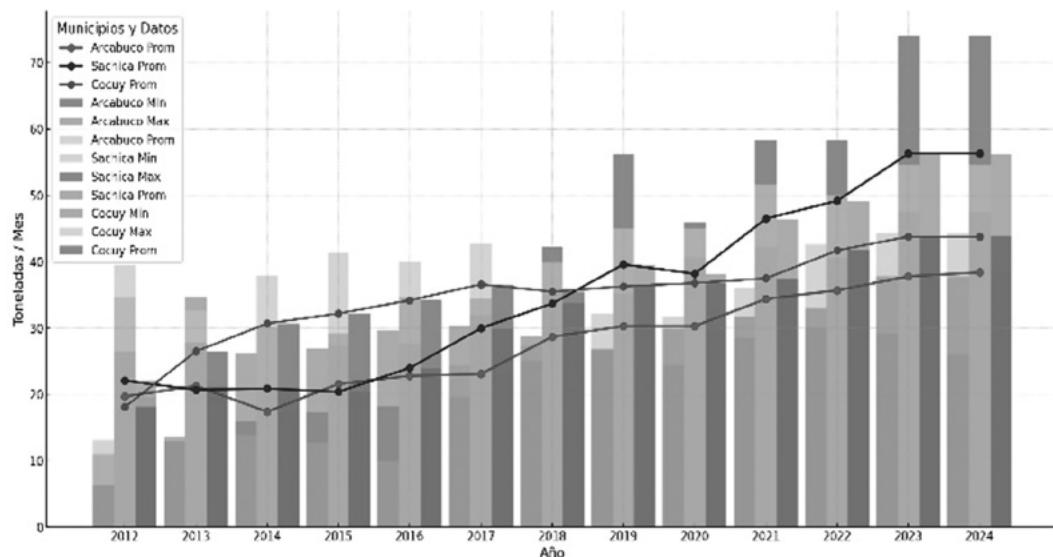
### Proyección para la generación de residuos sólidos hasta 2036:

Con base en los datos de PPC obtenidos del modelo retrospectivo, se obtiene un modelo matemático que permite proyectar la generación de residuos sólidos para los próximos 12 años, proporcionando una estimación a largo plazo de la evolución de la producción de residuos mediante el método de la PPC, otro de los modelos fue cruzar la PPC proyectada con población para encontrar la diferencia de los dos modelos matemáticos, y de este modo obtener un análisis de sensibilidad más cercano a la generación de residuos a nivel municipal.

Una vez consolidada la información de la generación de residuos sólidos en los municipios seleccionados, se procedió procesar los datos mediante análisis estadístico de valores mínimos, máximos y promedios mensuales multianuales, con el fin de contar con una base de datos completa de 13 años en 3 municipios de complejidad baja según el RAS. La Figura 1 muestra la evolución de la generación de residuos sólidos en Arcabuco, Sáchica y El Cocuy entre 2012 y 2024. Las barras representan los valores mensuales, la línea roja la producción promedio en el municipio de Arcabuco, la línea verde la producción promedio de El Cocuy y la línea azul el promedio del municipio de Sáchica, durante los últimos 12 años.

## III. Resultados y discusión

A partir de la recopilación de datos sobre la generación de residuos sólidos en los municipios de Arcabuco, El Cocuy y Sáchica, se consolidó una base de datos que detalla, tanto a nivel mensual como anual, las cantidades generadas por cada municipio durante el periodo comprendido entre 2012 y 2025. Esta información sirvió como fundamento para el desarrollo de modelos matemáticos de análisis retrospectivo y de proyección, permitieron estimar y proyectar su comportamiento futuro hasta el año 2036. Las proyecciones obtenidas resultan fundamentales para la planificación estratégica de sistemas de gestión integral de residuos, así como para su tratamiento y aprovechamiento, orientando la formulación de políticas públicas y decisiones técnicas a nivel municipal.

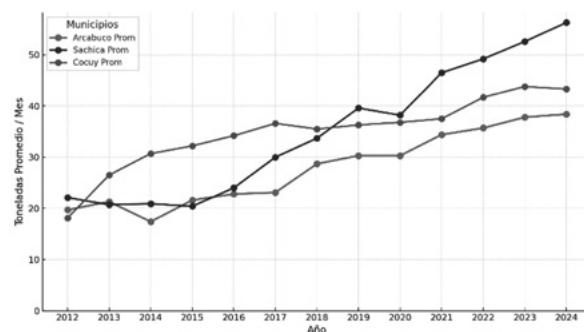
**Figura 1.** Generación mensual multianual de residuos sólidos

**Nota:** fuente elaboración propia (2025).

El análisis de los datos refleja un aumento general en la generación de residuos. En el caso de Arcabuco, existe una tendencia creciente, alcanzando un máximo en 2023 con 47.6 Ton/mes. Los valores de Sáchica también siguen una tendencia ascendente, destacando en 2024 con una diferencia notable en los valores máximos de 74.1 Ton/mes en comparación con años anteriores. En cuanto a El Cocuy, se observa un patrón similar, donde los valores máximos y promedio aumentan considerablemente hacia 2024, con un total de 56.3 ton/mes.

De este modo se observa que los valores promedio tienden a aumentar con el tiempo, lo que refleja un crecimiento en la generación de residuos en estos municipios. Arcabuco muestra una ligera fluctuación en sus valores máximos, pero mantiene un promedio creciente en los últimos años. Sáchica y El Cocuy, por su parte, presentan un crecimiento sostenido en sus valores máximos y promedios, con un aumento notable en los últimos años, especialmente en Sáchica, que tiene un incremento entre 2022 - 2024. Este comportamiento podría estar relacionado con factores como el crecimiento poblacional, cambios en los hábitos de consumo y crecimiento urbanístico [23].

El análisis de los promedios se observa en la Figura 2 de donde la generación de residuos sólidos en Arcabuco, Sáchica y El Cocuy revela que, a pesar de ser municipios de sexta categoría, las condiciones de generación de residuos son significativamente diferentes entre ellos. Aunque todos muestran una tendencia al aumento en la generación de residuos a lo largo de los años, no mantienen un crecimiento similar.

**Figura 2.** Generación de residuos promedio mensual por municipio (2012 - 2024)

**Nota:** Elaboración Propria (2025).

Arcabuco, por ejemplo, presenta un crecimiento moderado y más estable, con un aumento gradual en sus promedios, reflejando una tasa de generación de residuos más baja que la de los otros dos municipios. En contraste, Sáchica experimenta un crecimiento más irregular, con incrementos notables entre 2015 a 2024, lo que podría estar relacionado con factores específicos como cambios en la población o en los hábitos de consumo local. Por otro lado, El Cocuy se evidencia que durante los años 2012 a 2017 la tasa de crecimiento en la generación de residuos fue superior a la de los otros dos municipios, pero luego hubo una tendencia a mantenerse constante durante los siguientes cuatro años y una leve alza en los últimos tres años.

Este comportamiento sugiere que, aunque los tres municipios tienen características similares en términos de su clasificación administrativa, sus realidades en cuanto a la generación de residuos son muy diversas y requieren enfoques diferenciados para su gestión. La falta de un crecimiento uniforme entre ellos subraya la necesidad de un análisis más detallado de los factores locales que influyen en la generación de residuos, para desarrollar políticas públicas adaptadas a sus circunstancias particulares.

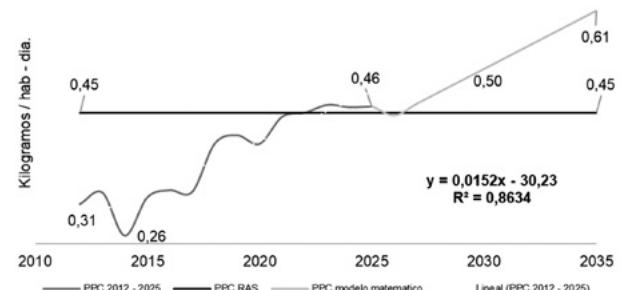
Por ello, es fundamental diferenciar los métodos para determinar la Producción Per Cápita (PPC), ya que cada municipio presenta dinámicas únicas que requieren un análisis específico, en lugar de basarse en valores constantes del RAS, para lograr una estimación más precisa y adecuada a su contexto particular y de este modo poder proyectar la generación de residuos de una manera más coherente.

En el caso de Sáchica y El Cocuy, es importante considerar que el turismo se ha considerado un motor de desarrollo económico; no obstante, su expansión también conlleva diversos impactos socioambientales, especialmente por la presión adicional que ejercen los visitantes sobre los recursos locales. Una de las principales repercusiones asociadas a esta actividad es el incremento en la generación de residuos sólidos en los destinos turísticos, lo que plantea el desafío de generar polí-

ticas, estrategias y mecanismos altamente efectivos en la gestión integral de residuos sólidos [24].

El análisis de la producción per cápita (PPC) de Arcabuco desde 2012 hasta 2024 muestra una evolución gradual en la generación de residuos sólidos, la cual se presenta en la Figura 3, comenzando con un valor de 0.31 kilogramos por habitante al día en 2012 y alcanzando 0.46 kg/hab-día en 2024. A lo largo de este periodo, se observa un crecimiento sostenido, con un aumento notable a partir de 2018, cuando la PPC alcanza 0.40 kg/hab-día. Este crecimiento puede atribuirse a diversos factores, como el cambio en los hábitos de consumo, el crecimiento demográfico, crecimiento urbano [25]. Sin embargo, a pesar de este crecimiento, la PPC de Arcabuco sigue por debajo del valor promedio de 0.45 kg/hab-día propuesto por el RAS, lo que indica que la generación de residuos en el municipio se encuentra dentro de un rango adecuado en comparación con los valores normativos.

**Figura 3.** Modelo de retrospectiva de datos de PPC para el municipio de Arcabuco



**Nota:** Elaboración Propia (2025).

Para proyectar la PPC de Arcabuco a partir de 2025, se utilizó un modelo matemático basado en regresión lineal, ya que este proporciona predicciones promedio de las fluctuaciones, ajustándose de manera más real a la tendencia sobre los datos históricos de PPC entre 2012 y 2024, donde se obtuvo el modelo de retrospectiva

$$PPC = 0.0177 t - 35,414$$

donde  $t$ , representa el tiempo medido en años.

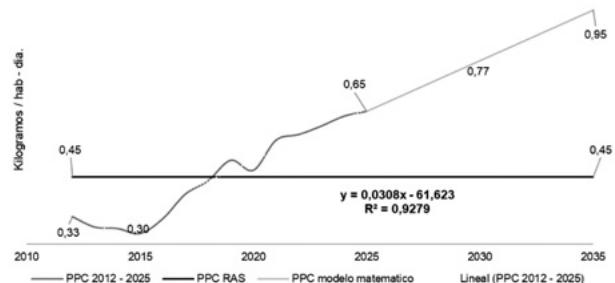
Este modelo estima que la PPC seguirá aumentando de manera gradual, alcanzando 0.61 kg/hab-día para 2036. A pesar de que la PPC proyectada supera el valor del RAS en los años futuros, con una diferencia de 0.16 kg/hab – día lo que significa que para una población proyectada de 3103 habitantes a 2036 la diferencia en la generación de residuos es de 14.89 ton /mes, cantidad que afecta la economía y los costos de la prestación del servicio de aseo en el municipio.

En el caso del municipio de Sáchica desde 2015 hasta 2024 se observa una tendencia creciente en la generación de residuos sólidos. En 2012, la PPC era de 0.33 kg/hab-día y en 2024 alcanzó 0.63 kg/hab-día. Este crecimiento puede ser explicado por diversos factores, como el incremento poblacional y los cambios en los patrones de consumo, crecimiento urbano y actividades comerciales o turísticas [26], valor que en 2024 supera el valor promedio recomendado por el RAS. Con estos datos se construyó el modelo que se presenta en la Figura 4,

$$PPC = 0.0308 t - 61,623$$

con el cual se realizó el análisis de proyección a 2036, donde  $t$  representa el tiempo medido en años. La actividad turística tiene una influencia significativa en el aumento de los residuos urbanos, llegando en muchos casos a duplicar la cantidad generada por un habitante local. Esta presión se intensifica debido a la estacionalidad del turismo, que produce incrementos abruptos en la demanda de servicios de recolección y tratamiento de residuos, lo que a su vez eleva de manera considerable los costos operativos del sistema de gestión [27].

**Figura 4.** Modelo de retrospectiva de datos PPC para el municipio de Sáchica



**Nota:** Elaboración Propia (2025).

Si bien es cierto que con los datos de 2012 a 2024 la PPC se duplicó en valores, pasando de 0.33 a 0.65 kg/hab-día, se estima que la tendencia continuará aumentando, alcanzando 0.98 kg/hab-día para 2036. A pesar de que la PPC proyectada supera el valor del RAS en los años futuros, la diferencia es moderada, con un incremento de 0.53 kg/hab-día por habitante, incluso inferior al valor máximo de 0.75 kg/hab-día recomendado en la Tabla F.1.1. del título F del RAS. Esto demuestra la importancia de los modelos de análisis de series de datos mensuales multianuales en retrospectiva para la estimación de parámetros esenciales en la generación de residuos sólidos.

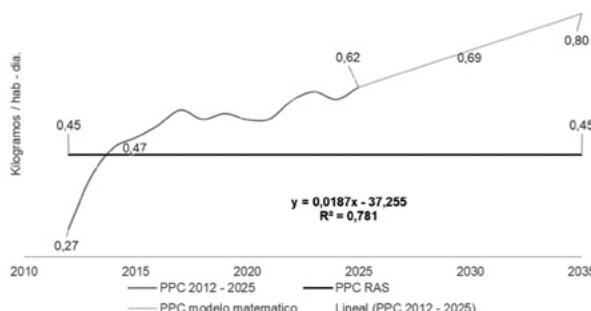
El análisis retrospectivo de la PPC en El Cocuy, desde 2012 - 2024, muestra un aumento gradual en la generación de residuos, pasando de 0.27 kg/hab-día en 2012 a 0.59 kg/hab-día en 2024, como se presenta en la Figura 5. Este comportamiento refleja un crecimiento constante en la cantidad de residuos generados, relacionado principalmente con los factores de desarrollo turístico del municipio, más que por los factores de incremento poblacional [28]

Con los datos del análisis retrospectivo se encontró el modelo lineal

$$PPC = 0.0187 t - 37,255$$

el cual se usó para la proyección de 2025 a 2036, donde  $t$  representa el tiempo medido en años.

**Figura 5.** Modelo de retrospectiva de datos PPC para el municipio de El Cocuy



**Nota:** Elaboración Propia (2025).

Con los datos del análisis prospectivo, se estima que, a partir de 2025, la generación de residuos continuará su aumento, pasando de 0.62 kg/hab-día en 2025 a 0.80 kg/hab-día en 2036. Esta proyección indica que la PPC superará en 0.35 kg/hab-día el valor promedio del RAS. Esta diferencia tiene un impacto considerable en los costos operativos y en la gestión del servicio de aseo, lo que destaca la urgente necesidad de desarrollar estrategias de gestión de aprovechamiento a nivel municipal. Por esta razón, adoptar un modelo sustentado en los principios de la economía circular no solo contribuiría a disminuir la cantidad de residuos enviados a los rellenos sanitarios, sino que también abriría nuevas oportunidades para el desarrollo económico [29]. Es clave tener en cuenta la distancia considerable del municipio a los rellenos sanitarios, ya que este factor contribuye directamente al incremento de los costos asociados al transporte de los residuos [30].

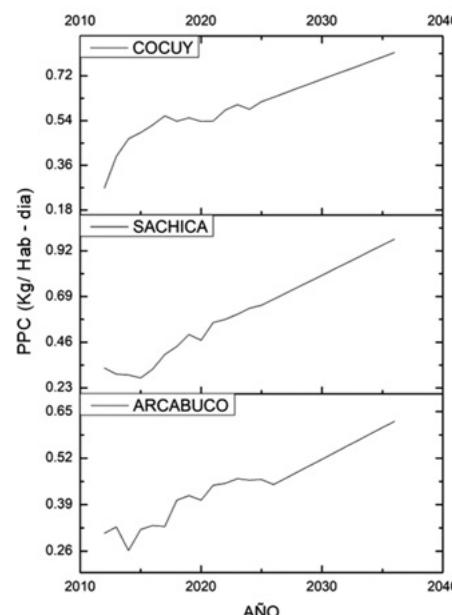
En la Figura 6, se presentan las proyecciones de la Producción Per Cápita (PPC) para los municipios de El Cocuy, Sáchica y Arcabuco desde 2012 hasta 2024, basadas en los datos de retrospectiva, mientras que el análisis entre 2025 y 2036 se basó en análisis de simulación matemática. A pesar de que los tres municipios comparten una tendencia general de crecimiento, cada uno muestra características propias en su ritmo de aumento.

En el caso de El Cocuy, se observa un incremento gradual y constante a lo largo del período, con un

crecimiento más pronunciado hacia los años cercanos a 2030, lo que sugiere que este municipio podría estar enfrentando una aceleración en su generación de residuos, probablemente debido a factores como el crecimiento poblacional y el aumento de la actividad económica por el turismo del PNN El Cocuy [31].

Por otro lado, Sáchica muestra una tendencia similar, pero con un crecimiento más fuerte en comparación con El Cocuy, destacándose por una mayor estabilidad en los primeros años, sin embargo, Sáchica es el que alcanza los valores más altos con incrementos de hasta el 46% del incremento de la PPC actual. En contraste, Arcabuco tiene la tasa de crecimiento más baja de los tres municipios, aunque igualmente muestra una tendencia creciente. El modelo de regresión lineal aplicado indica que, si bien Arcabuco mantiene un crecimiento más controlado, tanto El Cocuy como Sáchica están proyectando aumentos significativos en la generación de residuos a medida que se acercan a 2036.

**Figura 6.** Análisis retrospectivo y prospectivo de la PPC para los municipios de El Cocuy, Sáchica y Arcabuco



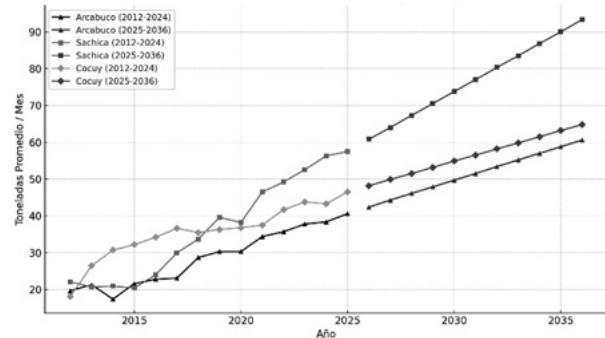
**Nota:** Elaboración Propia (2025).

Con los datos obtenidos, se destaca la importancia de aplicar métodos de análisis retrospectivos específicos para cada municipio, ya que la determinación de la Producción Per Cápita (PPC) no se encuentra dentro de los rangos establecidos por el RAS. Aunque los tres municipios analizados están clasificados en la sexta categoría, es importante realizar un análisis particular para cada uno, ya que la PPC no solo está relacionada con el crecimiento poblacional, sino también con otros factores como los hábitos de consumo y la población flotante.

Este último factor es especialmente relevante, ya que proyecta un dinamismo social elevado, difícil de cuantificar, como el impacto de festividades o el incremento de personas que llegan al municipio en busca de residencia o actividades de paso. Estos fenómenos, no siempre son considerados en estudios tradicionales y mucho menos en la planificación de residuos sólidos a nivel municipal en los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS. A pesar de que los tres municipios siguen una tendencia creciente, la velocidad y magnitud del aumento varían significativamente, lo que implica que las políticas de gestión de residuos deben ser adaptadas de manera local para cada contexto territorial.

De acuerdo con los análisis de datos retrospectivos que se observan en la Figura 7, se evidencia la generación de residuos sólidos en los últimos 13 años de cada uno de los municipios y con base en los modelos matemáticos para cada uno de los municipios, se realiza la proyección, que muestra un notable incremento en la producción de residuos a partir de 2024.

**Figura 7.** Generación de residuos sólidos promedio mensual por municipio (2012 - 2036)



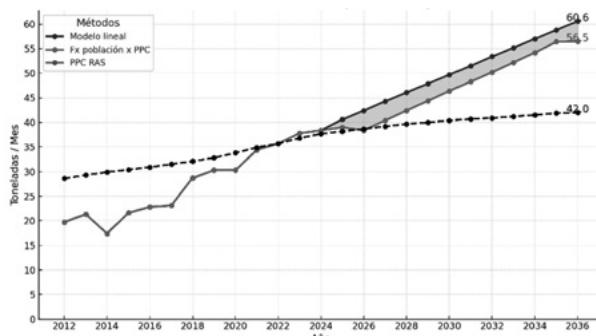
**Nota:** Elaboración Propia (2025).

En el caso de Arcabuco, para la estimación en la producción de residuos sólidos, se proyecta un cambio de 38.4 toneladas por mes en 2024 a 60.6 toneladas por mes en 2036, lo que representa un incremento de 22.2 toneladas en 12 años. Este crecimiento refleja un aumento constante, con un promedio de 1.85 toneladas adicionales cada año. Sáchica experimenta una tendencia aún más pronunciada, pasando de 56.3 toneladas en 2024 a 93.3 toneladas en 2036, lo que indica un aumento de 37 toneladas en 12 años, con un incremento anual promedio de aproximadamente 3.08 toneladas. El Cocuy también muestra un aumento importante, con un crecimiento de 21.5 toneladas, pasando de 43.3 toneladas en 2024 a 64.8 toneladas en 2036, lo que resulta en un aumento anual promedio de 1.79 toneladas.

Este análisis revela una tendencia creciente en la generación de residuos en los tres municipios, con una aceleración notable en los años posteriores a 2024. Vale la pena destacar la necesidad urgente de actualizar y repensar una estrategia de aprovechamiento y tratamiento a nivel municipal, ya que estos incrementos presentan dos desafíos, el primero relacionado con la disminución de la vida útil de los rellenos sanitarios, el segundo con el urgente proceso de aprovechamiento de materiales en el marco de la economía circular, ya que, si no se busca esta estrategia, se encuentra un desequilibrio económico en las empresas prestadoras del servicio de aseo.

El análisis de la generación de residuos sólidos en Arcabuco presentado en la Figura 8, utilizando los tres métodos (modelo lineal,  $Fx$  población x PPC y PPC RAS) revela que, a lo largo de los años, la proyección de residuos sigue una tendencia creciente en todos los métodos, pero con diferencias importantes. A partir de los datos proporcionados, se puede observar que el modelo lineal y el método de  $Fx$  población x PPC, a partir de 2024, presentan proyecciones más cercanas entre sí, con un aumento gradual en la generación de residuos, alcanzando 60.6 toneladas por mes en 2036 y 56.5 toneladas por mes es decir los dos modelos presentan una diferencia cercana a 4.1 toneladas por mes. Mientras que con respecto al RAS la diferencia oscila entre 14.5 y 18.6 toneladas por mes.

**Figura 8.** Generación de residuos sólidos – Arcabuco (2012 - 2036)

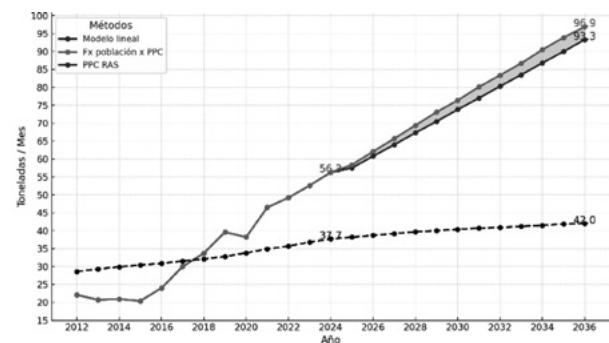


**Nota:** Elaboración Propia (2025).

El método del RAS se soporta en un valor fijo de 0.45 kg/hab-día, y no refleja de manera precisa el comportamiento observado en los datos de Arcabuco de los análisis de retrospectiva. Aunque el RAS ofrece un valor normativo útil para estandarizar las estimaciones de residuos, la diferencia con los otros dos métodos resalta que, en la práctica, el valor constante del RAS no refleja adecuadamente las condiciones locales y las particularidades del municipio, como el crecimiento poblacional y los cambios en el consumo, que impactan directamente en la generación de residuos.

La proyección en la generación de residuos sólidos en el municipio de Sáchica, con base en los tres métodos de proyección (modelo lineal,  $Fx$  población x PPC y PPC RAS), mostrados en la Figura 9 evidencia que la generación de residuos es creciente a medida que pasan los años. Los modelos de análisis de regresión lineal en la generación de residuos y el modelo de regresión de la PPC por la población siguen un patrón de crecimiento sostenido, alcanzando 96.9 toneladas por mes en 2036.

**Figura 9.** Generación de residuos sólidos – Sáchica (2012 - 2036)



**Nota:** Elaboración Propia (2025).

El modelo de regresión lineal para la generación de residuos y el modelo de regresión de la PPC por la población, presentan resultados alineados, el método de proyección RAS, con su valor fijo de 0.45 kg/hab-día de PPC, muestra una proyección mucho más baja, alcanzando solo 42 toneladas por mes en 2036. Esto refleja una diferencia significativa de 54.9 toneladas/mes con respecto a los otros métodos, lo que sugiere que el uso de un valor estándar como el del PPC RAS no captura adecuadamente la realidad local de Sáchica y lo que es preocupante para el nivel municipal, debido a que la producción en los próximos 12 años se puede duplicar con respecto al valor actual.

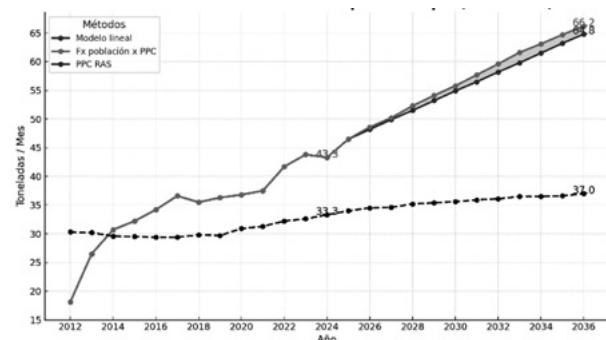
Por lo tanto, los modelos de regresión lineal para la generación de residuos, como el modelo de regresión de la PPC por la población, resultan ser más ajustados a la realidad de Sáchica, ya que tienen en cuenta el contexto local y el crecimiento proyectado en los próximos años.

En el caso del municipio de El Cocuy, la proyección en la generación de residuos sólidos en el municipio de El Cocuy, a través de los tres métodos de proyección, muestra una clara tendencia creciente en la generación de residuos, como se observa en el Figura 10. La línea roja (modelo de regresión lineal) y la línea roja (modelo de regresión de la PPC por la población) siguen un patrón similar de aumento progresivo, alcanzando 66.2 toneladas por mes en 2036.

El método por la PPC del RAS muestra una proyección significativamente más baja, alcanzando solo 37.0 toneladas por mes en 2036. La diferencia de 29.2 toneladas por mes entre la proyección del PPC RAS y los otros dos métodos resaltan una brecha importante en la estimación de la generación de residuos. El valor fijo de 0.45 kg/hab-día del PPC RAS no demuestra la realidad local de El Cocuy, donde factores como el crecimiento poblacional y los cambios en las costumbres de consumo, el turismo y la incidencia de ser capital de la provincia inciden directamente en la cantidad de residuos generados [32].

De este modo, se determina que tanto el modelo de regresión lineal para la generación de residuos como el modelo de regresión de la PPC por la población proporcionan proyecciones más ajustadas a la realidad de El Cocuy, ya que consideran factores anteriormente mencionados.

**Figura 10.** Generación de residuos sólidos – El Cocuy (2012 - 2036)



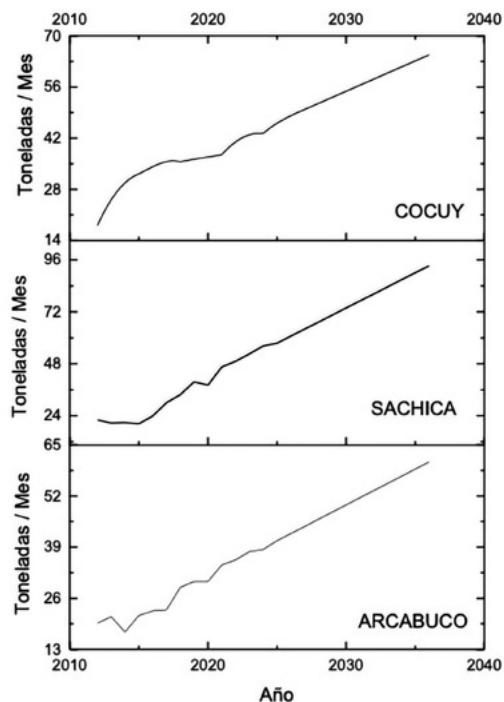
**Nota:** Elaboración Propia (2025).

El análisis de la generación de residuos sólidos en Arcabuco, Sáchica y El Cocuy muestra una tendencia creciente en todos los métodos utilizados, pero con diferencias significativas al ser comparadas entre sí y con el PPC del RAS. En Arcabuco, los modelos proyectan un aumento gradual hasta alcanzar 60.6 toneladas por mes en 2036, en Sáchica, se proyecta 96.9 toneladas por mes en 2036, mientras que, para El Cocuy, 66.2 toneladas por mes en 2036. Estas diferencias destacan la necesidad de utilizar modelos diferenciados en los cálculos de variables locales para cada municipio, ya que los factores sociales afectan directamente la generación de residuos, lo que no se refleja en los valores establecidos en rangos del RAS, siendo los modelos matemáticos de retrospectiva los métodos más asertivos en este proceso de gestión integral de residuos sólidos.

La Figura 11 muestra el análisis de retrospectiva y la proyección en una sola línea, de donde se observa que, en todos los municipios, se observa una tendencia creciente en la generación de residuos, con diferentes tasas de crecimiento y proyecciones a futuro.

En El Cocuy, la proyección muestra un incremento acelerado en la generación de residuos, alcanzando más de 56 toneladas por mes hacia 2036, lo que refleja un fuerte crecimiento impulsado por factores como el aumento poblacional y el desarrollo económico, lo que exigirá una adaptación para gestionar de manera eficiente los recursos y la infraestructura de manejo de residuos a nivel local para lograr disminuir las tasas de disposición y aumentar la vida útil del relleno sanitario.

**Figura 11.** Proyección de la generación de residuos sólidos (2012 – 2036)



**Nota:** Elaboración Propia (2025).

En Sáchica, el aumento es aún más pronunciado, con una proyección de 96 toneladas por mes en 2036, lo que resalta la necesidad urgente de implementar políticas de manejo de residuos específicas que se adapten al ritmo acelerado de generación, garantizando que la infraestructura del municipio pueda soportar este incremento sin comprometer la sostenibilidad económica de la empresa prestadora, además del reto que se tiene por las distancias desde el municipio al sitio de disposición. Por último, aunque Arcabuco muestra un crecimiento más moderado, con 52 toneladas por mes proyectadas para 2036, es esencial que también se anticipen a este aumento progresivo y ajusten sus políticas de gestión de residuos a su crecimiento poblacional y económico. Aun sabiendo que los porcentajes de residuos sólidos orgánicos oscilan entre el 40% y el 60% en la mayoría de los municipios, este hecho representa un reto que demanda

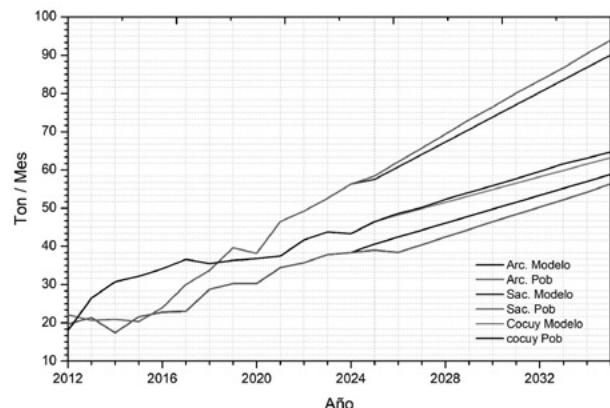
la implementación de modelos diferenciados de residuos orgánicos.

Finalmente, la Figura 12 muestra la proyección de la generación de residuos sólidos para los municipios de Arcabuco, Sáchica y El Cocuy, considerando dos enfoques: el modelo matemático construido con los datos 2012 – 2024 para la estimación en la generación de residuos, los cuales consideraron variables más dinámicas, lo que los hace más precisos para los contextos locales.

En comparación, el valor de referencia del PPC RAS, que se mantiene entre 0.3 y 0.75 kg/hab-día, podría subestimar la generación real de residuos, especialmente en contextos donde hay cambios poblacionales y variaciones en los patrones de consumo o afectación por el turismo local. Esto resalta la importancia de utilizar modelos basados en datos reales y específicos de cada municipio para obtener estimaciones más precisas, lo cual es esencial para planificar una gestión eficiente y sostenible de los residuos sólidos.

De acuerdo con la Figura 12 en el caso del municipio de Arcabuco, los datos proporcionados muestran los valores mínimos y máximos proyectados tanto para el modelo proyectado como para la población con PPC proyectada. El intervalo para el modelo proyectado varía entre un mínimo de 33.5 y un máximo de 44 toneladas por mes, mientras que el intervalo para la población con PPC proyectada se encuentra entre 32.5 y 42.0. Con un nivel de confianza del 95%, se puede determinar que la media de la generación de residuos se encuentra entre 37,25 y 38,75 toneladas por mes.

**Figura 12.** Proyección de la generación de residuos sólidos (2012 - 2036)



**Nota:** Elaboración Propia (2025).

En el caso del municipio de Sáchica, con un nivel de confianza del 95%, el análisis de los datos proyectados muestra que el intervalo de confianza para la media de la generación de residuos en el modelo proyectado se encuentra entre 45.0 y 63.8 toneladas por mes. Por otro lado, el intervalo de confianza para la población con PPC proyectada se ubica entre 45.7 y 65.6 toneladas por mes. Estos intervalos reflejan la variabilidad en los datos y proporcionan un rango dentro del cual se espera que caigan los valores reales de la generación de residuos, con un 95% de certeza.

Para el modelo proyectado, los valores máximos y mínimos de la generación de residuos son 49,7 toneladas y 40,0 toneladas, respectivamente. El intervalo de confianza para la media de la generación de residuos se calcula utilizando la desviación estándar de 12,40 toneladas y un tamaño de muestra de 25 años. Usando un nivel de confianza del 95% y el valor  $t$  correspondiente, el intervalo de confianza para la media de la generación de residuos en el modelo proyectado se encuentra entre 40,0 y 49,7 toneladas por mes.

Por otro lado, para la población con PPC proyectada, los valores máximos y mínimos son 50,4 toneladas y 40,3 toneladas, respectivamente. Con una desviación estándar de 12,96 toneladas, el

intervalo de confianza para la media de la generación de residuos en este modelo se encuentra entre 40,3 y 50,4 toneladas por mes. Al igual que con el modelo proyectado, este intervalo da una idea del rango dentro del cual se espera que se encuentre la verdadera media de la generación de residuos para la población con PPC proyectada, con un nivel de confianza del 95%.

El modelo de retrospectiva basado en datos reales permite simular y analizar la generación de residuos a nivel municipal de manera más coherente y precisa, superando las limitaciones de los enfoques estándar como el PPC RAS. Sin embargo, es importante destacar que Colombia ha tardado más de 15 años en consolidar datos adecuados, y, ante este contexto, tanto las nuevas normativas como el propio RAS deben evolucionar. Las proyecciones futuras deben basarse en análisis retrospectivos robustos que consideren las dinámicas locales, no en valores fijos que subestiman la complejidad del fenómeno. Es hora de que las políticas y normativas nacionales se adapten a la realidad del país, priorizando datos concretos y actualizados para una gestión de residuos realmente efectiva y sostenible.

### Replicabilidad del modelo

Los hallazgos del estudio al Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) de Colombia son fundamentales para mejorar las proyecciones y gestión de residuos sólidos a nivel municipal. Actualmente, el RAS establece un rango estático de residuos per cápita (PPC) que no refleja las dinámicas locales, como el crecimiento poblacional, los cambios en los hábitos de consumo y la incidencia del turismo. Ajustar este rango a un enfoque más flexible y dinámico, basado en datos históricos y tendencias observadas, permitiría obtener estimaciones más precisas y ajustadas a la realidad de cada municipio.

El estudio utiliza modelos matemáticos de análisis retrospectivo y series temporales, que son capaces de capturar las variaciones reales en la generación de residuos. Estos modelos de regresión lineales ofrecen una visión más precisa de la evolución de

la producción de residuos, lo que resulta crucial para la planificación de políticas públicas. Integrar estos enfoques al RAS permitiría complementar los métodos actuales, proporcionando proyecciones más confiables y adaptadas a las características específicas de cada municipio.

Además, el impacto del turismo, que ha sido destacado en el estudio, no se considera adecuadamente en el RAS. Municipios con alta incidencia turística, como Sáchica y El Cocuy, experimentan fluctuaciones significativas en la generación de residuos, lo que requiere un ajuste en las proyecciones. Incorporar un factor de ajuste que contemple la población flotante y las variaciones estacionales permitiría una estimación más realista de la generación de residuos en estos contextos, lo que es esencial para una gestión eficaz.

Estos hallazgos sugieren que la adopción de modelos dinámicos y la consideración de factores locales como el turismo, el crecimiento poblacional y los cambios en los hábitos de consumo son claves para mejorar la precisión de las proyecciones del RAS. Integrar estos enfoques en el sistema normativo del país contribuiría a una planificación más eficiente y sostenible en la gestión de residuos sólidos, adaptada a las necesidades y realidades específicas de cada municipio, principalmente a la hora de revisar la planeación de disposición en rellenos sanitarios.

### **Limitantes del estudio**

Las principales limitaciones del presente estudio incluyen: la falta de datos suficientes y actualizados para determinar con precisión la población flotante en los municipios estudiados, lo que dificultó la incorporación de este factor en las proyecciones de residuos.

Además, la falta de información detallada y completa de años anteriores a 2012 en el Sistema Único de Información (SUI) y las empresas prestadoras de servicios limitó el alcance de los análisis históricos y la capacidad de realizar proyecciones más precisas en retrospectiva.

Otra limitación importante, fue la variabilidad de los datos a nivel local, ya que los registros de residuos no siempre reflejaron fielmente las fluctuaciones estacionales o el impacto de eventos extraordinarios, como festividades o aumentos temporales de población debido al turismo.

Por último, la falta de integración de variables socioeconómicas más detalladas en el modelo también representa una limitación, ya que los cambios en los hábitos de consumo pueden influir significativamente en la generación de residuos, pero no fueron completamente considerados en este análisis.

### **IV. Conclusiones**

El análisis retrospectivo de los datos de generación de residuos sólidos en los municipios de Arcabuco, El Cocuy y Sáchica permitió construir modelos matemáticos sólidos para proyectar la cantidad de residuos generados en el futuro. Estos modelos destacaron la importancia de contar con datos históricos precisos sobre la disposición, generación y aprovechamiento de residuos a nivel municipal para una planificación efectiva.

El estudio reveló realidades municipales que han sido ignoradas por el RAS, especialmente en municipios de Boyacá, donde las proyecciones de residuos no reflejan adecuadamente las dinámicas locales, como el crecimiento poblacional y el impacto del turismo. Al aplicar modelos matemáticos de análisis retrospectivo y series temporales, se obtiene una visión más precisa de la generación de residuos, lo cual es crucial para una gestión eficiente. Además, los modelos utilizados en el estudio son replicables en municipios con perfiles similares, lo que permite aplicar este enfoque en otras áreas de Colombia con características comparables para mejorar la planificación y gestión de residuos sólidos.

El modelo de Producción Per Cápita (PPC) proyectado para estos municipios supera los valores establecidos por el RAS para municipios de baja complejidad, lo que indica que las proyecciones

basadas únicamente en valores fijos del RAS subestiman la realidad de la generación de residuos.

Las proyecciones para 2036 en Arcabuco, El Cocuy y Sáchica evidencian un crecimiento mayor al estimado por el PPC RAS, lo que demuestra que este método no refleja la complejidad de las dinámicas locales. Este hallazgo resalta la necesidad de adoptar modelos predictivos más ajustados a la realidad, permitiendo una planificación más precisa para enfrentar el inminente aumento de residuos.

Los modelos de regresión lineal usados fueron los que más correlación entre las variables presentaron, estos reflejan un crecimiento sostenido de la generación de residuos, principalmente impulsado por el aumento poblacional, cambios en los hábitos de consumo y, particularmente, por el dinamismo social vinculado al turismo en los tres municipios, de acuerdo con las fuentes citadas.

Se recomienda tener en cuenta la necesidad de que la actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) esté soportada en modelos prospectivos que incorporen datos reales para poder establecer una proyección más real en la generación de residuos incluyendo, la actualización de los PGIRS las variables turísticas y económicas.

## V. Referencias

- [1] Minvivienda, «Tratamiento de residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo - Diagnóstico y evaluación del tratamiento de residuos sólidos en Colombia | Minvivienda». Accedido: 14 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/programa-de-residuos-solidos/tratamiento-de-residuos-solidos-en-el-marco-del-servicio-publico-de-aseo-diagnostico-y-evaluacion-del-tratamiento-de-residuos-solidos-en-colombia>
- [2] J. A. Ferrer Carbonell, «Percepción del estado de salud sobre la enfermedad diarreica aguda y los botaderos de basura a cielo abierto en Soledad Atlántico - una aplicación de la Fundación Producción de Salud», 2006, Accedido: 14 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/9227>
- [3] C. A. García Rueda y V. D. P. Quintero Muñoz, «Revisión de los procesos de diseño de un relleno sanitario bajo la normatividad colombiana», 2011, Accedido: 14 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/24976>
- [4] K. M. Noguera y J. T. Olivero, «LOS RELLENOS SANITARIOS EN LATINOAMÉRICA: CASO COLOMBIANO», sep. 2010, Accedido: 16 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/2721>
- [5] J. C. Vesga Ferreira, F. A. A. Sepulveda, y H. E. Pérez Waltero, «Smart Ecological Points, a Strategy to Face the New Challenges in Solid Waste Management in Colombia», *Sustainability*, vol. 16, n.o 13, Art. n.o 13, ene. 2024, doi: 10.3390/su16135300.

- [6] C. Aylwin Ríos, «Evaluación de un plan de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la comuna de Cochamó, ingeniería conceptual», 2017, Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150305>
- [7] T. C. Borja, «Análisis interdimensional de los impactos ambientales, asociados con el bota-dero a cielo abierto de la ciudad de Quibdó, Colombia», *Rev. Bioetnia*, vol. 5, n.o 1, Art. n.o 1, jun. 2008, doi: 10.51641/bioetnia.v5i1.101.
- [8] A. Ranjan, R. D. Gupta, y N. Rawal, «Characterization and Management of Municipal Solid Waste: A Case Study of an Indian City», en *Lecture Notes in Civil Engineering*, Singapore: Springer Nature Singapore, 2025, pp. 1-19, doi: 10.1007/978-981-97-6024-4\_1.
- [9] S. L. Ibargüen Rodríguez y J. de J. A. Flores Cuautle, «Application of system dynamics to evaluate reduction targets for the entry of solid waste into a landfill site | Discover Environment». Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44274-024-00091-9>
- [10] Y. L. Pulgarín y B. F. Orozco, «Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia», *Cuad. Act.*, vol. 12, n.o 1, Art. n.o 1, 2020, doi: 10.53995/20278101.808.
- [11] Alcaldía de San Gil, «Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS», Alcaldía de San Gil. Accedido: 31 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sangil.gov.co/documentos/1609/plan-de-gestion-integral-de-residuos-solidos-pgirs/>
- [12] Alcaldía de Cartegena, «Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-Documento PGIRS actualizado | Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias». Accedido: 31 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cartagena.gov.co/Transparencia/Politicas-lineamientos-y-manuales/Documento-PGIRS-actualizado>
- [13] M. I. Gélvez Pabón, «Propuesta para el manejo integral de residuos sólidos urbanos en el municipio de puerto escondido, córdoba, Colombia», dic. 2017, Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10654/17306>
- [14] A. G. Vélez, P. A. Peñafiel Arcos, M. G. Heredia Rengifo, S. N. Barreno Ubilluz, y J. F. Chávez Espinoza, «Propuesta de sistema de gestión de residuos sólidos domésticos en la comunidad Waorani Gareno de la Amazonía ecuatoriana», *Rev. Cienc. Tecnol.*, vol. 12, N.o 2, pp. 33-45, 2019.
- [15] B. Simon-Vermot, «Modelo para el manejo de los residuos sólidos generados por el recinto Chiriboga y sus alrededores», Thesis, Universidad Internacional SEK, 2010. Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/420>
- [16] H. F. Kerguelén García, «Estimación de la producción per cápita de residuos sólidos municipales mediante variables socioeconómicas», 2004, Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/21731>
- [17] M. Soto Vilca, «Producción per cápita de residuos sólidos domésticos según factores socioeconómicos de los habitantes del Centro Poblado Mina Rinconada Ananea, San Antonio de Putina, Puno».

- [18]** MINIVIVIENDA, «Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los PGIRS | Min. Vivienda». Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <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>
- [19]** V. A. Hernández Arias, «Caracterización de los residuos sólidos generados en la Universidad Cooperativa de Colombia sede principal de Villavicencio Meta», dic. 2020, Accedido: 16 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/28486>
- [20]** A. F. Montoya Rendón, S. Valencia, W. A. Villadiego Castillo, y A. M. Díaz Gómez, «¿Valorización económica y energética de los residuos sólidos del municipio de El Bagre (Antioquia) | Cuaderno activa». Accedido: 31 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/806>
- [21]** MINVIVIENDA, «Manuales | Min. Vivienda». Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico-reglamento-tecnico-sector-manuales>
- [22]** M. del P. Sánchez-Muñoz, J. G. Cruz-Cerón, P. C. Maldonado-Espinel, M. del P. Sánchez-Muñoz, J. G. Cruz-Cerón, y P. C. Maldonado-Espinel, «Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación», *Rev. Finanz. Política Económica*, vol. 11, N o 2, pp. 321-336, dic. 2019, Doi: 10.14718/revfinanzpolitecon.2019.11.2.6.
- [23]** D. D. Dávila Díaz, «Influencia de los factores económicos y culturales de los habitantes en la generación de residuos sólidos, con la finalidad de minimizarlos en la ciudad de Nueva Cajamarca, Distrito de Nueva Cajamarca 2018», Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial, 2019. Accedido: 20 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/1ab74d72-9617-4604-92cd-15eabe582359>
- [24]** A. A. León-López, A. González Damián, C. A. Ken Rodríguez, y I. Bojórquez Báez, «El manejo de los residuos sólidos y la actividad turística en Chetumal, México: una relación compleja», *Cuad. Urbano Espac. Cult. Soc.*, N.o 29, pp. 75-98, 2020.
- [25]** A. R. Guerra y K. A. Baca-Cajas, «Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU): análisis de una década de gestión en países de Europa y América», *Rev. Ecuat. Med. Cienc. Biológicas*, vol. 43, N.o 1, Art. N.o 1, may 2022, Doi: 10.26807/remcb.v43i1.919.
- [26]** M. I. Gelvez Pabón, «Análisis estratégico de los factores que inciden en la generación y aprovechamiento de los residuos sólidos en el sector manufacturero en Colombia», máster thesis, Universidad de La Sabana, 2023. Accedido: 16 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/59535>
- [27]** L. D. Alea González, L. G. Marín Cuba, y N. Bruguera Amarán, «Diagnóstico de la gestión del reciclaje de los residuos sólidos generados en el destino turístico Viñales», *Av. Cuba*, vol. 21, n.o 4, pp. 516-531, 2019.

- [28] E. Diaz Fariña, J. Díaz-Hernández, y N. Padrón, «The contribution of tourism to municipal solid waste generation: A mixed demand-supply approach on the island of Tenerife», *Waste Manag.*, vol. 102, feb. 2020, Doi: 10.1016/j.wasman.2019.11.023.
- [29] E. F. Monroy Ávila y D. R. Diaz Guevara, «Logros de Sostenibilidad: Modelo circular en la gestión de residuos sólidos municipales», 2025, pp. 129-143. Doi: 10.61728/AE20251895.
- [30] L. Morais, V. Nascimento, S. Simões, y J. Ometto, «Regional Distance Routes Estimation for Municipal Solid Waste Disposal, Case Study São Paulo State, Brazil», *Energies*, vol. 14, N.o 13, Art. n.o 13, ene. 2021, doi: 10.3390/en14133964.
- [31] M. Sabater Vidal, «El impacto del turismo en la generación de residuos sólidos urbanos en la isla de Mallorca», may 2022, Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/159080>
- [32] I. Arbulú, J. Rey-Maqueira, y F. Sastre, «The impact of TOURISM and seasonality on different types of municipal solid waste (MSW) generation: The case of Ibiza», *Helijon*, vol. 10, N.o 13, p. e33894, jul. 2024, Doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e33894.