

# Comparación entre diferentes estudios de caracterización de RSU para aplicación de tecnologías WTE: Metodología, y variación estadística de resultados"

PhD. Alejandro Paz Parra<sup>1</sup>, Ing. Gildardo Hernán Chávez Landázuri<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Javeriana Cali, [apaz@javerianacali.edu.co](mailto:apaz@javerianacali.edu.co)

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Javeriana Cali, [mschernan@javerianacali.edu.co](mailto:mschernan@javerianacali.edu.co)

**Resumen:** En el presente documento se analizan diferentes estudios de caracterización aplicados a residuos sólidos urbanos a nivel global, con el propósito obtener información que es esencial y útil para considerar la adopción de tecnologías e implementar instalaciones de conversión de residuos sólidos a energía (WTE). Se encontró que en los estudios se aplican distintas metodologías las cuales arrojan diversos resultados, se analiza la variabilidad estadística por regiones y finalmente se hace una discusión acerca de la posibilidad evaluar estos estudios como base para hacer un análisis de pre-factibilidad en proyectos WTE en Colombia.

**Palabras clave:** Residuos sólidos urbanos, Waste to energy, Caracterización de RSU, Fuentes renovables no convencionales, Generación de energía.

**Abstract:** In this document, different characterization studies applied to urban solid waste in different countries around the world are analyzed, in order to obtain information that is essential and useful to consider the adoption of technologies and implement facilities for the conversion of solid waste to energy (WTE). It was found that in the studies different methodologies are applied which yield different results, the statistical variability is analyzed by regions and finally a discussion is made about the possibility of evaluating these studies as a basis for making a pre-feasibility analysis in WTE projects in Colombia.

**Keywords:** Urban Solid Waste, Waste to Energy, USW characterization, Non-conventional renewable energy sources, Electric power generation.

## Introducción

La búsqueda de fuentes alternativas de energía y la creciente preocupación por la generación de residuos sólidos municipales es uno de los principales problemas del entorno urbano en la mayoría de los países de todo el mundo hoy en día. Una posible alternativa para resolver ambos problemas es a través de la generación de energía eléctrica por medio del uso de los residuos sólidos urbanos (RSU) y la implementación de plantas WTE (Waste to Energy). Las soluciones de gestión de RSU deben ser financieramente sostenibles, técnicamente viables, social y legalmente aceptables así como respetuosas con el medio ambiente [1][2].

Existen diversas metodologías de caracterización aplicadas en cada región y país con diferentes criterios de muestreo y parámetros, que se adaptan a las necesidades de cada caso, no hay una metodología de caracterización general o estándar, con diversos criterios de muestreo y precisión, que hacen que no se disponga de un patrón de referencia a nivel local, regional e internacional [3].

## **Métodos para la caracterización de RSU en estudios de factibilidad de plantas WTE**

Existen varios métodos generales para determinar las cantidades de residuos sólidos urbanos, entre los principales están:

### *Análisis de pesada total o análisis del número de cargas*

Implica el pesaje en básculas de la totalidad de los residuos que llegan a las instalaciones de tratamiento o vertido.

### *Análisis peso-volumen*

En este método se determina el peso y el volumen de las cargas que llegan a las instalaciones de tratamiento o vertido, con lo que se puede conseguir las densidades suelta y compactada. Con base en el volumen de carga de los camiones se puede determinar el peso y con base en la densidad se puede tener una idea del tipo de material contenido en los camiones de carga.

### *Análisis por muestreo estadístico*

Este método implica la toma de un número representativo de muestras de residuos sólidos de alguna de las fuentes, durante un tiempo, determinándose los pesos totales y de sus componentes, A partir de un análisis estadístico se determinan la tasa de generación y la composición. El número de muestras dependerá de la precisión que se quiera alcanzar, aplicándose métodos estadísticos. Para el diseño de sistemas de gestión de residuos sólidos, es necesario determinar las características estadísticas de las tasas observadas de la generación de residuos. Por ejemplo, la capacidad de los contenedores proporcionados debería basarse en el análisis estadístico de las tasas de generación, y en las características del sistema de recolección. La mayor parte de los estudios encontrados en la búsqueda bibliográfica utilizan el muestreo estadístico para obtener toda la información necesaria sobre los RSU con una amplia diversidad de criterios [4].

Mediante la caracterización física de RSU se puede obtener la composición aproximada y la cantidad de los diferentes materiales, dicha caracterización de residuos sólidos es muy importante para evaluar las posibilidades de aprovechamiento, y brinda la base para el diseño e implementación de la solución técnica idónea para cada población que deberá ser no sólo la más económica sino de la cual se obtenga los mejores beneficios ambientales y sociales. La evaluación de la funcionalidad de una determinada tecnología depende de la cantidad de residuos generados, así como de su composición, pero también del contexto político, legal, financiero, social y cultural. También es de capital importancia la disponibilidad de conocimientos técnicos y habilidades locales para el manejo de la tecnología [5].

Utilizando datos de la composición química y averiguando su poder calorífico se examina la cantidad de energía almacenada en los diferentes constituyentes de los RSU. Para poder calcular de forma estimada la composición química de los residuos, se utilizan tablas que determinan el porcentaje de C (carbono), H (hidrógeno), O (oxígeno), N (nitrógeno), S (azufre) y cenizas, de los componentes típicos de los residuos [6].

## **Metodología**

Se hizo una extensa búsqueda bibliográfica de países y ciudades donde se han construido o están en estudio de pre-factibilidad la construcción de plantas para obtener energía a partir de los RSU. Se consideraron estudios en diferentes regiones del mundo con diferentes niveles de desarrollo económico como Asia, Europa, Latinoamérica y Estados Unidos. Las ciudades que reportan estudios de caracterización por región y metodología de recolección de información se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1** Listado de estudios de caracterización de RSU analizados por ciudad y región.

Región	País	Ciudad	Metodología
Latinoamérica	Colombia	Cali	Muestreo estadístico
		Medellín	Muestreo estadístico
		Bogotá	Muestreo estadístico
		Barranquilla	Muestreo estadístico
	México	Chihuahua	Muestreo estadístico
		Morelia	Muestreo estadístico
	Perú	Huancayo	Análisis peso-volumen
	Argentina	Buenos Aires	Análisis peso-volumen
		Bariloche	Análisis peso-volumen
		Caba	Análisis peso-volumen
		Prov. Mendoza	Análisis peso-volumen
Ecuador	Quito	Análisis de pesada total	
	Riobamba	Muestreo estadístico	
África	Angola	Cabinda	Muestreo estadístico
	Nigeria	Abuja	Muestreo estadístico
Asia	Turquía	Estambul	Análisis de pesada total
	India	Bagalore	Muestreo estadístico
	China	Beijing	Muestreo estadístico
	Bangladés	Chittagong	Muestreo estadístico

A partir de las categorías de clasificación reportadas en cada estudio se hizo un promedio estadístico y se analizó la variación entre ciudades. Se muestran a continuación los gráficos correspondientes a los diferentes estudios agrupados por región geográfica.

#### **Análisis de diferentes estudios publicados para la caracterización de RSU**

Como resultado de la comparación se encontró que existe una variación importante en la composición de los RSU reportada dentro de los diferentes estudios incluso entre ciudades del mismo país como se observa en la **Figura 1**, donde se muestra la composición aproximada de los RSU en tres ciudades diferentes de Colombia y se compara con un promedio de la caracterización obtenida en países de ingreso medio. Se observa por ejemplo que, en materia orgánica, una ciudad como Medellín reporta un contenido del 55% dentro del total de residuos generados, mientras que, en Barranquilla y Cali, este porcentaje sube hasta un 61.5%. En otras categorías como papel y cartón se observan variaciones similares.

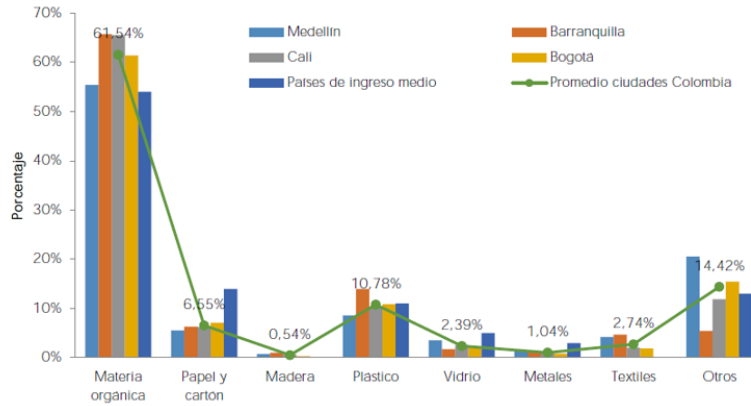


Figura 1. Caracterización de los residuos sólidos en algunas ciudades de Colombia tomado de: CONPES 3874 [7].

En la **Figura 2** se observa que la composición de los RSU varía significativamente de un país a otro, las muestras de residuos sólidos confirman una diferencia estadísticamente considerable entre los contenidos de materia orgánica e inorgánica, la mayor parte de ciudades se localizan por debajo del promedio en la categoría de materia orgánica y similarmente para el papel y cartón [8][9][10][11][12][13].

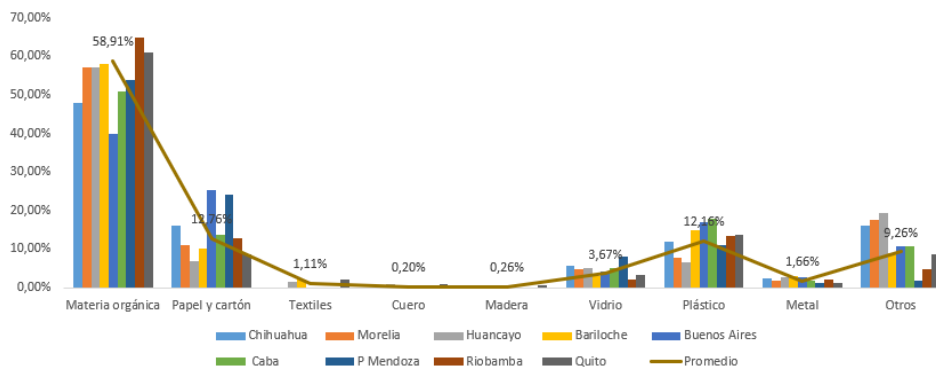


Figura 2. Caracterización de los residuos sólidos en algunas ciudades de América Latina

En la **Figura 3** prevalece la diferencia estadísticamente notable entre el contenido de materia orgánica e inorgánica, se evidencia una diferencia significativa entre las ciudades casi todas las categorías [14][15][16].

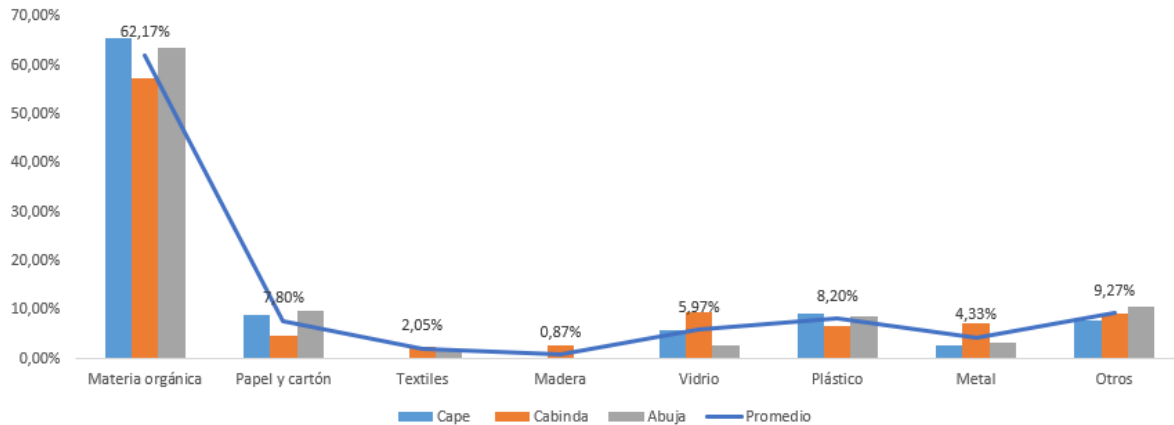


Figura 3. Caracterización de los residuos sólidos en algunas ciudades de África

En la **Figura 4** también se puede notar la diferencia entre el contenido de materia orgánica e inorgánica, con una disparidad estadísticamente considerable en materia orgánica, papel-cartón y plásticos [14][17].

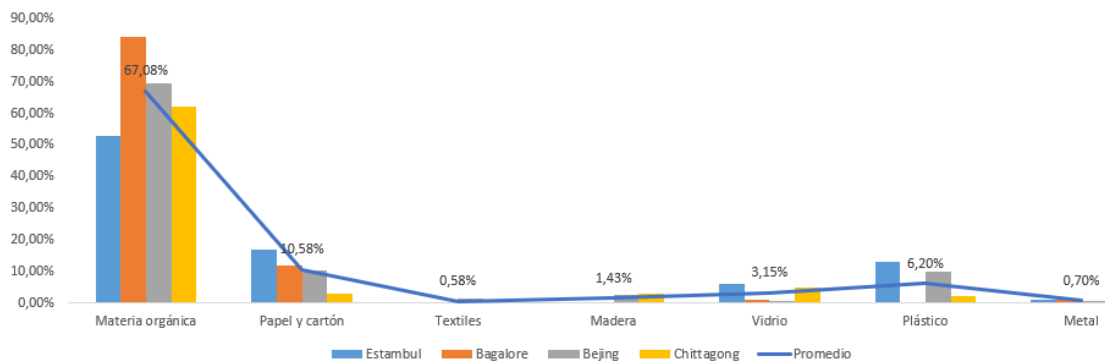


Figura 4. Caracterización de los residuos sólidos en algunas ciudades de Asia

La composición de los RSU varía significativamente entre las diversas regiones; Dicha variación depende principalmente del estilo de vida, la situación económica, las regulaciones de gestión de residuos y la estructura industrial [19].

Un desafío clave para garantizar la viabilidad económica y ambiental de WTE es comprender la variabilidad de las características de los recursos de WTE individuales, incluida su ubicación, cantidad y calidad.

## Conclusiones

Los resultados de los análisis estadísticos de las muestras de residuos sólidos confirman una diferencia estadísticamente significativa de los contenidos entre las diferentes ciudades y regiones geográficas, por lo que cualquier estudio de factibilidad de plantas WTE debe partir de una

caracterización detallada de los RSU para poder cuantificar adecuadamente las expectativas de generación de energía y por tanto los indicadores financieros y de impacto ambiental.

Existe una prevalencia considerable de los residuos orgánicos respecto a los inorgánicos la cual se ve incrementada en los países de ingresos bajos, esta situación indica que en estos países, las tecnologías orientadas al uso de biomasa para la producción de biogás o abonos son las que tienen mayor potencial de desarrollo.

## Bibliografía

- [1] H. I. Abdel-Shafy and M. S. M. Mansour, "Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization," *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, no. 4, pp. 1275–1290, Dec. 2018.
- [2] R. E. dos Santos, I. F. S. dos Santos, R. M. Barros, A. P. Bernal, G. L. Tiago Filho, and F. das G. B. da Silva, "Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis," *J. Environ. Manage.*, vol. 231, pp. 198–206, Feb. 2019.
- [3] Runfola and ; Gallardo, "Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas."
- [4] A. Gallardo Izquierdo, "Metodología para el diseño de redes de recogida de RSU utilizando sistemas de información geográfica. Creación de una base de datos aplicable a España," 2000.
- [5] "Caracterización de los RSU | Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)." [Online]. Available: <https://gestiondersu.wordpress.com/2011/05/15/caracterizacion-de-los-rsu/>. [Accessed: 21-Jan-2019].
- [6] G. Tchobanoglous, H. Theisen, and S. Vigil, "Integrated solid waste management: engineering principles and management issues," 1993.
- [7] J. Manuel Santos Calderón *et al.*, "CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL CONPES María Ángela Holguín Cuéllar Ministra de Relaciones Exteriores."
- [8] G. Gomez, M. Meneses, L. Ballinas, F. C.-W. Management, and undefined 2008, "Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico," *Elsevier*.
- [9] D. Moya, C. Aldás, D. Jaramillo, E. Játiva, P. K.-E. Procedia, and undefined 2017, "Waste-To-Energy Technologies: an opportunity of energy recovery from Municipal Solid Waste, using Quito-Ecuador as case study," *Elsevier*.
- [10] ECO Consultorías e Ingeniería SAC, "Estudio de Caracterización Física de Residuos Sólidos Municipales en la Ciudad de Huancayo."
- [11] M. DE BARILOCHE, "PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS," 2008.
- [12] Ricardo Rollandi, "Características de los Residuos Sólidos Urbanos."
- [13] J. J. Samaniego, "Manejo y caracterización de residuos sólidos urbanos de la provincia de Chimborazo-Ecuador y su potencial uso en agricultura," 2015.
- [14] T. V. Ramachandra, H. A. Bharath, G. Kulkarni, and S. S. Han, "Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 1122–1136, Feb. 2018.

- [15] J. Do Rosario, ... G. B. C.-C., and undefined 2014, "Caracterización de los residuos sólidos generados en el municipio de Cabinda, Angola," *centroazucar.uclv.edu.cu*.
- [16] T. C. Ogwueleka, "Survey of household waste composition and quantities in Abuja, Nigeria," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 77, pp. 52–60, Aug. 2013.
- [17] A. Coban, I. F. Ertis, and N. A. Cavdaroglu, "Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey," *J. Clean. Prod.*, vol. 180, pp. 159–167, Apr. 2018.
- [18] H. I. Abdel-Shafy and M. S. M. Mansour, "Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization," *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, no. 4, pp. 1275–1290, Dec. 2018.
- [19] P. T. T. Trang, H. Q. Dong, D. Q. Toan, N. T. X. Hanh, and N. T. Thu, "The Effects of Socio-economic Factors on Household Solid Waste Generation and Composition: A Case Study in Thu Dau Mot, Vietnam," *Energy Procedia*, vol. 107, pp. 253–258, Feb. 2017.