

Montoya Rendon, Andrés Felipe, Valencia Hurtado, Sergio Humberto, Sánchez Mesa, Ana María and Vélez Gonzáles, José Manuel. (2018). Valoración de los residuos sólidos de la Comuna Dos de Bello (Antioquia), como sistema alternativo de aprovechamiento. Cuaderno Activa, 10(1), 67 - 86.



Valoración de los residuos sólidos de la Comuna Dos de Bello (Antioquia), como sistema alternativo de aprovechamiento[□]

Assessment of solid waste from Comuna Dos de Bello (Antioquia), as an alternative system of use

Andrés Felipe Montoya Rendón* , Sergio Humberto Valencia Hurtado[†] ,
Ana María Sánchez Mesa[‡] , José Manuel Vélez González[§]

Recibido: 01/12/2017 Aprobado: 14/02/2018

Resumen: En diferentes países se han establecido límites para las cantidades de residuos sólidos que se disponen en rellenos sanitarios. En Antioquia (Colombia), la Gobernación de Antioquia por medio de la Ordenanza número 10 "Basura Cero" obliga a los municipios del departamento a verter en relleno sanitario como máximo el 20 % de los residuos generados. Por lo tanto, los municipios de Antioquia están obligados a establecer programas para incentivar la separación desde la fuente, así como la valoración y el aprovechamiento de los residuos. Para valoración de los residuos sólidos se debe conocer la cantidad y el porcentaje de cada tipo de residuo por medio del aforo y la caracterización. Este trabajo se centra en la caracterización de los residuos generados en la Comuna 2, del municipio de Bello (Antioquia), para valorar el potencial económico y energético de los residuos sólidos generados. Para la valoración

del potencial energético de los residuos sólidos con fines de cogeneración se determinó el poder calorífico inferior de los residuos (PCI). Los residuos sólidos de la comuna 2 del municipio de Bello están compuestos por residuos ordinarios o comunes (46.7 %), residuos orgánicos (32.2 %) y residuos reciclables (21.0 %), con un PCI de 3 444.1 kcal/kg, por lo que tienen un valor económico y energético.

Palabras clave: residuos sólidos, caracterización, valoración energética.

Abstract: In different countries, limits for the amount of solid waste for final disposal in landfill have been established. In Antioquia (Colombia), the Government of Antioquia, through Ordinance number 10, "Basura Cero" (Zero Waste), obliges the municipalities of Antioquia to dump 20% of the waste generated into landfill. Therefore, the

□ Artículo resultado de investigación.

* Magister en Gestión y Auditorías Ambientales. Docente Investigador Tecnológico de Antioquia – IU. Medellín – Colombia. amontoya2@tdea.edu.co

† Doctor en Ingeniería. Docente Investigador Tecnológico de Antioquia – IU. Medellín – Colombia. Sergio.valencia@tdea.edu.co

‡ Ingeniera Ambiental. Sector productivo. Medellín – Colombia. anamara1107@gmail.com

§ Ingeniero Ambiental. Contratista Corantioquia. Medellín – Colombia. jose-manuel27@hotmail.com

municipalities of Antioquia must establish waste management programs in order to encourage the separation from the source, reuse, recycling, and treatment. For the valorization of solid waste, the waste composition and quantity of solid waste generated in the municipalities must be known by mean of a characterization. In this work, a characterization of the waste generated was made in the Commune 2, of the municipality of Bello (Antioquia). It was carried out to assess the energy potential and economic value of the different solid waste. For cogeneration of energy with waste, the Inferior Caloric Power (ICP) was determined. The waste from the commune 2 of the municipality of Bello was composed of ordinaries or commons waste (46.7%), organics waste (32.2%) and recycling waste (21.0%), with a ICP of 3 444.1 kcal/kg. Therefore, the solid waste of Commune 2 (Antioquia) has an economic and energetic value.

Key words: solid waste, characterization, energy valuation.

Introducción

Para su desarrollo, las sociedades siempre han requerido materias primas, agua y energía. Las necesidades de estas colectividades son cada vez mayores, al igual que la diversidad de las mismas, lo que ha llevado a un aumento significativo en la producción per cápita (PPC) de los residuos sólidos generados. El desconocimiento de los residuos que se generan y su potencial uso como materias primas ha llevado a que una gran cantidad de estos sean abandonados o desechados sin ningún control, y que se disponga de ellos en sitios no autorizados. Esto ocasiona todo tipo de impactos ambientales negativos, como la concentración de elementos y compuestos potencialmente tóxicos y peligrosos por encima de la carga crítica, con anomalías geoquímicas y un riesgo significativo de deterioro de los suelos, aguas y sistemas bióticos. Además, el incremento de los residuos sólidos con alta fracción de orgánicos y su mala disposición llevan a la emisión de gases de efecto invernadero según (Ramachandra, Bharath, Kulkarni, y Han (2018). Por lo tanto, es necesario realizar acciones preventivas o de mitigación, mediante planes de manejo de residuos sólidos.

En el departamento de Antioquia (Colombia), la Gobernación de Antioquia por medio de la Ordenanza 10 "Basura Cero", como instrumento para el manejo integral de los residuos sólidos en los municipios del departamento, obliga a sus 125 municipios a verter en rellenos sanitarios un máximo del 20% de los residuos generados. Para esto se plantean diversas estrategias, entre las cuales se citan: la reducción en el consumo y en la generación, la reutilización de los desechos, la educación en el manejo de los residuos sólidos y la promoción de la cultura de manejo de residuos sólidos desde la fuente para usuarios domiciliarios, instituciones y sectores productivos (Asamblea Departamental de Antioquia, 2016). Sin embargo, para que los programas de residuos sólidos sean efectivos es necesario tener información de su producción per-cápita y su composición.

Para cualquier proceso de tratamiento los residuos deben ser separados (Miezan et al., 2015). Sin embargo, el manejo de los residuos sólidos es complicado debido a que su composición varía en función del lugar de generación y de los hábitos y cultura de la población urbana generadora (Lopes, 2018). Varios estudios aseveran que los residuos municipales son generados entre un 55 y 80 % por el sector residencial, seguido por el sector comercial (10-30 %), con cantidades variables del sector industrial, institucional y de servicios. Los residuos de estas fuentes son muy heterogéneos, y están compuestos por residuos de comida, desechos de jardín, madera, plástico, papel, metales, cuero, caucho, materiales inertes, baterías, textiles, material de construcción y demolición, entre otros, lo cual dificulta su clasificación. Se pueden clasificar en residuos biodegradables: orgánicos y papel; residuos no biodegradables: metales, vidrio, textiles, cuero, plástico, etc.

Para dar cumplimiento a los objetivos de "Basura Cero" y llevar a que la comunidad potencialice un proyecto comunitario de caracterización, valorización y aprovechamiento de residuos como una unidad de negocios, que genera empleo e ingresos económicos, se realizó una caracterización de los residuos sólidos generados en la Comuna 2 del municipio de Bello (Antioquia).

Metodología

Para el desarrollo del análisis de la caracterización de los residuos de la Comuna 2 del municipio de Bello (Antioquia) se realizaron las siguientes actividades:

• Toma de muestra

Para obtener una muestra representativa de la población de la Comuna 2 del municipio de Bello (Antioquia), se tuvo en cuenta lo estipulado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS - Resolución 0330 de 2017), título F, y Flores (2009), donde para una población inferior a 100 000 habitantes, la muestra poblacional se obtuvo por medio de la ecuación estadística con población finita (Ec. 1), con los siguientes parámetros: desviación estándar normal para el nivel de confianza deseado, desviación estándar calculada y el error muestral (que debe ser como mínimo el 95% del peso total de la muestra).

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha}^2)(N)(\sigma^2)}{(N-1)E^2 + (Z_{1-\alpha}^2)(\sigma^2)} \quad (1)$$

Dónde: n = número de muestras a realizar, σ^2 = desviación estándar de la generación de basura per-cápita de la población, para el caso en cuestión es de 0.04, $Z_{1-\alpha}^2 = 1.96$, con un grado de confianza de 95 %, E = error permisible en la estimación de la PPC (Kg/hab día) de 0.056 y N = número total de viviendas.

• Caracterización

El foco de la caracterización fue el sector residencial de la Comuna 2 del municipio de Bello. A las viviendas seleccionadas se les informó y se les solicitó la autorización para realizar la caracterización de sus residuos sólidos. Se tomaron datos por medio de una encuesta a cada uno de los usuarios: dirección, número telefónico, número de habitantes, estrato socioeconómico. Además, se indagó sobre los hábitos de manejo de los residuos sólidos generados.

A cada una de las viviendas se les recolectaron los residuos sólidos y se separó según la clase

de residuo: orgánico, plástico, papel, textiles, vidrio, metales, inservibles, entre otros; se tabularon y se determinó el peso total de la muestra (Ec. 2). Además, se determinaron los porcentajes de cada uno de los residuos en la muestra con la Ec. 3. Con estos datos se determinó la PPC de la comuna, por medio de las Ec. 4:

$$Wt = \sum_{i=1}^n Wi \quad (2)$$

$$\% Wi = \frac{Wi}{Wt} * 100\% \quad (3)$$

$$PPC = \frac{Wt}{Nhab * Ndias} \quad (4)$$

Donde: Wt = peso total de la muestra, Wi = peso de cada muestra de residuo (orgánico, textil, vidrio, metal y cada clase residuo que se encuentre en la muestra), $\% Wi$ = porcentaje muestra de residuo, PPC = producción per-cápita, $Nhab$ = número de habitantes a los que se les efectuó la caracterización, $Ndias$ = número de días de almacenamiento de los residuos sólidos.

• Valoración económica de los residuos sólidos

La valoración económica de los residuos se basó en el precio de comercialización de los residuos generados recuperables. Para esto se realizó un sondeo en las diferentes cooperativas de recicladores y compraventas del municipio de Bello, donde se determinaron los valores de comercialización de los materiales sin transformación para el año 2017.

• Valoración energética de los residuos sólidos

La valoración energética de los residuos sólidos se realizó por medios térmicos con fines de cogeneración. Para sistemas de cogeneración se determinó el poder calorífico del residuo (PC), que se define con las calorías aportadas por unidad de peso o volumen de este. El RAS (2017) establece que con el PC, para el contenido de carbono, porcentaje de humedad y el contenido de metales, es posible implementar alternativas de gestión hacia la valorización energética de los residuos, los cuales pueden ser: biomasa estabilizada,

fracciones de plásticos, celulosa (papel, cartón y madera), lodos biológicos estabilizados, así como textiles, caucho (incluyendo llantas) y cuero.

El poder calorífico superior del residuo (PCS), que aprovecha la energía de condensación del agua, se calculó con la Ec. 5 y 6.

$$PCS_{bs} = \frac{(MO + Madera + papel + textiles + ordinarios)\% * 4000}{100} + \frac{(plastico + caucho + cuero)\% * 9000}{100} \quad (5)$$

Donde: PCSbs = poder calorífico superior en base seca y MO = porcentaje de materia orgánica.

$$PCS_{bh} = \frac{(MO + madera + paper + textiles + ordinarios - 11.27)\% * 4000}{100} + \frac{plástico + caucho + cuero)\% * 9000}{100} \quad (6)$$

Dónde: PCSbh = poder calorífico superior en base húmeda, MO = porcentaje de materia orgánica, porcentaje de humedad promedio = 66.08 % =H

La Ec. 7 muestra los cálculos del poder calorífico inferior (PCI) de un residuo, el cual es el calor de la combustión que no aprovecha la energía de condensación del agua.

$$PCI = PCS_{bh} - 6 * H \quad (7)$$

Resultados y discusión

Según datos del 2015 de la oficina de Planeación Municipal del municipio de Bello, la Comuna 2 cuenta con un total de 48 925 habitantes y una densidad poblacional de 4.5 habitantes por vivienda, asentadas en un total de 11 094 viviendas. Según las cifras del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de este municipio, se originaron aproximadamente 3363.95 Ton/mes en la zona urbana, y en el contexto específico de esta comuna 18.10 Ton/día, que fueron transportados para su disposición final sin ninguna caracterización o valoración en el relleno sanitario La Pradera.

Para la caracterización de los residuos sólidos generados en la Comuna 2 del municipio de Bello, se tomó una muestra representativa de las viviendas con la Ec. 1, para un total de 50 viviendas. Para esta muestra, solo el 26 % efectúa separación en la fuente y el 74 % restante no la realiza, pero conocen sobre separación de residuos y han sido capacitados con anterioridad. Se pesaron los residuos generados en cada vivienda y por medio de la Ec. 2 se determinó el peso total de

la muestra, que fue de 181.33 kg. Además, con la Ec. 3 se determinó el porcentaje de cada residuo generado en esta.

La PPC de residuos sólidos se determinó con el peso total de la muestra, el tiempo de almacenamiento de los residuos sólidos y la población que lo generó (Ec. 4). Se encontró que el PPC de la Comuna 2 del municipio de Bello fue de 0.49 Kg/hab-día. Este valor se ajusta al promedio encontrado de PPC para el sector residencial del Área Metropolitana, según lo establecido en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá (2006), el cual corresponde a 0.45 Kg/hab-día. Además, este valor está por debajo de la media nacional, según el Boletín número 6 de la Red de Ciudades Cómo Vamos (2013), donde estima la PPC de Colombia en 0.84 Kg/hab-día. Según este boletín, Barranquilla es la ciudad que más basura genera por persona, con 1.2 Kg/hab-día, y Medellín la que menos lo hace con 0.57 Kg/hab-día.

La cantidad de residuos generados en la Comuna 2 se calculó por medio de la PPC y la población (48 925 habitantes), la cual fue de 24.2 Ton/día.

Los residuos sólidos que se generan en los diferentes barrios de la Comuna 2 son producidos en las dinámicas domésticas y comerciales. La composición de los residuos sólidos de esta comuna está representada en su mayoría por

residuos ordinarios, con un 46.7%, seguido por los residuos orgánicos con el 32.3 % y, por último, los residuos recuperables con un 21.0 %. Los residuos ordinarios, a su vez, están compuestos por material de barrido, plástico de alta densidad, plástico de baja densidad, papel aluminizado, papel higiénico, Tetrapack y poliestileno. Estos residuos con un adecuado ejercicio de separación desde la fuente son susceptibles de valorización económica

y aprovechamiento, con lo que se obtiene una disminución significativa en la disposición final.

La Tabla 1 muestra los porcentajes de residuos recuperables que se encuentran dentro de los ordinarios y recuperables, que suman en total de 39.2 kg, lo cual representa el 21.0 % del total de la muestra

Tabla 1. Porcentaje de material reciclable residenciales de la muestra de la Comuna 2

Residuo	Cantidad (kg)	Porcentaje (%)
Papel	9.24	23.6
Cartón	3.65	9.3
Metales	6.6	16.8
PET	11.84	30.2
Vidrio	7.90	20.1

Fuente: Elaboración propia.

Valorización económica de los residuos sólidos.

Al tomar el porcentaje de residuos reciclables generados, magnificarlos con la cantidad que se genera por día y valorizarlos económicamente con los valores de comercialización (Tabla 2), se puede determinar que la Comuna 2 del municipio de Bello

está depositando en el relleno sanitario La Pradera un valor de \$ 534 675 977/año. Dicho valor se puede aumentar si se realiza una transformación de los materiales, lo cual aumentaría significativamente sus valores.

Tabla 2. Valoración económica de residuos reciclables residenciales de la Comuna 2

Residuo	Precio (\$) para el año 2017	Cantidad (kg/día)	Valor total (\$/día)	Valor total (\$/año)
Metales	350	853.5	298 739	109 040 479
Cartón	120	472.04	56 644	20 675 208
Vidrio	110	1021.7	112 387	41 019 990
Papel	450	1194.9	537 705	196 272 862
PET	300	1531.2	459 360	167 667 438
Total anual				534 675 977

Fuente: Elaboración propia.

Valorización energética de los residuos sólidos.

Romero (2015) determina la incineración como uno de los procesos térmicos que puede aplicarse en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos, para disminuir su cantidad y aprovechar la energía que contienen. La metodología del CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) establece que cuando el PCI de los residuos se encuentra por encima de 1500 kcal/kg, estos se pueden incinerar, sin necesidad de implementar combustible auxiliar. Si el PCI de los residuos sólidos está en el rango de 1000 a 1500 kcal/kg, se considera viable la incineración, con un pretratamiento para bajar los niveles de humedad, lo que implica un gasto de combustible extra. Por otra parte, si el valor del PCI es inferior a 1000 kcal/kg no es viable su incineración.

La Tabla 3 muestra la valoración energética de los residuos sólidos generados en la Comuna 2 del

municipio de Bello, con las Ec. 5, 6 y 7. Según el resultado calculado de PCI para los residuos de esta comuna, y tomando como referencia el estudio de caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial del municipio de Medellín y sus corregimientos (2014), el valor PCI de los residuos de la Comuna 2 es de 3 444.1 kcal/kg, que se encuentra por encima de 1000 kcal/kg. Por lo tanto, es viable técnicamente la implementación de un tratamiento térmico de los residuos sólidos.

Si se efectuara una separación en la fuente de la materia orgánica y se aprovecharan por medio de gasificación y metanización se obtendría una mayor eficiencia energética y calorífica. Esto, por la generación de metano de los orgánicos, como un aumento significativo en el PCI dado que no se tendrían pérdidas caloríficas y se eliminaría la humedad de los orgánicos.

Tabla 3. Valoración Energética de los residuos sólidos

Residuo	Promedio (Kg)	Energía (Kcal/Kg)	PCSbs (Kcal/Kg)	PCSbh (Kcal/Kg)	PCIbh (Kcal/Kg)
Materia orgánica	32.77	2200	720.9	424.1	4.1
Residuos de alimentos	32.07	-	0	0	-
Residuos de jardín y poda	0.4	-	0	0	-
Madera	0.3	-	0	0	-
Papel	4.95	4000	198	157.5	121.5
Cartón	1.96	4000	78.4	62.4	32.4
Plástico	18.31	9000	1647.9	1310.5	1310.5
PET (1)	6.34	9000	570.6	559.4	547.4
PEAD (2)	3.67	9000	330.3	323.8	311.8
PVC (3)	0.93	9000	83.7	82.1	70.1
PEBD (4)	4.52	9000	406.8	398.8	386.8
PP (5)	1.13	9000	101.7	99.7	87.7
PS (6)	0.8	9000	72	70.6	58.6
Otros plásticos (7)	0.92	9000	82.8	8118	69.2
Vidrio	4.23	9	0.3807	0.3	0.3

Residuo	Promedio (Kg)	Energía (Kcal/Kg)	PCSbs (Kcal/Kg)	PCSbh (Kcal/Kg)	PClhb (Kcal/Kg)
Metales	3.54	0	0	0	0
Tetrapack	0.7	0	0	0	0
Textiles	2.62	4000	104.8	83.3	23.3
Electrónicos	0.75	-	0	0	0
Ordinarios e inertes	30.13	-	0	0	0
Papel higiénico, toallas higiénicas, pañales, servilletas, cartón no reciclable, etc.	13.73	4000	549.2	436.74	282.2
Papel no reciclable	0.36	4000	14.4	11.45	0
Plástico aluminizado	1.31	9000	117.9	93.76	81.76
Poliestileno	0.79	9000	71.1	56.54	56.54
Barrido	13.94	0	0	0	0
Peligrosos	0.16	0	-	0	0
Porcentaje de la muestra	100.0	-	-	0	0
PI para incinerar los residuos sin combustible auxiliar - cuando menos 1+C14.000 KCal/Kg PI para recuperar energía - cuando menos 1500 kcal/kg. (CEPIS)			5150.9	4252.1	3444.1

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La Comuna 2 del municipio de Bello tiene un PPC de 0.494 Kg/hab-día, con una producción de 5073.34 Ton/día, para una población de 48 925 habitantes. La composición de los residuos sólidos en esta comuna se compone de residuos ordinarios o comunes (46.7 %), residuos orgánicos (32.3 %) y residuos reciclables (21.0 %). Al valorizar económicamente estos residuos dan un valor de \$ 534 675 977/año. Los resultados muestran que el valor PCI de los residuos de la Comuna 2 se encuentra por encima de 1000 kcal/kg. Por lo tanto, presentan una valoración económica y tienen un valor energético, que puede generar una unidad de negocios.

Referencias

- Asamblea Departamental de Antioquia. (2016). "Basura Cero" en el Departamento de Antioquia. Ordenanza 10.
- Corantioquia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2004). Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá. Convenio N° 325 de 2004. Medellín, pp. 11-12.
- Flores, J. L. (2009). Municipalidad Distrital de Las Lomas, Proyecto L1c2-120Fpa: "Implementación del sistema de manejo integral de residuos sólidos urbanos en el distrito de Las Lomas". Estudio de caracterización de los residuos sólidos. Las Lomas, Piura.
- Lopes, E.J., Queiroz, N., Yamamoto, C.I., da Costa Neto, P.R. (2017). Evaluating the emissions from the gasification processing of municipal solid waste followed by combustion. *Waste Manag.* 73, 504–510.
- Miezah, K., Obiri-Danso, K., Kádár, Z., Fei-Baffoe, B., Mensah, M.Y. (2015). Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana. *Waste Manag.* <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.009>
- Universidad de Medellín. (2014). Estudio de caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial del Municipio de Medellín y sus corregimientos. Convenio de Asociación No. 46000056407 de 2014, Alcaldía de Medellín. Medellín, Colombia.
- Ramachandra, T.V., Bharath, H.A., Kulkarni, G., Han, S.S. (2018). Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82, 1122–1136.
- RAS - Resolución 0330 de 2017.
- Romero S. A. (2015). Incineración de Residuos Sólidos Urbanos. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.