

FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE NEGOCIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE CURITÍ, SANTANDER

Ángel Miguel Triana Sánchez¹ *Abogado*

ISSN: 2590-6704

RESUMEN

El presente documento, consta de una revisión de literatura, entorno a la temática de aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos en el municipio de Curití-Santander, en este se presenta un análisis general de problemática a nivel ambiental ocasionada por estos, así como también se plantean algunas estrategias de negocio que permiten mitigar el impacto ambiental generado por el inadecuado manejo y gestión de los residuos sólidos, las cuales se enfocan principalmente en incorporar un modelo económico de producción circular, en cual se realice un uso más eficiente y sostenible a los recursos, mediante la aplicación de conceptos como el reciclaje de nutrientes y la reincorporación de materias recicladas de nuevo al ciclo productivo. Los resultados del análisis sugieren que en términos económicos y ambientales el compostaje y el reciclaje de materiales, se constituyen como las técnicas cuyo tratamiento no requiere de grandes inversiones y podrían generar para el municipio ingresos superiores a 1200 millones anuales para el caso de la fabricación de abono orgánico y con la venta de residuos reciclados, se tendría una valorización anual de los residuos sólidos aprovechables correspondiente a 350 millones.

Palabras Clave: *Aprovechamiento, Disposición Final, Gestión Integral de Residuos Sólidos, Reciclaje, Valorización.*

ABSTRACT

This document consists of a literature review, around the issue of use and recovery of solid waste in the municipality of Curití-Santander, in this a general analysis of environmental problems caused by these is presented, as well as Some business strategies are proposed that allow mitigating the environmental impact generated by the inadequate handling and management of solid waste, which are mainly focused on incorporating an economic model of circular production, in which a more efficient and sustainable use is made of the resources, through the application of concepts such as the recycling of nutrients and the reincorporation of recycled materials back into the production cycle. The results of the analysis suggest that, in economic and environmental terms, composting and recycling of materials constitute techniques whose treatment does not require large investments and could generate income of more than 1200 million per year for the municipality in the case of the manufacture of organic fertilizer and with the sale of recycled waste, there would be an annual recovery of usable solid waste corresponding to 350 million.

Keywords: *Utilization, Final Disposal, Solid Waste Management, Recycling, Recovery.*

1. INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población, el consumismo y la industrialización, ha provocado un incremento en la generación desmesurada de residuos sólidos (Kundariya, y otros, 2021), los cuales, han ocasionado impactos significativos en el medio ambiente, como la emisión de gases de efecto invernadero, provenientes de la descomposición de materiales de carácter orgánico, presentes en grandes depósitos denominados rellenos sanitarios (Kollikkathara, Feng, & Stern, 2009), en donde se producen lixiviados que contaminan el suelo y las fuentes hídricas. (Giraldo, 2001). En el caso de Colombia, la generación de residuos sólidos provenientes de los 1101 municipios para el año 2019 ascendió a 12 millones de toneladas anuales, de las cuales sólo el 16,5% fueron aprovechadas, gracias a procesos como el reciclaje (Superintendencia de Servicios Públicos, 2021). Por su parte, en el municipio de Curití la problemática asociada a los residuos sólidos, se relaciona con la ausencia de conciencia y cultura ciudadana sobre el adecuado manejo de los mismos, lo que conlleva a reducir el potencial de aprovechamiento y valorización de los residuos, puesto que la segregación en la fuente es deficiente (Quiroga, Cárdenas, & Bautista, 2013); por tal motivo, el presente documento tiene como finalidad formular estrategias de negocio para el aprovechamiento de los residuos sólidos generados a nivel municipal, principalmente aquellos residuos de baja capacidad de biodegradación (polietileno y plástico) y que aportan mayor peso volumen (residuos orgánicos y papel) (Collins O. Ugwu, 2021), de tal forma que se garantice un uso eficiente de los recursos, se minimice el consumo energético, se aumente la vida útil de los rellenos sanitarios; y que a nivel social y económico permitan la generación de empleos y productos de valor agregado.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Contexto general de los residuos sólidos

A nivel ambiental, el aumento en la generación de residuos sólidos, se constituye como uno de los problemas que las entidades territoriales, deben discutir, analizar y proporcionar alternativas de solución para minimizar los impactos ocasionados al medio ambiente (Zhigue Luna, Alaña Castillo, & Sanmartín Ramón, 2017), especialmente contrarrestar la contaminación y el cambio climático; mediante la adopción de procesos enfocados principalmente en la educación ambiental, puesto que es el elemento diferenciador del cual depende, la efectividad de la gestión integral de residuos sólidos y determina la posibilidad de aprovechamiento de los mismos (Hasan, 2004); además de implementar procesos como la transformación de los residuos sólidos, la recuperación de materias primas, el reciclaje de recursos para que retornen a su uso original y el reciclaje de nutrientes, mediante el compostaje de los residuos orgánicos (Hill, 2006); es decir propender que los residuos tengan un ciclo cerrado de menor impacto. En contraste con lo anterior, existen aspectos relacionados con la disponibilidad de recursos que afectan de manera directa la implementación de estrategias de aprovechamiento de los residuos sólidos; los cuales, han sido identificados a nivel mundial, tanto en países desarrollados como en los que se encuentran en vía de desarrollo, entre los cuales se destacan el inadecuado servicio de recolección, falta de infraestructura y financiamiento, ésta carencia de recursos dificulta la implementación de tecnologías que mejoren la eficiencia de la SWM (Solid Waste Management- Gestión de residuos sólidos), la disposición final y el manejo de los RS (residuos sólidos) (Vergara & Tchobanoglous, 2012).

En Colombia, “el modelo de gestión de los residuos sólidos, se enfoca en un modelo económico de producción lineal”, en el cual el consumidor, es el que determina la disposición final de los productos una vez han cumplido con su utilidad, generando pérdidas y mayor consumo de recursos, situación que es insostenible ante el crecimiento demográfico, lo que ocasiona la escasez de materias primas” (Consejo Nacional de Política Económica y Social, Documento Conpes 3874 Política Nacional Para Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016) y cada vez se hace más difícil encontrar un sitio para la disposición de los RS, problema presentado a nivel mundial (Showket Mir, Singh Cheema, & Singh, 2021); por lo tanto, es indispensable adoptar un modelo en el que los materiales puedan incorporarse sistemáticamente y de tal forma garantizar un uso más eficiente de los recursos.

2.2 Normatividad asociada a los residuos sólidos

En la tabla 1, se relaciona la normatividad asociada a la temática correspondiente a residuos sólidos en Colombia, la cual se enfoca principalmente en el aprovechamiento y tratamiento de los residuos sólidos, así como su también de su gestión.

Tabla 1. Normatividad asociada a los residuos sólidos

| Norma | Descripción |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 1345 de 2021 | “Por el cual, se adiciona un artículo y se modifica el artículo 2.3.2.5.3.1. de la Sección 3, del Capítulo 5, del Título 2, de la Parte 3, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se |

| Norma | Descripción |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | dictan otras disposiciones”. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1345 de 2021, 2021) |
| Resolución 176 de 2020 | “Por la cual, se reglamenta el Capítulo 7, del Título 2, de la Parte 3, del Libro 2, del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, en lo relacionado con los criterios de elegibilidad y demás aspectos de los proyectos que pretendan acceder a los recursos del Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos”. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Resolución 176 de 2020, 2020) |
| Resolución 938 de 2019 | “Por la cual, se reglamenta el Decreto 1784 del 2 de noviembre de 2017 en lo relativo a las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 2412 de 2018, 2018) |
| Decreto 2412 de 2018 | “Por el cual se adiciona el capítulo 7, al título 2 de la parte 3, del libro 2, del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 88 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente al incentivo al aprovechamiento de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 2412 de 2018, 2018). |

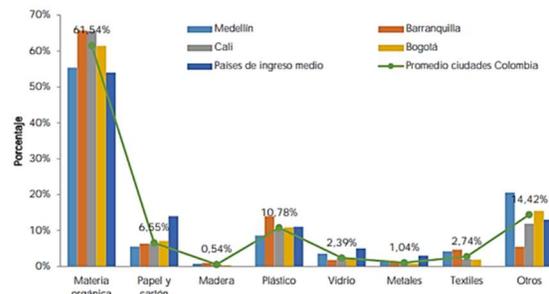
| Norma | Descripción |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conpes 3874 del 2016 | “Establece la Política Nacional Para Gestión Integral de Residuos Sólidos”. (Consejo Nacional de Política Económica y Social, Documento Conpes Económico 3874, 2021) |
| Resolución 668 de 2016 | “Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Uso racional de bolsas plásticas, 2020). |
| Decreto 920 de 2013 | “Por el cual, se reglamenta el artículo 251 de la Ley 1450 de 2011 en relación con el incentivo a los municipios donde se ubiquen rellenos sanitarios y estaciones de transferencia regionales para residuos sólidos.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 920 de 2013, 2013). |
| Resolución 754 de 2014 | “Por la cual, se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 754 de 2014, 2014) |
| Decreto 2981 de 2013 | “Se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 2981 de 2013, 2013) |
| Guía Técnica Colombia 24 del 2009 | “Residuos Sólidos: Guía para la separación en la fuente.” (ICONTEC, 2009) |

Fuente: Elaboración propia

2.3 Contexto general de los residuos sólidos en Colombia

La generación anual de residuos sólidos en Colombia, es de aproximadamente 12 millones de toneladas, de los cuales el 83% de los residuos no son aprovechados y van directamente a el relleno sanitario y el 17% restante “es recuperado por los recicladores para la reintroducción al ciclo productivo” (Departamento Nacional de Planeación & Banco Mundial, 2015). Además, los residuos producidos a nivel nacional, corresponden en orden descendente en un 61,5 % a residuos orgánicos, 10,8% a plásticos, 6,5% a papel y cartón; 2.7% a textiles, 2,4% a vidrio, 1% a metales, 0,5% a madera; como se muestra en la figura 2, indicando que el 85.4 % de los residuos generados en el país se clasifican como aprovechables según la GTC 24 (Guía Técnica Colombiana) y pueden reincorporarse al ciclo productivo, permitiendo ahorrar energía y materias primas.

Figura 1. Caracterización de residuos sólidos en algunas ciudades de Colombia.



Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015) Tomado de (Consejo Nacional de Política Económica y Social, Documento Conpes 3874 Política Nacional Para Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016).

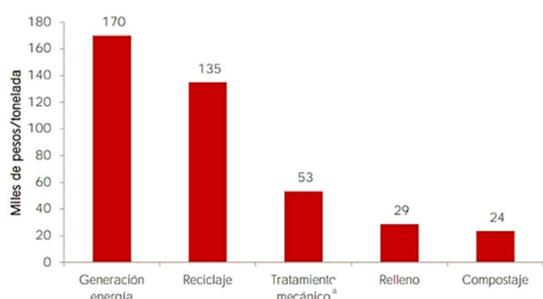
En relación, al aprovechamiento de los residuos sólidos actualmente existen diferentes técnicas de tratamiento o manejo, las cuales, son ampliamente utilizadas entre las que se destacan, la generación de energía, el reciclaje, la disposición en vertederos y el

Especialización: Gestión Ambiental

Formulación de estrategias de negocio para el aprovechamiento de residuos sólidos en el municipio de Curití, Santander

compostaje; aunque éstas representan una alternativa de solución para el manejo de los RS, implican altos costos para su implementación y funcionamiento, siendo la generación de energía y el compostaje las técnicas de mayor y menor costo respectivamente (ver figura 2) ; por lo tanto, en este sentido es importante resaltar que aunque la tasa de rentabilidad de las técnicas es baja, los beneficios ambientales son significativos, ya que permiten hacer un uso más eficiente de los recursos y principalmente fomentan el modelo económico circular, es decir el residuo retorne al productor original.

Figura 2. Costo Neto por tonelada de diferentes técnicas para instalaciones con capacidad para 30.000 toneladas mensuales.



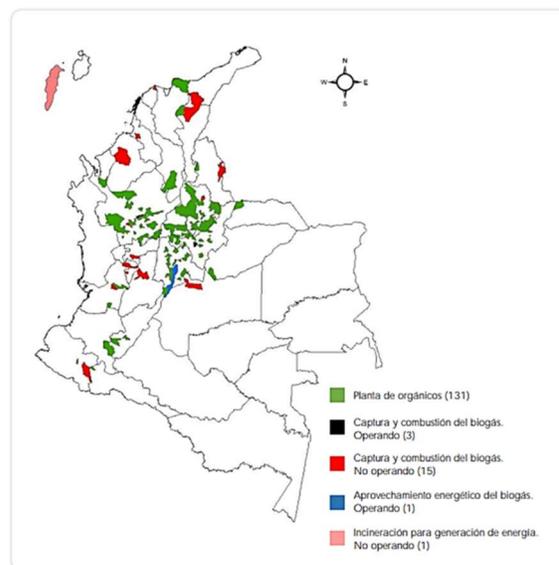
Fuente: DNP, con base en estudio realizado para Colombia sobre técnicas alternativas de tratamiento disposición final o aprovechamiento de residuos sólidos (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2015).
 Nota: ^a el tratamiento mecánico incluye la estabilización de la fracción orgánica previo a su disposición final (compostaje al aire libre).

Fuente: (Consejo Nacional de Política Económica y Social, Documento Conpes 3874 Política Nacional Para Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016).

De acuerdo a lo anterior, existe una cuantificación y especialización de la infraestructura para el aprovechamiento de los residuos sólidos, según la figura 3, 131 instalaciones son plantas de transformación de residuos orgánicos, las cuales se encuentran concentradas en los departamentos de Santander, Cundinamarca y Antioquía, reflejando que en éstos territorios, llevan a cabo un manejo más adecuado de los residuos sólidos; 3 corresponden a plantas de captura y combustión de biogás y 1 se enfoca en el aprovechamiento energético del biogás. Además, en la figura 3, se observa un alto potencial de aprovechamiento de residuos

orgánicos en el departamento de Santander, indicando que ésta técnica es cada vez más utilizada gracias a su bajo costo y su rentabilidad, además muestra un fuerte compromiso de los entes territoriales con el manejo adecuado de los residuos sólidos y con el medio ambiente.

Figura 3. Infraestructura de tratamiento y aprovechamiento de residuos en el país.



Fuente: DNP con base en información del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Tomado de (Consejo Nacional de Política Económica y Social, Documento Conpes 3874 Política Nacional Para Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016).

2.4 Características de los residuos sólidos urbanos con potencial de aprovechamiento.

A nivel mundial, estudios indican que las fracciones combustibles o con potencial de aprovechamiento, en relación a los residuos sólidos urbanos, se dividen principalmente en 6 categorías, las cuales corresponden a residuos orgánicos, residuos de madera, plástico, papel, textiles y caucho (Zhou, Meng, Long, Li, & Zhang, 2014), cada uno de estos contiene un poder calorífico, el cual se muestra

a continuación, en la tabla 2, para cada uno de los residuos.

Tabla 2. Poder Calorífico de los residuos sólidos urbanos.

| Grupo | Subgrupo | Poder Calorífico HHV (KJ/Kg) |
|--------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Residuos orgánicos | Vegetales | 16818 |
| | Cáscara de fruta | 18065 |
| | Hueso | 15701 |
| | Comida con almidón | 18033 |
| Residuos de madera | Madera | 19614 |
| | Hojas | 19163 |
| | Malas hierbas | 20055 |
| Papel | Papel de impresión | 15065 |
| | Cartón | 16703 |
| | Papel higiénico | 17053 |
| Textiles | Algodón | 17083 |
| | Lana | 22276 |
| | Fibras químicas | 23667 |
| Plásticos | Polietileno (PE) | 42845 |
| | Polipropileno (PP) | 46004 |
| | Poliestireno (PS) | 39523 |
| | Policloruro de vinilo (PVC) | 20848 |
| Plásticos | Tereftalato de polietileno (PET) | 23090 |
| Caucho | N/A | 31989 |

Fuente: Elaboración propia, información según (Zhou, Meng, Long, Li, & Zhang, 2014)

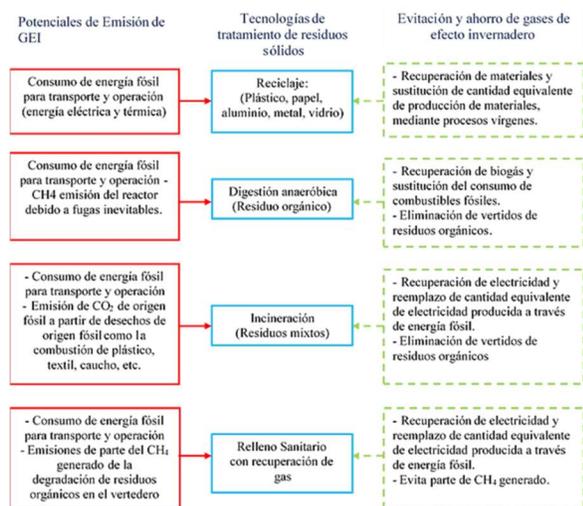
Según la tabla 2, los residuos con mayor poder calorífico son en orden descendente plásticos, en especial polietileno, polipropileno,

poliestireno y el caucho; por su parte residuos como el papel y los orgánicos representan los valores más bajos de poder calorífico, indicando que los primeros poseen un amplio potencial para la generación de energía, mediante su combustión directa, es decir, el vapor generado de ésta combustión impulsa una turbina y un generador de energía (Ozge Kaplan, Decarolis, & Thorneloes, 2009); mientras los residuos orgánicos y el papel pueden ser reciclados mediante el compostaje.

2.5 Manejo y tratamiento de los residuos sólidos urbanos

Aunque los residuos sólidos, han sido considerados como un problema debido a su compleja composición, existen diferentes métodos que permiten recuperarlos, transformar los materiales y ahorrar materia prima, éstos métodos abarcan tratamientos sencillos como el compostaje hasta procesos complejos como la generación de energía, biogás y la fabricación de nanopartículas de carbono (UNCOS, 2014); éste último se puede obtener a partir de la disociación de CO₂ críticamente opalescente, la materia prima en este caso se obtendría de la combustión de los RSU (residuos sólidos urbanos) y de procesos de digestión anaerobia de los RS orgánicos. La generación de 1 m³ biogás, a partir de la digestión anaerobia de residuos orgánicos, es equivalente en términos de energéticos a “0,7 litros de gasolina o 2,4 kW-hora de electricidad o 0,6 m³ de gas natural o 1,3 kg de madera” (Ponce, 2016), y se puede generar con 8,03 Kg de residuos orgánicos (Ocampo, 2018). Estas tecnologías, representan un ahorro de emisiones de GEI (gases de efecto invernadero), en la figura 4 se muestran, algunas tecnologías de tratamiento de residuos sólidos su aporte al medio ambiente.

Figura 1. El potencial de las emisiones de GEI y el ahorro de GEI de diferentes tipos de tecnologías de tratamiento en perspectiva del ciclo de vida.



Fuente: Adaptado de (Sang-Arun & Menikpura, 2013).

2.6 Proyección de la población para el municipio de Curití.

En la tabla 3, se muestra la proyección de la población realizada para un periodo de 35 años, en base a ésta información, se realizan las proyecciones de generación de residuos sólidos y la cuantificación económica de su aprovechamiento.

Tabla 3. Proyección de la población Curití

| Año | Población hab | Año | Población hab | Año | Población hab |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 2013 | 11804 | 2028 | 15426 | 2043 | 20159 |
| 2014 | 12016 | 2029 | 15703 | 2044 | 20522 |
| 2015 | 12233 | 2030 | 15986 | 2045 | 20891 |
| 2016 | 12453 | 2031 | 16274 | 2046 | 21267 |
| 2017 | 12677 | 2032 | 16567 | 2047 | 21650 |
| 2018 | 12905 | 2033 | 16865 | 2048 | 22039 |
| 2019 | 13138 | 2034 | 17169 | | |
| 2020 | 13374 | 2035 | 17478 | | |
| 2021 | 13615 | 2036 | 17792 | | |
| 2022 | 13860 | 2037 | 18112 | | |
| 2023 | 14109 | 2038 | 18438 | | |
| 2024 | 14363 | 2039 | 18770 | | |
| 2025 | 14622 | 2040 | 19108 | | |
| 2026 | 14885 | 2041 | 19452 | | |
| 2027 | 15153 | 2042 | 19802 | | |

Fuente: PGIRS Curití.

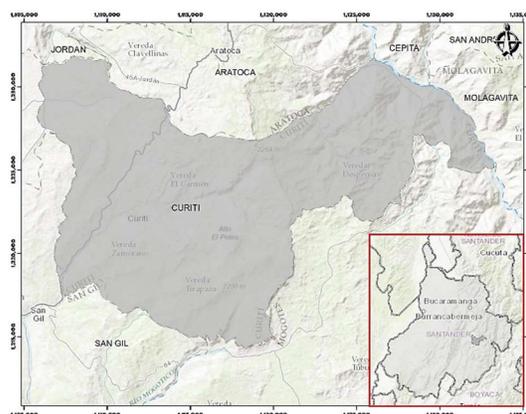
El municipio cuenta con una población según el último censo del DANE (2018) de 11653 habitantes, de los cuales 2100 corresponden a usuarios suscritos al servicio de aseo para el área urbana.

3. METODOLOGÍA

3.1 Localización

El estudio se realizó para el municipio de Curití, el cual se encuentra localizado al Centro Oriente del Departamento, el actual casco urbano tiene una extensión de 42,94 hectáreas y está constituido por 10 barrios; el área rural es de 247.000 hectáreas y lo conforman 39 veredas. Limita por el norte con Molagavita, Cepita, Aratocha y Jordán; por el sur con Mogotes y San Gil; por el oriente con Mogotes y por el occidente con Villanueva, como se muestra en la figura 5.

Figure 5. Localización del municipio de Curití.



Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, Curití.

3.2 Diagnóstico del manejo de los residuos sólidos en el municipio

El diagnóstico del manejo de los residuos sólidos en el municipio de Curití, se realizó a partir de información secundaria, contenida en el Plan de Gestión Integral de residuos sólidos del municipio (2013) e información de la alcaldía, además se recopiló información acerca de la generación de residuos orgánicos, tomando como muestra 34 viviendas; también se llevó a cabo una inspección durante una jornada de recolección de reciclaje, con el fin de determinar si existe separación en la fuente por parte de los usuarios y se cuantificó de manera general los tipos de residuos

aprovechables generados en las viviendas mencionadas.

Recopilación de información.

La información recopilada para la elaboración del presente documento fue extraída de artículos científicos, documentos de la alcaldía como el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos y el Esquema de Ordenamiento territorial del municipio, además se consultaron bases de datos de información científica como Jstor, Ambientalex, ScienceDirect, Wiley y PNAS. La información correspondiente a la caracterización actual de los residuos sólidos proviene de datos tomados en campo, es decir, de una fuente primaria.

4. RESULTADOS

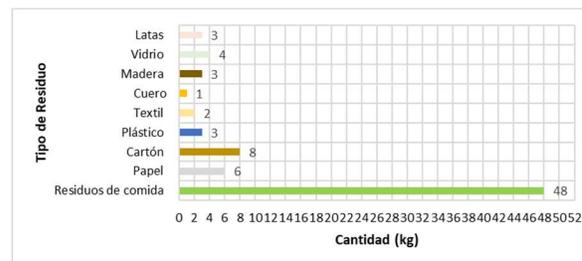
A continuación, se muestran los resultados del estudio, los cuales se encuentran contemplados de acuerdo a los objetivos planteados.

4.1 Diagnóstico del manejo de los residuos sólidos en el municipio.

El municipio de Curití cuenta con un Plan de Gestión integral de Residuos Sólidos, elaborado para el año 2013, en este se presenta un análisis parcial de los residuos generados, su manejo y una caracterización de los residuos, esta información se comparó con una caracterización actual.

Para el año 2013, según la caracterización realizada, el 66% de los residuos corresponden a material de carácter orgánico y el 34% a residuos reciclables, principalmente cartón, papel, vidrio y plástico como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Caracterización de los residuos sólidos para el año 2013.



Fuente: Elaboración propia, información tomada del PGIRS- Curití- 2013.

Es importante señalar que en la caracterización que establece el PGIRS, no se menciona y se especifica la muestra realizada, es decir, no se estipula el número de viviendas, el número de habitantes por vivienda, área (urbana o rural) y el tiempo de generación (días, semanas o meses); lo cual, indica una deficiencia de información.

Respecto al manejo de los residuos, se menciona que son procesados en la Planta de recuperación Ecosangil, la cual para el año 2013 aprovechó 30 toneladas/mensuales de residuos orgánicos (mediante el compostaje) y 24 ton/mes de residuos reciclables (los cuales fueron separados, clasificados y se reincorporaron al ciclo productivo); por lo tanto, existe la infraestructura necesaria para darle un tratamiento adecuado a los residuos generados en el municipio.

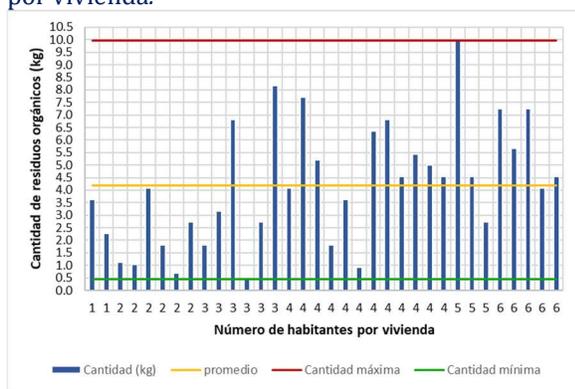
4.1.2 Cuantificación actual de los residuos sólidos orgánicos y aprovechables

La información presentada en las figuras 7 y 8, corresponde a los residuos sólidos generados en dos días para 34 viviendas del municipio, ubicadas en el área urbana.

En la figura 7, se relaciona la cantidad de residuos orgánicos generados, en función del número de habitantes por vivienda, en la cual se tiene un promedio de generación de

residuos orgánicos de 4.2 kg, equivalentes a una producción per cápita de 0.57 kg/hab-día; una generación máxima de 10kg y una mínima de 0.5 kg. Además, se evidencia que el 47% de las viviendas tienen valores superiores a la media (> 4.2 kg). Por lo tanto, teniendo en cuenta la población (11653) y la producción per cápita (0.57 kg/hab-día), se tiene una generación de 6642.2 kg/día de residuos orgánicos.

Figura 7. Cantidad de residuos orgánicos generados, en función del número de habitantes por vivienda.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8 y tabla 4, se presenta la cuantificación y clasificación de los residuos aprovechables, en donde se puede observar que el 66% de los RS aprovechables corresponden a plástico (principalmente PET) y cartón, además se tiene una producción per cápita de RS aprovechables de 0.21 kg/hab-día, equivalentes a una generación total de 2447.1 kg/día.

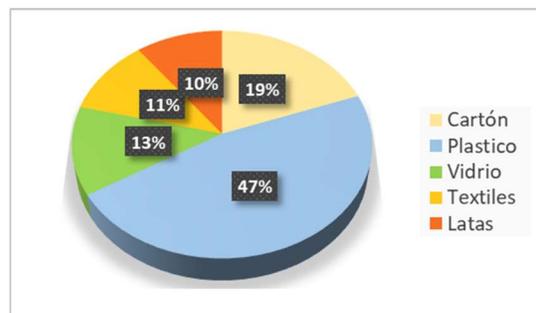
Figura 8. Tipos y porcentaje de RS aprovechables

| Tipo de residuo | Cantidad (Kg) | Porcentaje (%) |
|-----------------|---------------|----------------|
| Cartón | 10.2 | 19% |
| Plástico | 24.7 | 47% |
| Vidrio | 6.6 | 13% |
| Textiles | 5.7 | 11% |
| Latas | 5.4 | 10% |
| Total | 52.6 | 100% |
| PPC | 0.21 | |

Fuente: Elaboración propia, a partir de

información primaria.

Figura 8. Tipos y porcentaje de RS aprovechables



Fuente: Elaboración propia.

En la caracterización de los residuos sólidos, se evidenció que la tasa de separación en la fuente en el municipio es baja, aunque existe una recolección selectiva que incluye residuos orgánicos, inertes y reciclaje. En la figura 9, se observa que los usuarios no realizan una separación selectiva, los residuos reciclables, se mezclan con residuos orgánicos e inertes principalmente con papel higiénico que contamina los demás residuos, dado que contiene material de carácter patógeno; además debido a la inadecuada separación por parte el generador, residuos como el cartón y el papel se contaminan con agua y lixiviados que impiden su aprovechamiento. Sumado a lo anterior, se evidenció que en el municipio existen recicladores no organizados que se encargan de recolectar residuos como plástico (PET), latas, papel y cartón.

Figura 9. Residuos generados en una jornada de recolección de residuos reciclables.

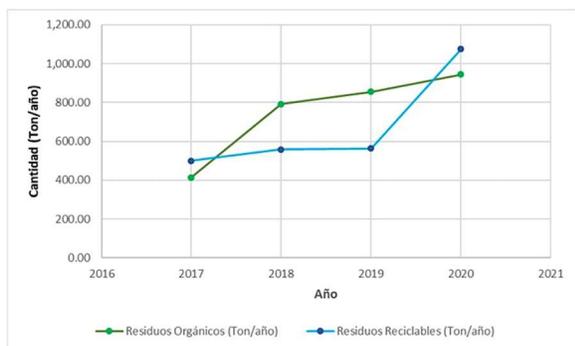


Fuente: Autor

4.1.3 Residuos sólidos generados entre el periodo del 2017 al 2020

Según la figura 10, en los últimos 4 años el municipio ha generado 3006,6 ton/año de residuos orgánicos y 2694,7 ton/año de residuos reciclables o aprovechables, además se observa que la generación de éstos ha tenido un aumento significativo para el año 2020, correspondiente a 512.1 ton/año equivalente a un 52%, por su parte, los residuos orgánicos han mantenido en crecimiento lineal para el periodo comprendido entre 2018-2020.

Figura 10. Generación de residuos en ton/año para el periodo comprendido entre 2017 al 2020.



Fuente: Elaboración propia, información según (Alcaldía Municipal Curití, 2020).

4.2 Tipificación de los precios del reciclaje en Colombia

Para cuantificar la valorización económica de los residuos aprovechables generados en el municipio, se realizó un inventario de los precios actuales de los residuos reciclados en Colombia, el cual se muestra en la tabla 5 y figura 11.

Tabla 5. Precios de los residuos aprovechables en Colombia.

| Tipo de Residuo | Características | Precio (pesos/kg) |
|-----------------|---------------------------|-------------------|
| Cartón | Suelto | 273 |
| Papel | blanco | 611 |
| Papel archivo | Mezclado, revistas | 403 |
| Tetrapack | Envases de leche, jugos.. | 181 |

| Tipo de Residuo | Características | Precio (pesos/kg) |
|-------------------|----------------------------------------------------------|-------------------|
| Vidrio | Botella entera | 60 |
| | Separado por colores y destruido | 108 |
| PET | Cristal sin beneficio y sin compactar (tapas de envases) | 726 |
| | Cristal | 893 |
| | Verde | 392 |
| | Ámbar | 221 |
| Plástico rígido | Aceite y Aseo | 346 |
| | Natural- blanco | 1000 |
| Plástico flexible | Plástico limpio de alta densidad | 862 |
| | PP- transparente | 741 |
| | plástico tipo chirrión | 90 |
| | Mezclado | 536 |
| Desechables | vasos, platos | 446 |
| Metales | Latas | 1993 |
| Total | | 9882 |

Fuente: Adoptado de (Acopásticos, 2020).

Figura 11. Gráficos de áreas para los precios del reciclaje.



Fuente: Elaboración propia, información (Acopásticos, 2020).

Según la tabla 5 y figura 11, los residuos aprovechables de mayor valorización económica corresponden en orden descendente a los residuos metálicos como latas, PET (Tereftalato de Polietileno), y plástico flexible. A partir de ésta información, se puede establecer que una generación de 18 kg de residuos aprovechables que contenga como mínimo un kg de cada uno de los residuos mencionados en la tabla 5, cuesta en el mercado \$ 9.882 COP, teniendo en cuenta

ésta relación y la cantidad de residuos generados (2694706 kg) en los años del 2017 a 2020, los residuos tendrían un valor aproximado de 1'479.393.594 COP, indicando

4.3 Valorización de los residuos sólidos, teniendo en cuenta diferentes técnicas de aprovechamiento.

A continuación, se muestran diferentes técnicas de aprovechamiento de residuos sólidos, para cada una de ellas se realizó una proyección de los residuos generados en el municipio en los próximos 10 años, teniendo en cuenta la producción per cápita de residuos orgánicos y reciclables (correspondientes a 0.57 y 0.21 kg/hab-día, respectivamente), determinada según la caracterización realizada (2021) y la proyección de la población, con la finalidad de determinar la valorización de los residuos.

Para determinar la cantidad producida en cada una de las técnicas de aprovechamiento, se tuvo en cuenta relaciones de equivalencia, las cuales se muestran a continuación:

- 1 Kg de RSO (Residuos Sólidos Orgánicos) equivale a 0.62 kg de compostaje, según (Vargas Pineda, Trujillo González, & Torres Mora, 2019)
- La digestión anaerobia de 8,03 kg de RSO produce 1m3 de biogás, según (Ocampo, 2018).

Los valores de referencia para la valorización del compostaje, kilovatio de energía y metro

Tabla 6. Proyección de valorización anual de los residuos sólidos bajo diferentes técnicas de aprovechamiento.

| Año | Población | Cantidad de residuos orgánicos (kg) | Cantidad de residuos reciclables (kg) | Cantidad de Compostaje (kg) | Valorización (\$ COP) | Energía generada por combustión (kwh) | Valorización (\$ COP) | Generación de biogás (m ³) | Valorización (\$ COP) |
|-------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|-----------------------|
| 2021 | 13615 | 2832600.8 | 1043589.8 | 1756212.47 | \$ 1,229,348,725.500 | 8617286.4 | \$ 5,331,843,444.187 | 352752.3 | \$ 45,857,795.455 |
| 2022 | 13860 | 2883573.0 | 1062369.0 | 1787815.26 | \$ 1,251,470,682.000 | 8772353.3 | \$ 5,427,789,213.106 | 359100.0 | \$ 46,683,000.000 |
| 2023 | 14190 | 2952229.5 | 1087663.5 | 1830382.29 | \$ 1,281,267,603.000 | 8981218.9 | \$ 5,557,022,289.608 | 367650.0 | \$ 47,794,500.000 |
| 2024 | 14363 | 2988222.2 | 1100924.0 | 1852697.73 | \$ 1,296,888,413.100 | 9090715.0 | \$ 5,624,771,750.926 | 372132.3 | \$ 48,377,195.455 |
| 2025 | 14622 | 3042107.1 | 1120776.3 | 1886106.4 | \$ 1,320,274,481.400 | 9254642.9 | \$ 5,726,200,135.211 | 378842.7 | \$ 49,249,554.545 |
| 2026 | 14885 | 3096824.3 | 1140935.3 | 1920031.04 | \$ 1,344,021,724.500 | 9421102.4 | \$ 5,829,194,981.030 | 385656.8 | \$ 50,135,386.364 |
| 2027 | 15153 | 3152581.7 | 1161477.5 | 1954600.62 | \$ 1,368,220,436.100 | 9590726.5 | \$ 5,934,147,903.765 | 392600.5 | \$ 51,038,059.091 |
| 2028 | 15426 | 3209379.3 | 1182402.9 | 1989815.17 | \$ 1,392,870,616.200 | 9763515.3 | \$ 6,041,058,903.417 | 399673.6 | \$ 51,957,572.727 |
| 2029 | 15703 | 3267009.2 | 1203635.0 | 2025545.67 | \$ 1,417,881,971.100 | 9938835.8 | \$ 6,149,536,364.603 | 406850.5 | \$ 52,890,559.091 |
| 2030 | 15986 | 3325887.3 | 1225326.9 | 2062050.13 | \$ 1,443,435,088.200 | 10117953.8 | \$ 6,260,363,518.088 | 414182.7 | \$ 53,843,754.545 |
| 2031 | 16274 | 3385805.7 | 1247402.1 | 2099199.53 | \$ 1,469,439,673.800 | 10300236.5 | \$ 6,373,148,748.491 | 421644.5 | \$ 54,813,790.909 |
| Total | | | | | \$ 14,815,119,414.900 | | \$ 64,255,077,252.433 | | \$ 552,641,168.182 |

Fuente: Autor

una significativa valorización, si se realiza una separación en la fuente adecuada por parte de los generadores.

cúbico de biogás fueron de \$700 pesos el kg de compostaje, \$ 628,7381 pesos kwh y \$ 130 m³ de biogás.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se muestra la Tabla 6, la cual contiene una proyección de la valorización de los residuos sólidos teniendo tres diferentes técnicas de aprovechamiento; la generación de biogás y compostaje se plantean para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, en donde la generación de compostaje, es la técnica que proporciona más ingresos anuales con un valor superior a los 1.200 millones de pesos y la técnica para el aprovechamiento del reciclaje correspondiente a la generación de energía, a partir de la combustión de los RS reciclables, representa una valorización anual superior a 5300 millones por su parte, la venta segregada de los residuos reciclables proporciona ingresos anuales de 370 millones. En relación a lo anterior, el compostaje de los residuos sólidos orgánicos y la venta del reciclaje representan las técnicas más rentables en términos económicos porque requieren de menos infraestructura e inversión, en comparación con la generación de biogás y energía.

5. CONCLUSIONES

Según la revisión bibliográfica y la información de campo recopilada, se puede establecer que para la formulación de estrategias de negocio para el aprovechamiento de los residuos sólidos en el municipio de Curití, se debe como primera medida actualizar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para tener una visión global del manejo y caracterización de los residuos sólidos generados, así como también la identificación de debilidades que impiden la correcta ejecución del PGIRS y el aprovechamiento de los residuos; en relación a este aspecto se deben plantear estrategias sociales enfocadas a la conciencia pública, ya que es el elemento fundamental que determina la eficacia de la separación en la fuente y por ende, la posibilidad de aprovechamiento de los residuos sólidos. Además, se debe identificar y organizar los recicladores, de tal forma que se beneficien en términos económicos del aprovechamiento de los residuos, es decir, que se les brinden oportunidades laborales y se incorporen al manejo de los residuos sólidos.

Se puede establecer que, en el municipio, existe la posibilidad de plantear dos estrategias de negocio para el aprovechamiento de los residuos sólidos, las cuales consisten en la transformación de los residuos orgánicos en compostaje o abono orgánico, puesto que, según las proyecciones realizadas generarían en un periodo de 10 años ingresos mayores a 14800 millones de pesos; además de un impacto positivo en el ambiente porque se reduce y ahora la emisión de gases de efecto invernadero, se reciclan nutrientes, y se disminuye la contaminación de los recursos naturales.

La segunda estrategia de negocio, se enfoca en la reincorporación de los residuos sólidos de carácter reciclable al ciclo productivo, es decir devolver al productor inicial materia prima para la fabricación de nuevos productos, permitiendo de esta manera el ahorro de

recursos naturales y energía, esta estrategia en términos económicos representaría un ingreso para un periodo de 4 años de 1400 millones de pesos.

La generación de energía, a partir de la combustión de residuos sólidos aprovechables (textiles, plástico, cuero, etc...) representa otra estrategia de negocio que generaría en 10 años ingresos por más de 64200 millones de pesos, pero ésta requiere de tecnologías avanzadas, lo que aumenta significativamente la inversión y los costos de operación.

Para lograr el aprovechamiento de los residuos sólidos es indispensable identificar los segmentos de mercado, además se debe estudiar la posibilidad de retornar todos aquellos residuos reciclables a su productor, es decir que los residuos se reincorporen al ciclo productivo, mediante la adopción del concepto de economía circular. En este caso el municipio de Curití, se deben identificar las empresas o entidades que articulen este concepto en su cadena de producción, aplicando de esta manera el concepto de desarrollo sostenible.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de Mayo de 2013). Decreto 920 de 2013. *Por el cual se reglamenta el artículo 251 de la Ley 1450 de 2011 en relación con el incentivo a los municipios donde se ubiquen rellenos sanitarios y estaciones de transferencia regionales para residuos sólidos.* Colombia : Núm. 48784.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (30 de Marzo de 2020). Resolución 176 de 2020. *Por la cual se reglamenta el Capítulo 7, del Título 2, de la Parte 3, del Libro 2, del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015.* Colombia: Núm. 51274.
- Ruiz Quiroga, L. C., Bautista, E. S., & Hernández Cárdenas, F. E. (2013). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del municipio de Curití -Santander.* Curití.

- Acopásticos . (2020). *Encuesta mensual de precios del mercado de reciclaje en Colombia*. Bogotá.
- Alcaldía Municipal Curití . (13 de Febrero de 2020). Información Solicitada por la CAS- Curití Santander . Curití, Santander , Colombia .
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Estudio tecnologías alternativas de disposición final o aprovechamiento de residuos sólidos. Propuesta de ajuste al Decreto 838 de 2005*. Bogotá.
- Collins O. Ugwu, C. G. (2021). Waste reduction and utilization strategies to improve municipal solid waste management on Nigerian campuses. *Fuel Communications, Volumen 9*, <https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2021.100025>.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2016). *Docuemnto Conpes 3874 Política Nacional Para Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Bogotá .
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (21 de Noviembre de 2021). Documento Conpes Económico 3874. *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Colombia.
- Departamento Nacional de Planeación , & Banco Mundial . (2015). *Estrategia Nacional de Infraestructura. Sector Residuos Sólidos*. Bogotá .
- Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. *Revista de Ingeniería, 14*, 44-55. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>.
- Hasan, S. E. (2004). Public Awareness Is Key to Successful Waste Management. *Journal of Environmental Science and Health, Part A, 39:2*, 483-492, DOI: 10.1081/ESE-120027539.
- Hill, J. S. (2006). What's the problem with waste? In J. Foley (Ed.), *A Zero Waste UK: institute for public policy research and green alliance (pp. 10–12)*. Institute for Public Policy Research (IPPR)., <http://www.jstor.org/stable/resrep15693>. 8.
- ICONTEC. (20 de Mayo de 2009). Gestión Ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuentes.
- Kollikkathara, N., Feng, H., & Stern, E. (2009). A purview of waste management evolution: Special emphasis on USA. *Waste management, 29(2)*, 974-985.
- Kundariya, N., Sabyasachi Mohanty, S., Varjani, S., Ngo, H., Wong, J., Taherzadeh, M., . . . Bui, X.-T. (2021). A review on integrated approaches for municipal solid waste for environmental and economical relevance: Monitoring tools, technologies, and strategic innovations. *Bioresource Technology*, Volume 342. ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125982>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (25 de Noviembre de 2014). Resolución 754 de 2014. *Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Colombia: Núm. 49352.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (27 de Enero de 2020). Uso racional de bolsas plásticas. Colombia .
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (30 de marzo de 2020). Resolución número 0176 30 de marzo del 2020. *“Por la cual se reglamenta el capítulo 7, del título 2, de la parte 3, del libro 2, del Decreto 1077 del 2015 en lo relacionado con los criterios de elegibilidad y demás aspectos de los . República de Colombia .*
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (20 de Diciembre de 2013). Decreto 2981 de 2013. *Se reglamenta la prestación del servicio público de aseo*. Colombia: Núm. 49010.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (24 de Diciembre de 2018). Decreto 2412 de 2018. *Por el cual se adiciona el capítulo 7, al título 2 de la parte 3, del libro 2, del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 88 de la Ley 1753 de 2015*. Colombia: Núm. 50817.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (19

- de Diciembre de 2019). Resolución 938 de 2019. *Por la cual se reglamenta el Decreto 1784 del 2 de noviembre de 2017 en lo relativo a las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo.* Colombia: Núm. 51185.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (25 de Octubre de 2021). Decreto 1345 de 2021. *Por el cual se adiciona un artículo y se modifica el artículo 2.3.2.5.3.1. de la Sección 3, del Capítulo 5, del Título 2, de la Parte 3, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015.* Colombia: Núm. 51838.
- Ocampo, O. H. (2018). Cálculo de producción de Biogás y Combustible - Aire a partir de residuos orgánicos de la Central de Abasto de Villavicencio. *Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio.*
- Ozge Kaplan, P., Decarolis, J., & Thorneoies, S. (2009). Is It Better To Burn or Bury Waste for Clean Electricity Generation? *Environmental Science. Technology.* 43, 6,, 1711–1717. <https://doi.org/10.1021/es802395e>.
- Ponce, E. (2016). Métodos sencillos en obtención de biogás rural y su conversión en electricidad. *IDESIA (Chile). Volumen 34.*
- Quiroga, L. C., Cárdenas, F. E., & Bautista, E. S. (2013). *lan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Curití - Santander.* Curití.
- Rachel, G., Damodaran, N., Panesar, B., Leatherwood, C., & Asnani, P. U. (2007). Methane to markets and landfill gas energy in India. *In Proceeding of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, (pp. 519–525). Chennai. .
- Sang-Arun, J., & Menikpura, N. (2013). Solid Waste Management 2: Life Cycle Assessment (LCA) Perspective. *In K. Koakutsu, K. Usui, A. Watarai, & Y. Takagi (Eds.), Measurement, Reporting and Verification (MRV) for low carbon development: Learning from experience in Asia (pp. 116-121).* Institute for Global Environmental Strategies, <http://www.jstor.com/stable/resrep00728>.23.
- Secretaría de Planeación-Curití. (2021). Curití, Santander, Colombia.
- Showket Mir, I., Singh Cheema, P. P., & Singh, S. P. (2021). Implementation analysis of solid waste management in Ludhiana city of Punjab. *Environmental Challenges, Volume 2, ISSN 2667-0100*, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100023>.
- Superintendencia de Servicios Públicos. (1 de marzo de 2021). En Colombia se recicla menos del 17% de la basura que se genera. *Día Del Reciclador Y El Reciclaje.*
- Superservicios, S. (2017). *Evaluación Integral de Prestadores Empresa de Soluciones Ambientales Para Colombia S.A E.S.P.* Bogotá: IN-F-003 V.2.
- UNCOS . (2014). Carbon nanomaterials from CO₂. *CORDIS* , <https://cordis.europa.eu/article/id/165076-carbon-nanomaterials-from-co2>.
- Vargas Pineda, O. I., Trujillo González, J. M., & Torres Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana, vol. 23, núm. 2*, 123-129.
- Vergara, S. E., & Tchobanoglous, G. (2012). Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. *Annual Review of Environment and Resources.* 37:1, 277-309. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-050511-122532>.
- Zhiguo Luna, R. A., Alaña Castillo, T. P., & Sanmartín Ramón, G. S. (2017). El reciclaje: un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista. *Universidad y Sociedad [seriada en línea], 9 (1).*, pp. 36-40. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>.
- Zhou, H., Meng, A., Long, Y., Li, Q., & Zhang, Y. (2014). Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64:5, 597-616, DOI: 10.1080/10962247.2013.873094.