

**ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DEL  
POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN SABANA  
CENTRO**

**JOHYS BUITRAGO VELANDIA**

**Ingeniera de Petróleos**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:  
Magister en Gerencia de Ingeniería**

**Directores:**

**MSc. Manuel Figueredo**

**MSc. Andres Cardona**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA  
MODALIDAD  
ÉNFASIS DEL TRABAJO**



**CHÍA, COLOMBIA**

**2021**

***Esta sección se ha dejado en blanco de manera intencional.***

## **Página de Aceptación**

## ÍNDICE

<b>GLOSARIO</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>1.OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
<b>2.MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1. <b>BIOMASA</b> .....	<b>11</b>
2.2. <b>TIPOS DE BIOMASA</b> .....	<b>11</b>
2.3. <b>PANORAMA DE LA BIOMASA EN COLOMBIA</b> .....	<b>13</b>
2.3.1. <b>SECTOR AGRÍCOLA</b> .....	<b>13</b>
2.3.2. <b>SECTOR PECUARIO</b> .....	<b>14</b>
2.3.3. <b>SECTOR DE RESIDUOS SÓLIDOS</b> .....	<b>15</b>
2.4. <b>INICIATIVA SABANA CENTRO CÓMO VAMOS</b> .....	<b>16</b>
2.5. <b>APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>18</b>
3.1. <b>BIOMASA EN EL MUNDO</b> .....	<b>18</b>
3.2. <b>BIOMASA EN COLOMBIA</b> .....	<b>21</b>
<b>4.METODOLOGÍA</b> .....	<b>26</b>
4.1. <b>IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE BIOMASA RESIDUAL</b> .....	<b>26</b>
4.1.1. <b>CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE PARA EL POTENCIAL ENERGÉTICO</b> .....	<b>26</b>
4.1.2. <b>ESTIMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS</b> .....	<b>28</b>
4.2. <b>CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO</b> .....	<b>30</b>
4.2.1. <b>BÚSQUEDA DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS</b> .....	<b>30</b>
4.2.2. <b>CÁLCULO DE PORCENTAJE DE METANO TOTAL</b> .....	<b>31</b>
4.2.3. <b>CÁLCULO DE MATERIA SECA</b> .....	<b>32</b>
4.2.4. <b>OBTENCIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES</b> .....	<b>33</b>
4.2.5. <b>PRODUCCIÓN DE BIOGÁS</b> .....	<b>33</b>
4.2.6. <b>PODER CALORÍFICO INFERIOR DEL BIOGÁS</b> .....	<b>34</b>
4.2.7. <b>CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS</b> .....	<b>34</b>
4.3. <b>PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PARA EL APROVECHAMIENTO</b> .....	<b>34</b>
4.3.1. <b>DATA RECOLECTADA DE POWER BI</b> .....	<b>34</b>
4.3.2. <b>ESTRATEGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS ESCENARIOS</b> .....	<b>35</b>
<b>5.RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
5.1. <b>IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE BIOMASA RESIDUAL</b> .....	<b>38</b>
5.2. <b>POTENCIAL ENERGÉTICO OBTENIDO DE LA BIOMASA</b> .....	<b>40</b>
5.3. <b>PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PARA EL APROVECHAMIENTO</b> .....	<b>42</b>

5.3.1. RESULTADOS RECOLECTADOS DE POWER BI.....	42
5.3.2. ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE LOS ESCENARIOS	44
5.3.3. ESCENARIOS PROPUESTOS.....	47
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>51</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

## GLOSARIO

**BIOGÁS:** Gas producido cuando se descompone la materia orgánica, en gran medida compuesto por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), estas proporciones pueden oscilar dependiendo de la composición de la materia orgánica prima.

**BIOMASA:** Es materia orgánica de origen vegetal o animal, como lo son los residuos provenientes del sector agropecuario que pueden ser aprovechados energéticamente.

**COMBUSTIÓN:** Es el proceso químico de oxidación acelerado que genera un desprendimiento energético por medio de la luz y el calor.

**CONTAMINACIÓN:** Corresponde a la alteración nociva de la naturaleza o condiciones estándar de un cuerpo o medio por acción de agentes químicos o físicos.

**EFICIENCIA:** Es la garantía de obtener los productos esperados con los recursos mínimos que garanticen una calidad.

**GASIFICACIÓN:** Proceso que emplea una tecnología termoquímica logrando que la materia orgánica sea transformada en gas combustible con un bajo poder calorífico, por medio de la acción de trenes de reacciones por presencia de aire.

**PODER CALORÍFICO:** Se refiere a la cantidad de energía generada a partir de la combustión de un material y el cual es dado por su unidad de masa.

**REACTOR:** Equipo en donde se genera una reacción química que permite obtener una conversión y selectividad adecuada para un producto en particular.

**REMEDIACIÓN:** Es el proceso por el cual se da una restauración parcial o completa de un sistema de análisis sujeto a un daño por contacto o exposición a una sustancia.

**RESIDUO:** Es la pérdida de utilidad o funcionalidad de un material después de un proceso específico. Es decir, el producto final no útil para el bien generado.

**SUELO:** Capa superficial de la corteza terrestre.

## INTRODUCCIÓN

El impulso por la generación de energía a partir de fuentes sostenibles aumenta a medida que aumenta la preocupación por la carestía de los combustibles fósiles y la protección ambiental. Es por la anterior razón, que se han estudiado e implementado a nivel global otras fuentes de energía como, por ejemplo: la energía solar, eólica, entre otras, y como es caso de estudio de este proyecto la bioenergía.

En Colombia se generan grandes cantidades de biomasa, aptas para la generación de bioenergía, por ser un país con un gran potencial agropecuario por sus condiciones óptimas para el desarrollo del sector. Se estima que en el país diariamente se generan 27500 toneladas de desperdicios sólidos de los cuales aproximadamente el 65% conciernen a residuos sólidos urbanos (Jaramillo & Zapata, 2008), este porcentaje se puede disponer para su aprovechamiento energético. A través de esta investigación se evidencia que los municipios que componen la región Sabana Centro poseen un alto potencial energético principalmente los residuos provenientes del sector pecuario, acompañado por el sector agrícola y urbano.

El presente estudio propone tres estrategias para la generación de energía proveniente de fuentes no convencionales a partir del potencial energético de la biomasa disponible en Sabana Centro, clasificándolas según su nivel de aprovechamiento en: alto, medio y bajo. Lo anterior es producto de una metodología que abarca el análisis y cuantificación de la disponibilidad de la biomasa en la región, su composición, su impacto en la huella de carbono y el cálculo de su potencial energético.

**Palabras clave:** biomasa, bioenergía, renovable, residuos, biogás, Sabana Centro.

## JUSTIFICACIÓN

Con el propósito de sumarse a la lucha mundial contra el cambio climático, el estado colombiano ha diseñado estrategias para la implementación de fuentes de energía no tradicionales y sostenibles. Bajo la ley 1715 de 2014, se busca incentivar la generación y la utilización de fuentes de carácter renovable con el fin de atender los compromisos de los diferentes tratados mundiales como: el COP21, protocolo de Kioto, entre otros y cumplir con la seguridad y el alcance de abastecimiento energético a toda la población colombiana (Moreno, 2019; Ministerio de Minas y Energía & Unidad de Planeación Minero Energética, 2014). Además de combatir el cambio climático y suplir energía a gran parte de la población por medio de las energías renovables, Colombia ve la transición energética como una oportunidad para la generación de empleo. Esta generación de empleo es necesaria en todo el proceso de implementación de las tecnologías de energía renovable y abarca: el estudio previo de factibilidad de las tecnologías, su aplicación, la creación de las diferentes infraestructuras y la puesta en marcha de la energía renovable que se opte por instalar (Banco Interamericano de Desarrollo & Gobierno de Colombia, 2021). En el año 2006 Colombia reportó un incremento en el uso de biomasa para aplicaciones energéticas, el cual correspondió al 10,39% (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011) y de los 128 proyectos existentes en materia de fuentes no convencionales de energía, aprobados por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), 4 corresponden a proyectos de biomasa (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

Por otro lado, anualmente en Colombia se derrochan 9,76 millones de toneladas de alimentos, el equivalente al 34% de la producción total. Entre los departamentos que más desperdicios generan se encuentran Cundinamarca, Boyacá y Santander con un 27%, le siguen el Caribe, Cesar, Magdalena con un 18% (Fusagasugá Noticias, 2019). Principalmente, se presentan desperdicios en las cadenas de frutas y vegetales en un 62% y de raíces y tubérculos en un 25% (FAO, 2019). Es por lo anterior que la producción de energía a partir de biomasa se puede considerar una opción para minimizar los efectos que tiene el sector agropecuario en cuanto a la producción no deseada de gases de efecto

invernadero. Aparte de que la biomasa es renovable, también, su utilización se puede considerar como un factor indispensable para mantener el equilibrio ecológico, evitar la disposición de residuos en rellenos y permitir la conservación de la diversidad biológica y el suelo (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, se busca con el presente estudio analizar el potencial energético de la biomasa residual en los municipios de la provincia Sabana Centro, los cuales son: Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Gachancipá, Nemocón, Sopo, Tabio, Tenjo, Tocancipá y Zipaquirá. Lo anterior, como una estrategia que permite la exploración de nuevas alternativas para el uso de este recurso generado en la zona, y de esta manera, contribuir a los objetivos nacionales en la depreciación de emisiones de gases de efecto invernadero al no representar un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, pues se plantea un equilibrio entre las generaciones de este compuesto en la combustión de la biomasa y la adsorbida por las plantas en el proceso de fotosíntesis (Contreras Rodríguez, 2018; Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011). También, se generaría una oportunidad de negocio que aporte a la economía del país desde la población rural, mediante el aprovechamiento de residuos de sus operaciones agropecuarias hasta el desarrollo tecnológico que puede requerir la puesta en marcha de la planta de producción.

Finalmente, por medio de este trabajo se invita a fortalecer el sector energético mediante la generación de bioenergía, pues para Colombia sería competitivo que esta tecnología tome mayor representación debido a la facilidad con la que se genera la materia prima y que no reemplaza la seguridad alimentaria tras poseer ventajas como: una energía solar constante, una temperatura apropiada y un suministro de agua considerable (COLCIENCIAS, 2018; Villada, Lopez, & Muñoz, 2017).

***La pregunta por resolver es:*** ¿Cuál es el potencial energético de la biomasa proyectado para uso como bioenergía en los municipios de Sabana Centro?

# **1. OBJETIVOS**

## **OBJETIVO GENERAL**

Estimar el potencial de la bioenergía a partir de la biomasa residual disponible en Sabana Centro.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Cuantificar y clasificar la biomasa disponible en la región Sabana Centro.
- Calcular el potencial energético de esta biomasa a partir de información secundaria.
- Proponer escenarios (bajo, medio y alto) de aprovechamiento del biogás generado a partir de la biomasa.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. BIOMASA**

Se conoce como biomasa a todo material orgánico proveniente de plantas y animales que se localiza sobre la capa terrestre de la tierra (Biosfera) y que representa en una mínima porción de la masa terrestre. También se considera biomasa a la obtenida a partir de transformaciones naturales o artificiales de la materia viva (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011).

La biomasa es una fuente de energía renovable, su crecimiento en el mercado energético cada día es mayor y es considerada como una de las fuentes de energía que más aporta en la actualidad. La biomasa posee un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Los compuestos volátiles están formados por cadenas largas del tipo  $C_nH_m$ , y presentan  $CO_2$ ,  $CO$  e  $H_2$ , estos compuestos son los encargados en concentrar gran parte del poder calorífico de la biomasa (Quintero & Torres, 2019; Hosseini, 2014; Secretaria de Energía, 2009).

Es importante tener en cuenta que en el proceso de combustión de la biomasa se ofrece un beneficio adicional frente al tema de cambio climático, debido a la neutralización de las emisiones de  $CO_2$  (Miltner, Makaruk, Harasek, & Friedl, 2006), lo que significa que no contribuye al aumento de  $CO_2$  en la atmósfera, en la medida en que se logre establecer un balance cero entre la biomasa derivada de un proceso natural y la usada en para producir energía.

### **2.2. TIPOS DE BIOMASA**

Colombia cuenta con una extensión continental de 114.174.800 hectáreas, de las cuales se estima que el 44,77% son usadas en actividades agropecuarias, una de las mayores fuentes de biomasa residual, por lo tanto, se espera que la disponibilidad de la biomasa para la actividad sugerida sea alta (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016). El incremento del consumo de biomasa para el año 2006 fue de 2,38% (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011), lo que indica que en algunos sectores el país se ha sensibilizado sobre la importancia de tratar de forma cada vez más eficaz este recurso. Tal es

el caso, que para el 2014 se procesaron 4,99 millones de toneladas de racimos de fruta fresca, aproximadamente equivalente a 2 millones de toneladas de biomasa en base húmeda las cuales se componen de: tusa, cuesco y fibra de mesocarpio (Fedepalma Sispa, 2015). En la **Tabla 1**, se puede observar los diferentes sectores en el país que producen gran cantidad de biomasa.

**Tabla 1** *Productos para la producción de biomasa en el país* (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011)

<b>Sector</b>	<b>Productos para la producción de biomasa</b>
Agrícola	Residuos agrícolas de cosecha Residuos agroindustriales
Pecuario	Estiércol bovino Estiércol porcino Estiércol avícola
Residuos Sólidos orgánicos urbanos	Residuos de plazas de mercado Residuos de centros de abastos Residuos de podas

En la mayoría de los casos la biomasa se puede clasificar teniendo en cuenta su procedencia como por ejemplo residuos agrícolas, pecuarios, forestales, industriales y en algunas ocasiones urbanos (Castells, 2005). Igualmente, su clasificación también depende de su poder calorífico que se relaciona directamente con su contenido de agua, en donde porcentajes de humedad por arriba de 60% se considera biomasa de tipo húmedo y por debajo de este valor se considera biomasa de tipo seco (Secretaría de Energía, 2009). La siguiente **Tabla 2** muestra los principales tipos de biomasa residual y su porcentaje de humedad relativa.

**Tabla 2** *Tipos de biomasa residual (FOCER, 2002)* (Victor Andres Arias Espana, 2018)

<b>Fuente generadora de biomasa</b>	<b>Tipo de residuo</b>	<b>Características físicas</b>
Residuos Forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas	Polvo, sólido, HR >50%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo, sólido, HR 30 – 45%
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíz	Sólido, HR >55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales	Sólido muy húmedo
	Cáscara y polvo de granos secos	Polvo, HR <25%
	Estiércol	Sólido muy húmedo
	Tallos, hojas, cáscaras, maleza, pastura	Sólido HR >55%
Residuos Industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales	Sólido moderadamente húmedo
	Residuos de procesamiento de carnes	Sólido muy húmedo
	Aguas de lavado de carnes y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Líquido grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos	Sólido muy húmedo
	Basura orgánica	Sólido muy húmedo

HR: humedad relativa.

Para el desarrollo del proyecto es necesario tener presente el panorama de la biomasa producida en el país, específicamente de los municipios que hacen parte de la provincia de Sabana Centro y a partir de esto calcular el potencial energético de cada municipio y escoger los respectivos escenarios de aprovechamiento.

### **2.3. PANORAMA DE LA BIOMASA EN COLOMBIA**

La información más reciente sobre la generación de biomasa producida en el país se puede encontrar en el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011) y en el estudio “Estimación del Potencial de Conversión a Biogás de la Biomasa en Colombia y su Aprovechamiento” desarrollado por la Unidad de Planeación Minero Energética, la Universidad Nacional de Colombia y TECSOL en el 2018. A continuación, se presenta el inventario y el potencial energético de la biomasa disponible clasificado por sectores económicos en Colombia.

#### **2.3.1. SECTOR AGRÍCOLA**

Para el sector Agrícola se tiene que la cantidad de biomasa producida es del 75% para RAC (Residuos Agrícolas de Cosecha) y el otro 25% para tipo RAI (Residuos Agrícolas Industriales); estos componentes siendo aprovechados principalmente para la producción de vapor y como sustituyentes de la leña para la preparación de alimentos. A continuación, se muestra la **Tabla 3** y **Tabla 4** para los diferentes productos agrícolas capaces de producir Biomasa en el país. A partir del censo agropecuario realizado en el año 2014, se logró identificar que existen 43,1 millones de hectáreas aptas para su uso agrícola, sin embargo, solo el 6,3% del área nacional se usan para cultivos agrícolas el resto es usado para la alimentación de animales incrementando de esta manera la generación de gases de efecto invernadero (Villanueva, 2018).

**Tabla 3.** *Productos agrícolas para la producción de biomasa en el país* (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011).

Productos Sector Agrícola	Fuente Biomasa	Poder Calorífico Inferior (PCI) [Kcal/Kg]	Zona de Producción	Producción [t/año]	Cantidad de Residuo [t/año]	PE [TJ/año]	Total PE [TJ/año]
Arroz	Tamo	3,113.00	Tolima, Guamo	2,463,689	5,789,669	20,699.41	27,835.94
	Cascarilla	3,106.00			492,738	7,136.53	
Maíz	Rastrojo	3,429.00	Floridablanca, Santander	1,368,536	1,278,213	12,568.96	20,795.81
	Tusa	3,390.00			369,505	3,844.59	
	Capacho	3,815.00			288,761	4,382.26	
	Hojas secas	4,274.00			-	-	
Banano	Raquis	1,809.00	Apartado, Antioquia	1,878,194	1,878,194	806.31	6,595.92
	Vastago	2,032.00			9,390,968	5,294.27	
	Rechazo	2,488.00			281,729	495.34	
Plátano	Raquis	1,808.00	Turbo, Antioquia	3,319,357	3,319,357	1,425.00	10,781.54
	Vástagos	2,032.00			16,596,783	9,356.54	

PE: potencial energético.

**Tabla 4.** *Continuación productos agrícolas para la producción de biomasa en el país* (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011).

Productos Sector Agrícola	Fuente Biomasa	Poder Calorífico Inferior (PCI) [Kcal/Kg]	Zona de Producción	Producción [t/año]	Cantidad de Residuo [t/año]	PE [TJ/año]	Total PE [TJ/año]
Café	Pulpa	4,259.00	Antioquia, Caldas	942,327	2,008,192	7,206.79	49,126.88
	Cisco	4,430.00			193,460	3,358.57	
	Tallos	4,384.00			2,849,596	38,561.52	
Caña de Azúcar	Rac	3,684.00	Palmira, Valle del cauca	2,615,251	8,525,718	41,707.22	118,578.77
	Bagazo	4,456.00			7,008,873	76,871.55	
Palma de aceite	Cuesco	3,988.00	Puerto Wilches, Santander	872,216	189,705	2,627.44	16,013.64
	Fibra	4,274.00			546,381	6,778.89	
	Raquis	4,021.00			924,618	6,607.31	
<b>TOTAL</b>					<b>61,932,460</b>		<b>249,728</b>

### 2.3.2. SECTOR PECUARIO

El principal generador de Biomasa en este sector es el estiércol animal como biomasa residual; Su composición se caracteriza por: Alto contenido de agua, cantidad de materia sólida variable, material volátil y altos niveles de nutrientes. A continuación, se muestra la **Tabla 5** para los diferentes productos pecuarios capaces de producir Biomasa en el país.

**Tabla 5.** *Productos pecuarios para la producción de Biomasa en el país* (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011).

Productos Sector Pecuario	Fuente Biomasa	Poder Calorífico Inferior (PCI) [Kcal/Kg]	Cantidad de Residuo [t/año]	Potencial Energético [TJ/año]
Avícola	Ponedores	2,248.00	3,446,348	29,183.10
	Engorde	3,645.00		
Bovino	Leche	2,801.00	99,168,608	84,256.34
	Doble Propósito	3,680.00		
	Carne	3,783.00		
Porcino	Tecnificado	6,049.00	2,803,111	4,308.36
	No tecnificado	4,163.00		
<b>TOTAL</b>			<b>105,418,067</b>	<b>117,747.80</b>

### 2.3.3. SECTOR DE RESIDUOS SÓLIDOS

El sector agroindustrial y el sector urbano son dos fuentes importantes para la producción de Biomasa residual, siendo necesaria la transformación fisicoquímica de la materia de estos productos para el origen de la Biomasa. Estos residuos pueden ser usados para generar energía renovable y así sustituir la energía derivada de los combustibles fósiles.

Los residuos sólidos urbanos están constituidos normalmente de papel, madera, carbón vegetal, alimentos, aguas residuales y desechos vegetales, siendo los constituyentes de la fracción orgánica para la generación de Biomasa generando sustancias volátiles como el metano y el dióxido de carbono. A continuación, se muestra la **Tabla 6** para los diferentes productos pecuarios capaces de producir Biomasa en el país.

**Tabla 6.** *Tipos de biomasa residual en el país* (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011).

Biomasa Residual	Población	Cantidad Anual de Residuo	Potencial Energético [TJ/año]
Bogotá	7,952,375	36,912	35.96
Medellín	3,306,490	15,754	11.7
Cali	2,593,563	19,451	17.74
Barranquilla	1,737,327	9,770	5.18
Bucaramanga	1,024,350	9,812	2
Cartagena	892,545	1,365	0.87
Cúcuta	587,676	4,869	0.99

Ibagué	498,401	8,531	8.3
Pereira	443,554	1,793	1.33
Villavicencio	384,131	1,817	0.81
Manizales	379,972	3,676	2.73
Montería	378,970	6,455	4.11
<b>TOTAL</b>	<b>20,179,354</b>	<b>120,205</b>	<b>91.72</b>

## 2.4. INICIATIVA SABANA CENTRO CÓMO VAMOS

La Universidad de la Sabana, la Fundación Corona, la Casa Editorial El Tiempo, la Cámara de Comercio de Bogotá, Hacer Ciudad, Prodensa, la Asociación de Empresarios por la Sabana, ProBogotá Región, Compensar, Fundación Alquería Cavelier y la Cruz Roja Colombiana lideran la iniciativa Sabana Centro Cómo Vamos que tiene como finalidad realizar un seguimiento permanente a los cambios de la calidad de vida de los siguientes municipios: Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Gachancipá, Nemocón, Sopo, Tabio, Tenjo, Tocancipá, Zipaquirá.

A través de esta iniciativa se pretende fomentar la interacción entre el gobierno, sector privado, academia, organizaciones sin ánimo de lucro y ciudadanos en general con el objetivo de analizar temáticas de primera necesidad para la región. Así mismo, se estipularon unos indicadores de consulta interactiva para hacer seguimiento al informe de calidad de vida de la región. Los indicadores corresponden a temas de salud, demografía, educación, seguridad y convivencia, finanzas públicas municipales, dinámica empresarial y medio ambiente. Con el ánimo de contribuir a este último indicador, por medio de este trabajo se busca establecer las toneladas de residuos generadas en los diferentes sectores, estimar el potencial energético de dicha biomasa y proponer diferentes escenarios para su aprovechamiento (Sabana Centro Cómo Vamos, s.f.).

Se puede evidenciar que a través de esta iniciativa se ha logrado documentar las toneladas de residuos urbanos generados en cada municipio desde el año 2014 hasta el año 2018, por lo tanto, por medio de esta investigación se busca apoyar brindando información sobre los dos siguientes años (2019 y 2020). A

continuación, se evidencia las cifras encontradas a través de la iniciativa Sabana Centro Cómo Vamos (Sabana Centro Cómo Vamos, s.f.).

**Tabla 7.** Residuos generados en la región Sabana Centro en el año 2018. (Sabana Centro Cómo Vamos, s.f.)

Municipio	Toneladas residuos año 2018	Total de residuos en los once municipios
Cajicá	17253	127258
Chía	36495	
Cota	13781	
Cogua	3200	
Gachancipá	2752	
Nemocón	1236	
Sopo	6134	
Tabio	2936	
Tenjo	4453	
Tocancipá	10424	
Zipaquirá	28594	

## 2.5. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA

La pirolisis, la gasificación y la digestión anaerobia son tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa que producen electricidad (Escalante, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2010). De estas tecnologías más del tipo de biomasa, depende el tipo de combustible gaseoso que se obtendrá: biogás, gas de gasógeno y gas de síntesis e hidrogeno (Romero, 2010). Específicamente, el biogás se obtiene a través de la digestión anaerobia el cual contiene principalmente metano (55-65%) y CO<sub>2</sub> (35-45%) y en menor proporción otros gases como nitrógeno, hidrogeno, oxígeno y trazas (Romero, 2010). Esta tecnología se desarrolla en cuatro etapas en las que intervienen diferentes tipos de bacterias, la primera etapa (hidrolisis) es llevada a cabo por bacterias como bacteroides, clostridium y bacterias facultativas, la segunda etapa (acidogénesis) es llevada a cabo por diferentes bacterias que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno, la tercera etapa (acetogénesis) es llevada a cabo por demás microorganismos que apoyan a los microorganismos formadores de metano los cuales actúan en la última etapa (metanogénesis) (Parra, 2015).

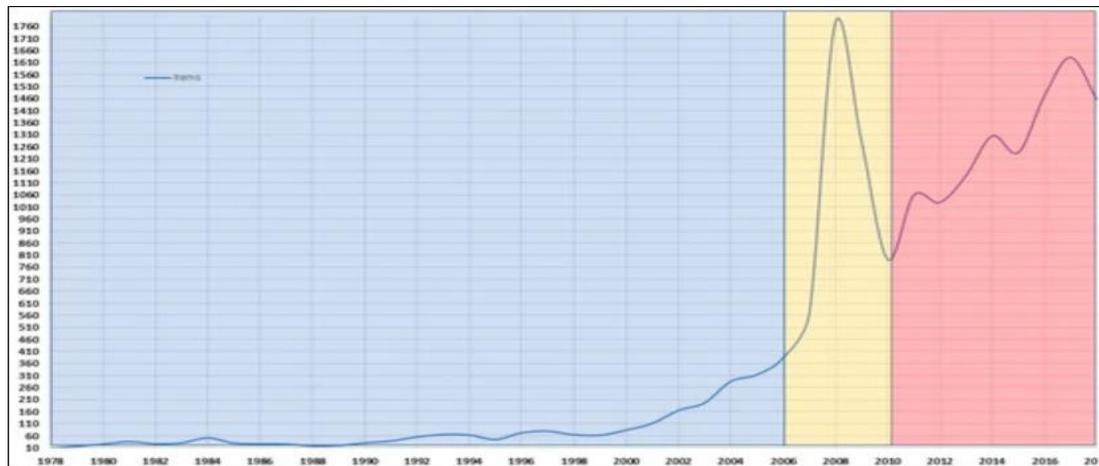
### **3. ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1. BIOMASA EN EL MUNDO**

La disponibilidad de la biomasa es un aspecto clave para la generación de bioenergía, es decir, la cantidad de energía generada depende de la región en donde su planta de producción se haya establecido. En países en desarrollo la energía obtenida a partir de biomasa representa el 10% y en países de la OCDE representa el 6% del suministro de energía primaria (Quintero & Quintero, 2015). En los años noventa, en el continente europeo, se comenzó a estudiar el impacto de la biomasa en la generación de energía. En esa década, se encontró que la eficiencia de las plantas de biomasa era de 37%, un buen resultado si se comparaba con otras fuentes de energía empleadas anteriormente. En Suecia, se encontró que, en la primera mitad del 2000, la cantidad de energía producida por biomasa podría llegar a ser de 470 PJ (Petajulios) y 210 PJ proveniente de la silvicultura y de la agricultura respectivamente (Quintero & Quintero, 2015). También se resalta el esfuerzo del Reino Unido en orientar la producción de energía a partir de biomasa, quienes pronosticaban que para el año 2010 la energía derivada de esta tecnología supliría aproximadamente el 10% de la electricidad en el país. Para el año 2018 esta fuente de energía representó el 7% de generación eléctrica, siendo una de las tecnologías que más aportó junto con la eólica y la solar fotovoltaica pues en el continente europeo la biomasa representa cerca de dos tercios de la producción anual de energía renovable (Larrea & Bilbao, 2020; Mather-Gratton, Larsen, & BentsenID, 2021). En Japón, las energías renovables de mayor crecimiento son la bioenergía y la energía solar. Durante 2008 a 2013, la capacidad de generación de bioenergía aumentó a una tasa compuesta anual del 11% (Enerdata, 2014). En la India, en el año 1999 existían más de tres millones de plantas caseras para la producción de bioenergía y en 2007 el Gobierno capacitó a la población con el objetivo de implementar casi cuatro millones de biorreactores domésticos (Rincón, y otros, 2018).

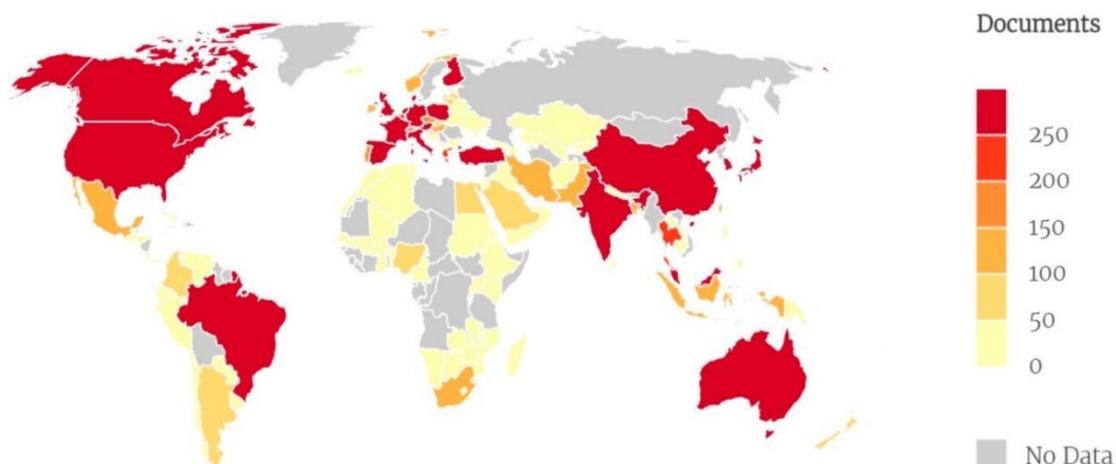
Actualmente, la India es considerada como el país líder en el mundo con la instalación más grande para la generación de bioenergía; en el año 2016 obtuvo el cuarto puesto a nivel mundial con 9GW después de Brasil (14 GW), EE. UU. (13 GW) y China (12 GW) (Camara de Comercio de Cali, 2017). En América, cada vez es más común la generación de energía a partir de esta tecnología. La biomasa, la energía solar y la eólica se utilizan cada vez más en Brasil, México, Guatemala, Argentina y Chile. Brasil es el país con el mayor avance en la producción de Biogás y sus aplicaciones, pues su producción corresponde al 8,75 % de la producción eléctrica brasileña (COLCIENCIAS, 2018). Por el contrario, Estados Unidos se ha tardado en el desarrollo de esta tecnología, de otros estudios se ha podido conocer que aunque cuenta con un gran número de investigaciones en el tema su implementación es mínima y depende principalmente de los derivados del tratamiento de aguas residuales, sin embargo, se espera que en un futuro esta tecnología desplace alrededor del 46% del gas natural del sector eléctrico y el 100% del gas natural de consumo en el sector del transporte (COLCIENCIAS, 2018). En África se estima que para 2025 la producción de energía podría ser de 18 EJ (Exajulios) por año (Quintero & Quintero, 2015). Por otro lado, en el continente oceánico, Australia se encuentra en la cola de los países de la OCDE en producción de energía a partir de esta técnica renovable, pues solo representa el 4% del consumo total de energía en dicho país (ICEX, 2020). Cada vez son más los estudios científicos sobre el uso de la biomasa como fuente de producción de energía renovable. Este comportamiento se espera debido al aseguramiento de la neutralización del carbono a través de esta tecnología al absorber CO<sub>2</sub> durante el crecimiento de las plantas y luego liberarlo a la atmosfera durante la combustión, repercutiendo en un balance neto cero de emisiones de CO<sub>2</sub> (Perea, García, Novas, & Manzano, 2017). A través de la **Figura 1**, se puede evidenciar el comportamiento del número de investigaciones realizadas desde el año 1978 al 2018. Como se puede observar al principio la producción de material científico de este tipo permanecía, mayoritariamente, constante, pero en el año 2008 se evidencia un crecimiento abrupto, bibliográficamente esta variación está regida por el incremento del precio del barril del petróleo justo en ese año y que hasta el

momento no se ha vuelto a registrar un precio de esa magnitud (Perea, Samerón, & Perea, 2019).



**Figura 1.** Numero de publicaciones científicas sobre biomasa desde 1978 a 2018. Copyright 2019 por Perea, Samerón & Perea. (Perea, Samerón, & Perea, 2019).

En la **Figura 2** se puede evidenciar los países con mayor número de publicaciones sobre la bioenergía. Estados Unidos es líder en la producción de contenido y le siguen China y la India. También, se puede observar que en gran parte de Europa oriental y algunos países de África aún no se cuenta con publicaciones de este tipo. De lo anterior se puede concluir que el uso de la biomasa para la producción de energía en los países industrializados es un elemento clave para lograr el desarrollo sostenible. (Perea, Samerón, & Perea, 2019).



**Figura 2.** Numero de publicaciones científicas por países. Copyright 2019 por Perea, Samerón & Perea. (Perea, Samerón, & Perea, 2019).

A pesar del incremento de las investigaciones y el uso de esta tecnología en la mayoría de los países, se han postulado algunas desventajas como su relación con la escasa producción de alimentos y el deterioro del suelo. Algunos investigadores establecen que no se puede asegurar que este tipo de energía esté asociado con una nula emisión de gases de efecto invernadero, se considera que se necesitan décadas para que las plantas sembradas logren capturar todo el CO<sub>2</sub> emitido en el proceso de gasificación o otra técnica similar, así que el panorama de las cero emisiones de CO<sub>2</sub> sería de alguna manera posible si los cultivos son extensivos en vez de intensivos y si el uso de abonos orgánicos y fertilizantes químicos no incrementaran las concentraciones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> en la atmósfera (González A. , 2013; Mather-Gratton, Larsen, & BentsenID, 2021). También, se ve la posición de otros autores sobre la problemática existente en cuanto al uso del suelo para satisfacer las necesidades humanas por encima del desarrollo y expansión de la flora y la fauna, una problemática muy común que se vive hoy por hoy en la amazonia (Gualtero, 2019).

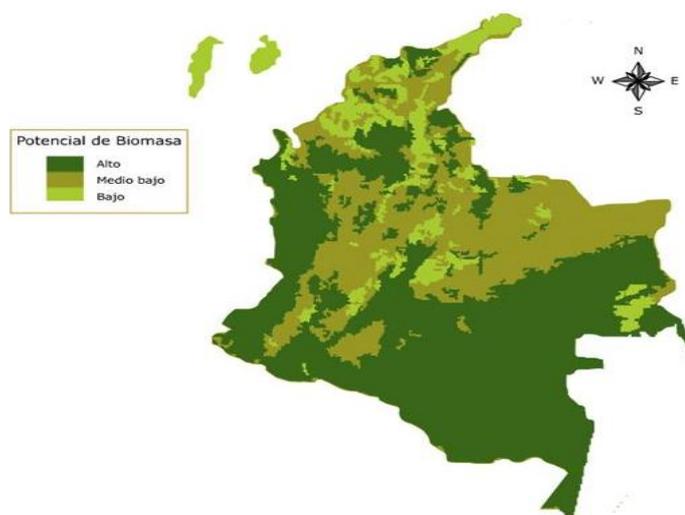
### **3.2. BIOMASA EN COLOMBIA**

El aumento de las energías renovables en Colombia viene dado por la Ley 1715 de 2014 (Ministerio de Minas y Energía & Unidad de Planeación Minero Energética, 2014), igualmente la decadencia del uso fuentes convencionales para frenar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esta ley en Colombia aún no está del todo clara, ya que, no permite negociar con electricidad de nula confiabilidad, y pone en desventaja a los pequeños productores de Biomasa por la baja y fluctuante producción de esta energía. Colombia tiene un alto potencial para poder generar electricidad a partir de la Biomasa. Los tipos de Biomasa principalmente provenientes de residuos agrícolas, pecuarios y urbanos representan alrededor del 17% de la matriz energética nacional. Al tener en Colombia bastantes productos que puedan generar Biomasa combinado con estrategias de aprovechamiento de la misma, lo hace un país más competitivo en el mercado energético gracias a su alta producción y comercialización a partir de productos agrícolas (caña de azúcar, banano, arroz, café). El potencial energético de la

biomasa en Colombia, específicamente del sector agrícola, está estimado en unos 16 GWh al año, las producciones de bagazo de caña estimada en más de 5 millones de toneladas anuales, la cascarilla de arroz con más de 457.000 toneladas al año y el fruto de palma de aceite presentan grandes posibilidades en el desarrollo de la biomasa en Colombia. Las zonas más adecuadas para generar esta energía son los Llanos Orientales, la Costa Atlántica y la región de Santander (Fedepalma Sispa, 2015; Twenergy, 2019). Colombia ve la transición energética como una oportunidad para suplir energía a gran parte de la población y además generar empleo. Se prevé que la apuesta por proyectos de energías renovables, como la bioenergía, le permitirá al país obtener alrededor de 8 billones de pesos de inversión y más de 6 mil empleos. Adicionalmente, la UPME aprobó 128 proyectos enfocados en la generación de energía a partir de fuentes no convencionales, con un potencial de 7700 megavatios (MW) distribuidos en: 2531 MW en 18 proyectos eólicos, 5177 MW en 107 proyectos solares y 48 MW en 4 proyectos de biomasa (Ministerio de Minas y Energía, 2020). Un ejemplo de lo anterior es el caso del municipio Puerto Carreño, la capital del departamento de Vichada que se ha caracterizado por vivir escasez energética, ahora contará con un suministro de energía 100% local que beneficia a más de 18 mil habitantes. En este municipio han dependido del servicio venezolano por varios años. En la primera fase, el suministro eléctrico que se entregará será de generación vía diésel, sin embargo, se espera que, al lograr asegurar las condiciones operativas, se empiece a generar energía a partir de biomasa, y de esta manera ser pioneros en implementar esta tecnología de producción limpia y renovable con esta cobertura (Ministerio de Minas y Energía M. , 2020).

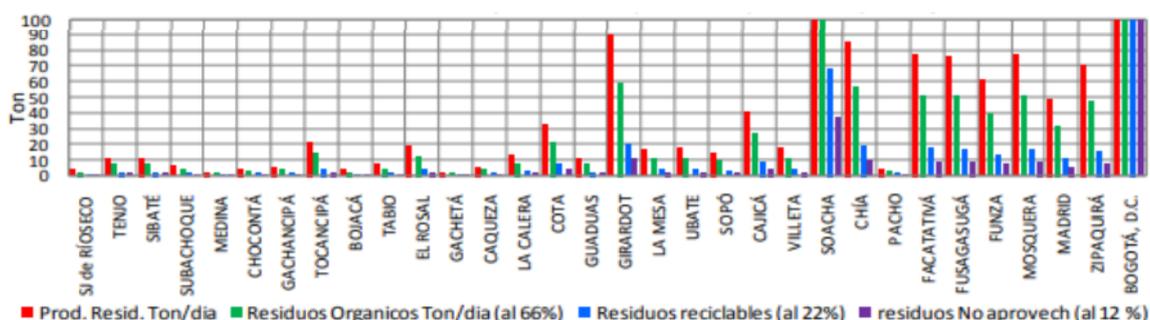
Según un estudio realizado por la revista semana en el 2018 (Revista Semana, 2018), la biomasa no solo es utilizada a gran escala sino también a pequeña escala en micro plantas. En el año 2012 representó alrededor del 8% como energía renovable (International Biochar Initiative, 2015) y se esperaba para el 2020 que su participación aumentara a un 30% como energía renovable a pequeña escala. Estas micro plantas son capaces de suministrar energía eléctrica a zonas marginales del país sin acceso a la electricidad, haciendo a Colombia un país con mayor igualdad de condiciones y con excelente calidad

del suministro de energía eléctrica. Es una realidad que, en regiones apartadas de Colombia, no hay suministro de energía eléctrica, se conoce que las zonas no interconectadas comprenden el 66% del territorio nacional (Grupo de investigación Xué semillero de investigación Barión, 2020; Plata, 2006). Por esta razón, es un reto para el país lograr implementar tecnologías como la producción de energía derivada de la biomasa residual en donde se garantice experimentalmente que las emisiones de gases de efecto invernadero son realmente nulas y donde se garantice el aprovechamiento de los residuos sin necesidad de generar más biomasa de la que se obtiene de los residuos en esas zonas con más rezago del país, pues Colombia es un país que cuenta con una gran generación de biomasa residual como se puede observar en la **Figura 3**. A nivel nacional e internacional se han generado proyectos con el fin de encontrar y comprender la forma de obtener el máximo aprovechamiento de este recurso (Tierradentro & Montaña, 2020). Específicamente, en Colombia el Ministerio de Minas y Energía y la UPME son las encargadas de desarrollar dicho estudio, y se ha logrado a partir de las oportunidades en biogás, biometano, biocombustibles, y los residuos de cultivos como el banano, el arroz, el café y otras actividades silvícolas, ubicar al país como el tercero en América Latina en generación de biomasa de todos los tipos. Un ejemplo de ese potencial energético es la Planta Incubadora Santander, en donde se generan 4,4 MW de energía eléctrica (Ministerio de Minas y Energía M. , 2017).



**Figura 3.** Mapa de potencial de Biomasa en Colombia. Copyright 2020 por ACER y adaptado de mapa UPME 2003. (ACER, 2020)

Según el informe de Indicadores Ambientales Domésticos para los municipios sabana – provincia – región de Bogotá, los mayores productores de residuos orgánicos pertenecientes a la región de Sabana Centro son: Chía, Zipaquirá y Cajicá (Rodríguez, 2019). En la **Figura 4** se observa que en los hogares de estos tres municipios una gran cantidad de residuos orgánicos son producidos, que pueden llegar a ser aprovechables para la generación de bioenergía. Además, los municipios cuentan con los residuos generados en los acopios encargados de almacenar y vender alimentos de diferentes partes del país.



**Figura 4.** Producción de residuos sólidos en hogares de municipios sabana-provincia-región-Bogotá (Ton/día). Copyright 2015 por Superintendencia de Servicios Públicos (Rodríguez, 2019).

Cajicá es líder en el aprovechamiento de los residuos sólidos (Universidad Nacional de Colombia, 2019). A través del programa “Caneca verde” ha logrado recolectar los residuos orgánicos disminuyendo su disposición en el relleno sanitario nuevo Mondoñedo de hasta un 27% del total, estos también son utilizados como compostaje, sin embargo, algunos estudios establecen que es necesario implementar una planta de generación de energía a partir de estos residuos debido al crecimiento acelerado de la población y por ende a la generación de más residuos (Universidad Nacional de Colombia, 2019; Leon, 2017). Le sigue el municipio de Zipaquirá, el cual se destaca por el aprovechamiento de sus residuos al implementarlos como humus y compostaje, a través de esta actividad se ha logrado que 40 toneladas al mes se aprovechen en la planta de compostaje del municipio en vez de ser dispuestas en los rellenos sanitarios de Nuevo Mondoñedo y Doña Juana (Rodríguez, 2019).

En la región Sabana Centro existen estudios en materia de generación de bioenergía a partir de los residuos orgánicos provenientes de los diferentes sectores. Por ejemplo, la Universidad de La Sabana adelanta un proyecto con el apoyo del Fondo Nacional de Financiamiento de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, con recursos por cerca de 267 millones de pesos. El proyecto evalúa la generación de biogás a partir de residuos urbanos de los once municipios perteneciente a la región y utilizando co-digestión anaerobia seca (ASOCENTRO, 2015).

Incluso, se han desarrollado prototipos de plantas utilizando esta tecnología en algunos de los once municipios, sin embargo, se identifica que aún no se ha logrado implementar técnicas avanzadas del manejo de residuos que propendan por la generación de energías renovables a parte de las utilizadas en la generación de compostaje (Cadavid, 2015; Rodriguez, 2019).

## 4. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología empleada para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos propuesto en el proyecto como se describe a continuación.

**Tabla 8.** *Objetivos del proyecto.*

<b>Objetivo</b>	<b>Metodología empleada</b>
Cuantificar y clasificar la Biomasa disponible en la región Sabana Centro.	Apartado 4.1. Identificación y cuantificación de la disponibilidad de biomasa residual.
Calcular el potencial energético de esta biomasa a partir de información secundaria.	Apartado 4.2. Cálculo del potencial energético
Proponer escenarios (bajo, medio y alto) de aprovechamiento del biogás generado a partir de la biomasa.	Apartado 4.3. Planteamiento de escenarios para el aprovechamiento

### 4.1. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE BIOMASA RESIDUAL

Como primera instancia se realizó la identificación de la disponibilidad de la biomasa en los municipios de Sabana Centro teniendo en cuenta los sectores con mayor capacidad de generación de residuos orgánicos aprovechables para la producción de energía eléctrica y posteriormente con la biomasa identificada se realizó la respectiva cuantificación. A continuación, se realiza un detalle más a fondo de las actividades realizadas para lograr el objetivo número 1.

#### 4.1.1. CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE PARA EL POTENCIAL ENERGÉTICO

✓ **Búsqueda de información primaria:** con el fin de obtener información sobre los residuos generados en los municipios de Sabana Centro, se contactó por escrito a las administraciones de cada municipio, a las empresas de servicios públicos y a las diferentes agremiaciones agrícolas, pecuarias e industriales del país. Para realizar la actividad, primero se realizó una clasificación de los residuos en: residuos agrícolas, residuos pecuarios y residuos urbanos. Teniendo en cuenta lo anterior, se

elaboró y envió una carta a los correos institucionales de las diferentes entidades buscando de esta manera obtener principalmente las toneladas por año generadas en los sectores identificados.

✓ **Búsqueda de información secundaria:** también, se realizó una búsqueda de cada sector en las diferentes herramientas y en los documentos que disponen los ministerios e instituciones del país. La información para el sector agrícola se obtuvo de la página Web de Agronet, la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia, liderada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, de esta página se descargaron los reportes de los años 2019 y 2020 los cuales contenían información de las áreas cultivadas de todos los municipios y ciudades de Colombia. Para el sector pecuario se extrajo la información del censo pecuario nacional. Este documento es publicado anualmente por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y es clasificado según la especie (bovina, aviar y porcina) (ICA, 2020) y de la tabla 4 del documento “Potencial Energético de la Biomasa Residual Pecuaria del Departamento de Cundinamarca - Colombia” (Ramírez & Barrera, 2017), se obtuvo la tasa de producción de estiércol por especie. Por último, la información del sector urbano, específicamente de los residuos sólidos orgánicos, se tomó de la tabla 3 del documento “Gestión Integral de los Residuos Sólidos en el Departamento de Cundinamarca” (Cundinamarca, 2019) en este documento se encuentran las toneladas generadas en un mes de cada municipio de Cundinamarca, incluidos los de la región Sabana Centro.

✓ **Unificación de los datos:** finalmente, la información obtenida de las dos actividades anteriores se recolectó en una base de datos creada en Microsoft Excel. De la misma manera, la información se clasificó teniendo en cuenta el sector, el subsector y el tipo de residuo. Se especificó así para facilitar el cálculo del potencial energético de la biomasa residual.

#### 4.1.2. ESTIMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Para el sector agrícola se calcularon los residuos por cosecha de cada municipio teniendo en cuenta la información suministrada en los reportes descargados de la página web de Agronet. De estos reportes se obtuvieron los datos de las áreas impactadas en hectáreas y la producción anual en toneladas (Agronet, Base Agrícola EVA - 2020 - información preliminar suministrada por municipios., 2020; Agronet, Reporte: Evaluaciones Agropecuarias - EVA y Anuario Estadístico del Sector Agropecuario, 2019). Obtenidos estos datos se utilizaron la **Ecuación 1** y la **Ecuación 2** que son producto de un balance del área sembrada, plantada, perdida, erradicada, en desarrollo y cosechada. En donde se supone que el área sembrada más el área plantada corresponden a la entrada del proceso de cultivo y el área perdida, erradicada, en desarrollo y cosechada corresponden a la salida del proceso como se puede ver en la **Ecuación 2**, sin embargo, el área perdida y el área erradicada corresponden a las pérdidas del proceso es decir de estas áreas se obtendrían los residuos para la generación de energía. Agronet dispone en los reportes descargados la producción en toneladas del área cosechada porque son los alimentos que luego se venderían en las plazas de mercado o los diferentes supermercados, pero no registra la producción en toneladas del área de residuos (área erradicada y área perdida), por lo tanto, es responsabilidad de este estudio calcular los residuos generados en estas dos áreas como se muestra en la **Ecuación 2**.

$$As + Apa = Ape + Ae + Ad + Ac \text{ [Ecuación 1]}$$

$$Ra = (Ae + Ape * (P))/Ac \text{ [Ecuación 2]}$$

Donde:

As: área sembrada (hectáreas)

Apa: área plantada (hectáreas)

Ape: área perdida (hectáreas)

Ae: área erradicada (hectáreas)

Ad: área en desarrollo (hectáreas)

Ac: área cosechada (hectáreas)

P: producción (toneladas)

Ra: residuos del sector agrícola por cosecha (toneladas)

Por otro lado, para el sector pecuario se descargaron los censos pecuarios nacionales dispuestos en la página web del ICA (ICA, 2020), los cuales poseen información sobre el total de cabezas por especie (Ce) de cada municipio y ciudad del país, se dividió el sector en subsectores como se evidencia en la *Tabla 9* y con la tasa de producción de estiércol por especie obtenida del documento “Potencial Energético de la Biomasa Residual Pecuaria del Departamento de Cundinamarca - Colombia” (Ramírez & Barrera, 2017) se prosiguió a calcular las toneladas de excremento por especie por año utilizando la **Ecuación 3**.

**Tabla 9** Clasificación de la Biomasa en el sector pecuario.

Subsector	Tipo de residuos
Avícola	Aves para producción de huevos
	Aves para producción de carne
Bovina	Bovino < 1 año
	Bovino entre 1-2 años
	Bovino entre 2-3 años
	Bovino > 3 años
Porcino	Cerdos de criaderos tecnificados
	Cerdos de criaderos no tecnificados

$$Rp = (Ce * (T))/1000 \text{ [Ecuación 3]}$$

*Donde:*

Rp: residuos del sector pecuario

Ce: total de cabezas por especie

T: tasa de producción de estiércol por especie (Kg/cabeza\*año)

Para calcular la cantidad de residuos sólidos generados en el año se utilizó la **Ecuación 4**, que de manera simplificada representa la conversión de los datos encontrados en meses a años, por esta razón, se multiplica por 12 que es el equivalente a los meses en 1 año. También, se tuvo en cuenta lo informado por las alcaldías. Principalmente, por los datos entregados por la alcaldía de Cajicá en donde la relación de residuos orgánicos urbanos generados correspondía aproximadamente al 30% de los residuos totales dispuestos en el relleno

sanitario. Por lo anterior, se supuso que los residuos orgánicos urbanos aprovechables correspondían al 30% del total en los rellenos sanitarios de cada municipio y cuyos valores (Pr) se obtuvieron del documento “Gestión Integral de los Residuos Sólidos en el Departamento de Cundinamarca”.

$$Ru = Pr * 12 \text{ meses} * 30\% \quad \text{[Ecuación 4]}$$

*Donde*

Ru: residuos del sector urbano

Pr: cantidad promedio de generación de residuos dispuestos en los rellenos sanitarios por municipio (ton/mes).

## **4.2. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO**

A través de una investigación bibliográfica exhaustiva se encontró que existen algunos modelos matemáticos para estimar el potencial energético. Este depende principalmente de la materia seca que contiene el residuo (Escalante, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2010) y por consiguiente de otros parámetros como la humedad y la composición del gas que se busca obtener (De La Torre & Ruiz, 2008). Teniendo en cuenta lo anterior más el hecho de que en este proyecto se trabajan, en su mayoría, residuos con un contenido de humedad mayor al 50%, se calculó el potencial energético específicamente con el modelo matemático propuesto para la digestión anaerobia (Ramírez & Barrera, 2017). Cabe resaltar que si se acondiciona la materia prima mediante un secado previo para lograr una humedad menor al 50% se podría tener en cuenta otras tecnologías como la gasificación o la pirolisis, principalmente se hace dicha sugerencia para tratar las cantidades considerables de residuos de aves de engorde que tienen una humedad menor al 30% (Arauzo, Bimbela, Ábrego, Sánchez, & Gonzalo, 2014; Barreto, s.f.).

### **4.2.1. BÚSQUEDA DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS**

Para calcular el poder calorífico del biogás que se obtiene de cada residuo generado en los diferentes sectores, primero se investigó en diferentes fuentes

bibliográficas la composición química de los residuos, con el fin de obtener el porcentaje de humedad y un porcentaje de metano aproximado en el residuo (Moreira O. , Carbajal, Cabrera, & Cuadrado, 1998; GEF, MINENERGIA, PNUD, & FAO, 2011; De Lima, Rodrigues, & Lidório, 2018; Weebly U. , s.f.; Guevara & Jumbo, 2016: Agro 2.0, 2012; Myfitnesspal, 2021; Garcia, Guerra, Coronel, & Cruz, 2018; WebConsultas, 2020; Vegaffinity, Acelga: beneficios e información nutricional., s.f.; 5aldia, 2020; Urango, 2018; Vegaffinity, Brócoli, s.f.). Para el sector urbano se realizó un promedio de las composiciones de los residuos orgánicos del sector agrícola suponiendo que los residuos orgánicos urbanos hacen referencia a la disposición final de alimentos y cascara de alimentos provenientes de los hogares de estos municipios.

Una vez obtenidos los porcentajes de humedad se realizó una clasificación de aquellos residuos que si cumplían con la humedad solicitada y se descartaron aquellos que no superaban el 50% de humedad.

#### **4.2.2. CÁLCULO DE PORCENTAJE DE METANO TOTAL**

El porcentaje promedio de metano es un valor calculado y/o estipulado mediante investigaciones realizadas anteriormente y el cual depende únicamente del tipo de compuesto orgánico del que se esté hablando (lípidos, proteína, carbohidrato, etc.), en general el porcentaje de metano en el biogás varía entre 50 a 70% dependiendo del tipo de sustrato digerido (Sanchez, 2016); (Borda, 2016). El porcentaje promedio de metano para lípidos, proteínas y carbohidratos se encontró en la tabla 8 del documento “Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento” (COLCIENCIAS, 2018) y teniendo en cuenta el porcentaje promedio de metano en el biogás se estimó que para la fibra, lignina y cenizas el porcentaje sería de 50. El porcentaje de metano total se calcula a partir de la **Ecuación 5** como la sumatoria de la composición porcentual de cada compuesto orgánico en base seca por el porcentaje promedio de metano, este es único para cada tipo de residuo.

$$\%CH4 \text{ total} = \frac{\sum \%BS * \%CH4}{100} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

*Donde*

% CH<sub>4</sub> total: Porcentaje de metano total en el biogás

% BS: Porcentaje del compuesto orgánico en base seca

% CH<sub>4</sub>: Porcentaje de metano en el compuesto orgánico (Lípido, carbohidrato, proteína, fibra, lignina y cenizas)

Para los residuos encontrados con un alto contenido de humedad se utilizó la Ecuación 6 ( Riobóo, 2012) con el objetivo de calcular dicha composición en base seca y de esta manera completar los datos para la **Ecuación 5**.

$$\%BS = \frac{\%BH}{100-\%BHa} * 100 \quad \text{[Ecuación 6]}$$

*Donde*

% BS: Porcentaje del componente en base seca

%BH: Porcentaje del componente en base húmeda

%BHa: Porcentaje de humedad

#### **4.2.3. CÁLCULO DE MATERIA SECA**

La materia seca es la parte que queda de la muestra total cuando se le ha extraído la cantidad de agua presente mediante secado forzado (Escobar, 2020). Teniendo en cuenta lo anterior y lo referenciado en otras fuentes de información (Calistro, 2012), la ecuación resultante para el cálculo de la materia seca de cada residuo es presentada a continuación (Ramírez & Barrera, 2017):

$$MS = R * \%MSe \quad \text{[Ecuación 7]}$$

*Donde*

R: Cantidad individual de residuos generados (Ra, Rp o Ru)

% MSe: Porcentaje de materia seca de la muestra

Para calcular el porcentaje de materia seca (%MSe) se utiliza la siguiente ecuación teniendo en cuenta la composición de agua encontrada, a partir de la búsqueda de la composición química para cada residuo.

$$\%MSe = 100 - \%H_2O \text{ en la muestra} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Para el caso específico del sector pecuario los porcentajes de materia seca se tomaron directamente de la tabla 6 del documento “Potencial Energético de la Biomasa Residual Pecuaria del Departamento de Cundinamarca – Colombia” (Ramírez & Barrera, 2017), debido a la escasa información en internet sobre el porcentaje de agua presente en el excremento de cada especie.

#### **4.2.4. OBTENCIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES**

En los residuos analizados se encuentran componentes fijos y otros volátiles, estos últimos hacen referencia a aquellos que pasan de estado sólido a gaseoso a través de la ignición de la muestra a una temperatura de 550°C (INVEMAR, 2003). Los valores de sólidos volátiles se obtuvieron de los documentos “Potencial Energético de la Biomasa Residual Pecuaria del Departamento de Cundinamarca – Colombia” (Ramírez & Barrera, 2017) y “Fundamentos para el diseño de biodigestores” (Olaya & González, 2009), estos valores están dados para aves, bovinos, porcinos, desechos agrícolas y desechos de mercado o de cocina los cuales pertenecen a los subsectores propuestos en este estudio.

#### **4.2.5. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

Otra variable por considerar para el cálculo del potencial energético es el volumen de biogás producido en función de los sólidos volátiles encontrados, puesto que de estos dependerá su pureza y poder calorífico. Se conoce que el biogás es una mezcla de diferentes gases, generalmente con mayor presencia de metano, y el cual se puede obtener a través del proceso de digestión anaerobia. Los valores de producción de biogás de este estudio fueron consultados en los documentos “Potencial Energético de la Biomasa Residual Pecuaria del Departamento de Cundinamarca – Colombia” (Ramírez & Barrera, 2017) y “Fundamentos para el diseño de biodigestores” (Olaya & González, 2009) estos valores también están dados para aves, bovinos, porcinos, desechos agrícolas y desechos de mercado o de cocina pertenecientes a los subsectores propuestos en este estudio.

#### **4.2.6. PODER CALORÍFICO INFERIOR DEL BIOGÁS**

El poder calorífico es la medida del calor que se libera al quemarse totalmente una unidad de combustible y al mismo tiempo sus productos buscan equilibrarse con la temperatura ambiental (Cengel & Boles, 2012). Teniendo en cuenta la tecnología bioquímica propuesta para este estudio, se considera el metano como combustible principal para la generación de energía, por lo tanto, el poder calorífico tiene un valor de  $2,24E-5$  TJ/m<sup>3</sup> equivalente al del metano (Ramírez & Barrera, 2017).

#### **4.2.7. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS**

Finalmente, y para satisfacer el objetivo 2 del estudio, se calculó el potencial energético, que indica la cantidad de energía producida a partir de la cantidad de metano disponible en el residuo generado en un año. Este valor se obtiene multiplicando el valor de materia seca (MS), el poder calorífico inferior del biogás (PClr) en TJ/m<sup>3</sup>, los sólidos volátiles de cada uno de los residuos (SV) y la producción de biogás (Bo) (Ramírez & Barrera, 2017).

$$Q_t = MS * PClr * SV * Bo \text{ [Ecuación 9]}$$

### **4.3. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PARA EL APROVECHAMIENTO**

#### **4.3.1. DATA RECOLECTADA DE POWER BI**

Con el ánimo de presentar una base de datos interactiva se calcularon los datos a partir de las ecuaciones anteriores en un documento de Microsoft Excel. Seguido de esto, se exportaron los datos recopilados en Excel a la herramienta Power BI en donde se realizó una clasificación geográfica de la información y se obtuvieron otros recursos gráficos. Para esto fue necesario seguir las instrucciones consignadas en la herramienta y consultar las coordenadas geográficas de cada municipio. Power BI es una herramienta de Microsoft que permite obtener visualizaciones interactivas y capacidades de inteligencia empresarial con una interfaz fácil de usar permitiendo a todos los usuarios

obtener conocimientos sobre los datos. A partir de la información recolectada se desarrollaron tres escenarios diferentes para el aprovechamiento de la biomasa en la generación de energía.

#### **4.3.2. ESTRATEGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS ESCENARIOS**

Con el objetivo de escoger el o los escenarios apropiados para la producción de bioenergía se establecieron los diferentes factores que se deben considerar a la hora de construir una planta de biogás teniendo en cuenta su aspecto económico, ambiental y técnico. Los factores principales que se consideraron fueron:

##### **Ubicación de la planta**

Ubicar de manera apropiada la planta facilitará su manejo y operación, se debe analizar previamente las condiciones del lugar y evaluar detalladamente los parámetros que permitan generar ganancias a futuro (Guardado, 2007). Por esta razón los principales aspectos que se deben considerar son:

- Seleccionar un punto cercano a la fuente de materia prima, es decir, a donde se recolecten los residuos orgánicos.
- Las instalaciones donde se aprovechará el biogás deben estar muy cerca, en lo posible en el mismo lugar, de la planta de generación de biogás.
- Se debe impedir el contacto con el manto freático, para prevenir la contaminación de este.
- El área en donde se instalará la planta debe estar limpia y libre de flora y fauna.

##### **Huella de Carbono generada durante el proceso**

La huella de carbono es un indicador que permite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero. Su medida se da en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, son emitidas a la atmósfera y provienen de diferentes actividades

antropogénicas (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Sostenible, 2021). Este indicador fue calculado principalmente para la etapa de transporte, sin embargo, también se calculó para la etapa de generación del biogás a partir de la siguiente ecuación:

$$\textbf{Huella de Carbono} = \textit{Actividad} * \textit{Factor de emisión} \textbf{ [Ecuación 10]}$$

Para dar cumplimiento a la ecuación anterior se estipularon dos actividades: transporte y generación de biogás. Para el caso del transporte, dependiendo de cada uno de los tres escenarios propuestos, se trazó una ruta por municipio y con ayuda de Google Earth se calculó la distancia recorrida (Km), también se buscó en internet la distancia recorrida (Km) entre municipios. Para el caso de la generación del Biogás se tomó el valor calculado de potencial energético y finalmente estos datos de distancia recorrida y potencial energético se multiplicaron por sus respectivos factores de emisión ya establecidos (Department for Business Energy & Industrial Strategy, 2020).

### **Tecnología para el aprovechamiento energético de la biomasa**

Existen diferentes tecnologías para aprovechar el potencial energético de la biomasa, cada una de estas radica principalmente en el porcentaje de humedad de la biomasa a procesar y en el tipo de gas que se desee obtener. Por lo anterior, se realizó una búsqueda de cada tecnología y se desarrolló una tabla comparativa (**Anexo 18**: Análisis de las diferentes tecnologías de producción de biogás con los sectores) entre las tecnologías encontradas y la biomasa generada en la provincia de Sabana Centro con el objetivo de seleccionar la que más se ajustara a los factores planteados en el proyecto (Ramírez & Barrera, 2017; Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011).

### **Modelo de negocio a utilizar**

Se realizó una búsqueda en internet de los modelos comúnmente utilizados con el fin de asegurar la viabilidad de la planta. Para esto se establecieron dos modelos básicos de gestión aplicable a cualquier tipo de sustrato e instalación los cuales serán analizados en el siguiente capítulo (Anual, 2011).

### **Potencial energético generado en cada municipio**

A partir del valor del potencial energético y la cantidad de residuos se generó un análisis con el fin de distribuir óptimamente la materia prima y otros aspectos logísticos que se relacionaron en un esquema en Power BI.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE BIOMASA RESIDUAL

Por medio del requerimiento escrito que se entregó a los diferentes entes gubernamentales se pudo identificar que son pocas las entidades que cuantifican los residuos generados por sectores, algunas solo cuentan con las cantidades totales de residuos generados y de otras entidades no se obtuvo respuesta a la solicitud. En la siguiente figura se establece un consolidado de las respuestas obtenidas por parte de las administraciones de los municipios y en el **Anexo 1**, **Anexo 2**, **Anexo 3**, **Anexo 4**, **Anexo 5**, **Anexo 6** y **Anexo 7** se pueden evidenciar las respuestas detalladas.



**Figura 5.** Consolidado de respuestas de las entidades contactadas

Debido a la escasa información obtenida de la actividad anterior, las fuentes más usadas para este estudio fueron: la herramienta de Agronet y los censos realizados por el Instituto Colombiano Agropecuario. En la herramienta de Agronet se encontraron las evaluaciones agropecuarias y se extrajo información de las bases agrícolas de los años 2019 y 2020 de los diferentes municipios (Agronet, Reporte: Evaluaciones Agropecuarias - EVA y Anuario Estadístico del

Sector Agropecuario, 2019; Agronet, Base Agrícola EVA - 2020 - información preliminar suministrada por municipios., 2020).

A partir de la información encontrada en estas bases de datos se logró calcular las toneladas por año de cada residuo que quedaron de la siembra de diferentes cultivos. Estos datos se relacionan en el **Anexo 9 y Anexo 10** y en la **Figura 6 Anexo 10** se evidencian los resultados de los tres sectores (agrícola, pecuario y urbano).

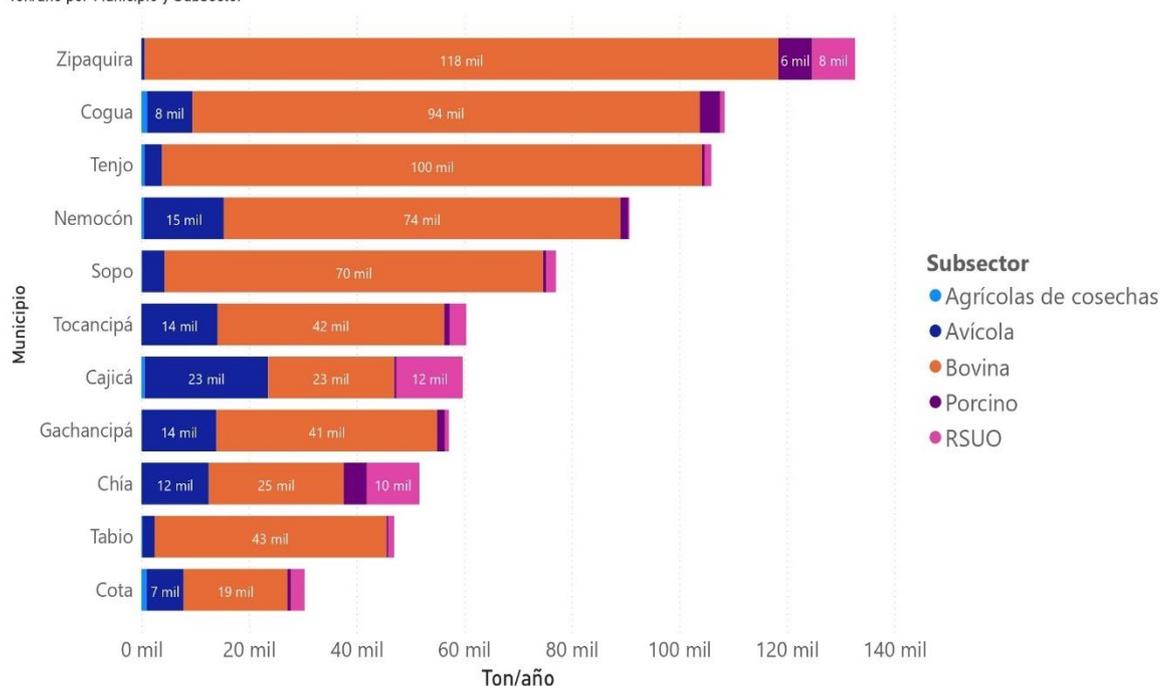
A través de los censos realizados por el ICA y las ecuaciones descritas anteriormente, se pudo calcular los residuos generados por el sector pecuario en cada uno de los subsectores y tipos de residuos. En el **Anexo 11 , Anexo 12 y Anexo 13** se pueden observar los resultados. Por último, de la información del sector urbano se extrajeron los datos de los residuos orgánicos urbanos de documentos bibliográficos (Cundinamarca, 2019) y de la información

suministrada por las alcaldías y las empresas de servicios públicos de cada municipio, en el **Anexo 14** se presentan los resultados.

## Anexo

13

Ton/año por Municipio y Subsector

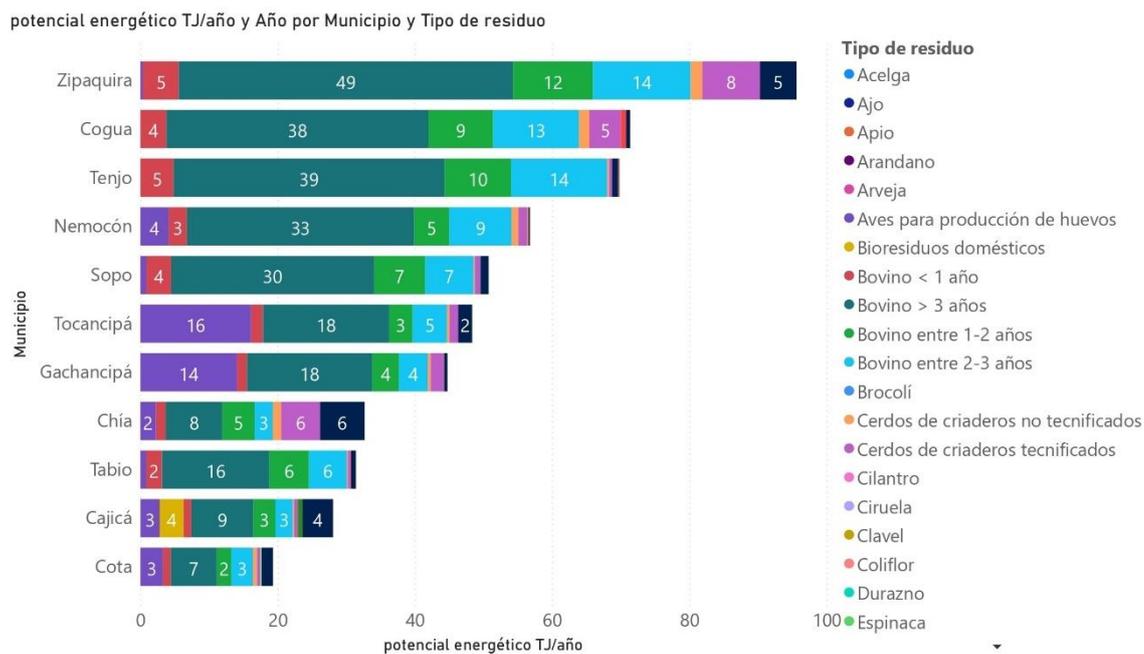


**Figura 6.** Toneladas de residuos generadas por año y subsector.

En la **Figura 6** se evidencian los resultados obtenidos de la información recolectada de los tres sectores (agrícola, pecuario y urbano) y a través de esta se observa que el municipio con mayor cantidad de residuos generados es el municipio de Zipaquirá, seguido por Cogua y Tenjo.

## 5.2. POTENCIAL ENERGÉTICO OBTENIDO DE LA BIOMASA

A partir de los datos de generación de residuos obtenidos anteriormente en ton/año y la búsqueda de los datos como la composición química de los residuos, los sólidos volátiles presentes en cada tipo de residuo, la producción de biogás y el poder calorífico inferior del metano se obtuvieron los datos presentados en la **Figura 7**.



**Figura 7.** Potencial energético obtenido en los once municipios.

Como se puede evidenciar en la **Figura 7**, no todos los tipos de residuos se consideraron debido a su bajo porcentaje de humedad, aunque generan toneladas que pueden ser aprovechadas para la producción de energía debido a la alta cantidad de materia seca y la cantidad de metano, como se evidencia en el **Anexo 15**, su contenido de humedad es bajo y de esta manera incumple con las condiciones para ser tratados por la tecnología propuesta. Los residuos que se descartaron fueron los residuos de aves de engorde que presentaba una humedad menor al 20% y de los residuos de maíz con una humedad de 11,3%.

Al comparar los valores obtenidos con los de otros trabajos en donde se usa la misma tecnología bioquímica, se observó que los valores obtenidos concuerdan con los presentados en la literatura. En la **Tabla 9** se podrá ver la comparación entre los diferentes documentos (Ramírez & Barrera, 2017; Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020).

**Tabla 10** Comparación de valores obtenidos con los de otros proyectos.

Residuos	Ton/año Otros documentos	Potencial energético (TJ/año) Otros documentos	Ton/año	Potencial energético (TJ/año)

Avícola	1095,5	1,73	1762,9	2,79
Porcino	700,1	1,14	757,9	1,23
Residuos de poda	44811	318	624	0,68

A partir de la **Figura 7** se observó que Zipaquirá no solo es el municipio con más residuos generados, también es el municipio con mayor potencial energético. Lo anterior se debe a la procedencia de la mayoría de los residuos, pues son obtenidos del sector pecuario y estos residuos se caracterizan por poseer un alto contenido de humedad y un alto contenido de metano. Estudios aseguran que la cantidad de energía de un compuesto orgánico es proporcional a las cadenas C-C en su estructura (Carvajal, 2018). Además, se busca que los residuos ingresen con un alto contenido de humedad, esta aumenta la eficiencia del proceso, en algunos estudios se encontró que a medida que el porcentaje de humedad disminuía en la muestra se inhibía el trabajo de las bacterias disminuyendo la degradación de carbohidratos y por lo tanto produciendo menos metano (Fujishima, Miyahara, & Noike, 2000; Guaneme, 2021; De La Torre & Ruiz, 2008).

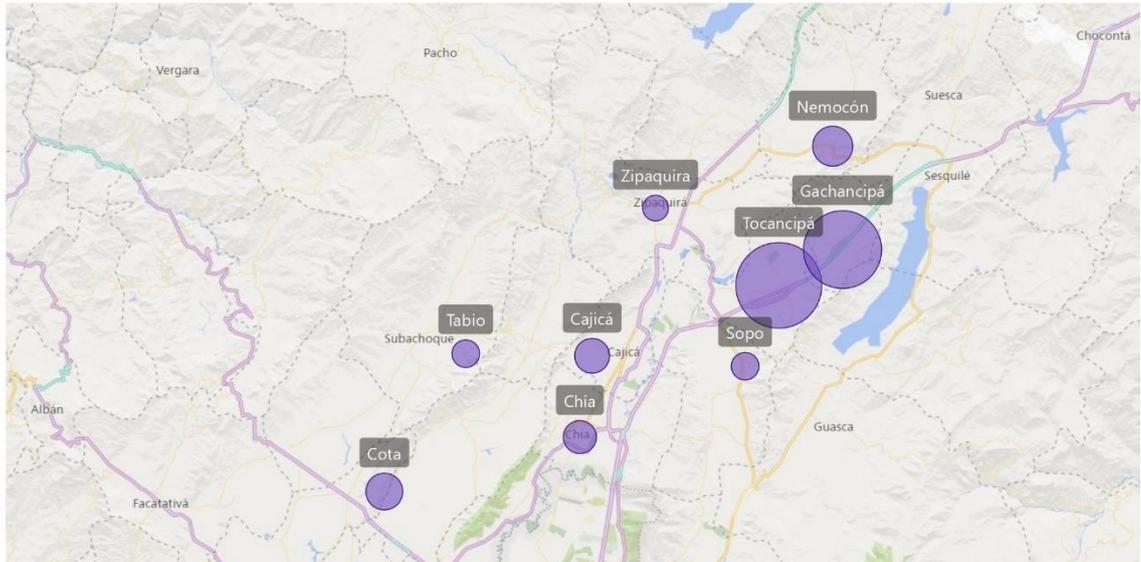
### **5.3. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PARA EL APROVECHAMIENTO**

#### **5.3.1. RESULTADOS RECOLECTADOS DE POWER BI**

A partir de Microsoft Excel y Power BI, se logró obtener una clasificación geográfica en donde el usuario tiene la posibilidad de interactuar y conocer diferentes datos como por ejemplo: la cantidad de biomasa residual de cada uno de los once municipios de la provincia Sabana Centro en los últimos dos años, el tipo de residuo que más se genera en cada municipio, el potencial energético teórico de cada residuo generado por sector en los años 2019 y 2020, fuente principal de suministro de energía eléctrica, entre otros datos como se puede observar en la **Figura 8 y Figura 9**

Promedio de Latitud, Promedio de Longitud, potencial energético TJ/año y Año por Municipio y Tipo de residuo

Tipo de residuo ● Aves para producción de huevos

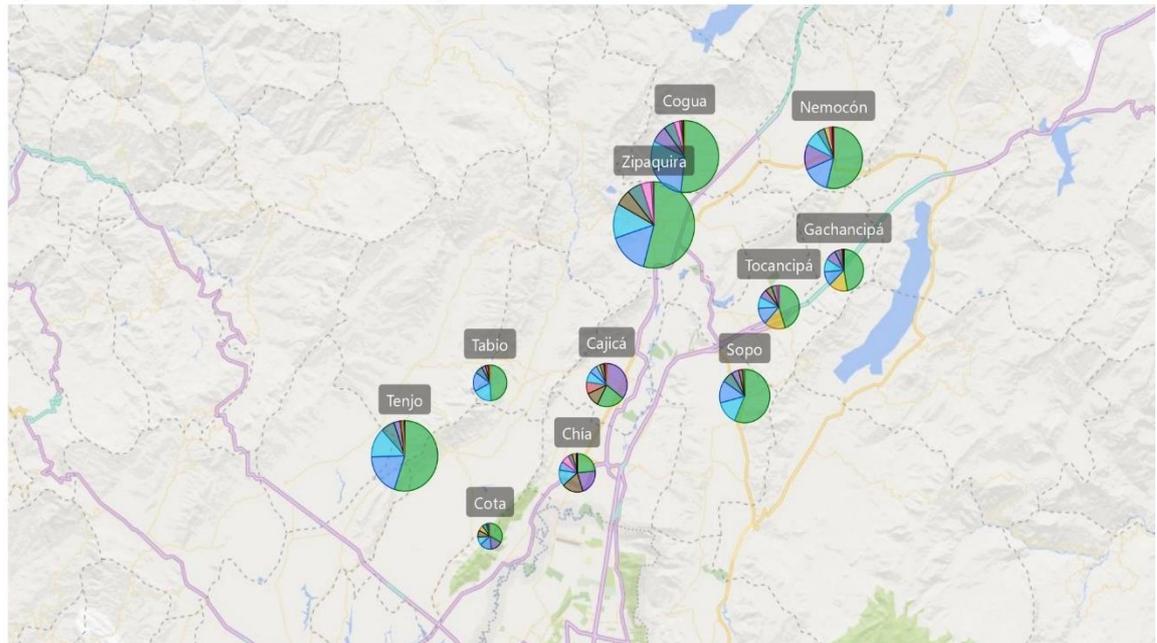


**Figura 8.** Potencial energético derivado del excremento de aves para producción de huevos en los once municipios.

En la **Figura 8** se puede observar que empleando específicamente la técnica digestión anaerobia, el municipio con mayor potencial energético proveniente de los residuos del sector avícola es Tocancipá, obteniendo de esta manera el círculo con mayor área. En contraste, el círculo de menor área se encuentra en Zipaquirá representando el bajo potencial energético que posee específicamente en este tipo de residuo.

Promedio de Latitud, Promedio de Longitud, Ton/año y Año por Municipio y Tipo de Residuo

Tipo de Residuo ● Acelga ● Ajo ● Apio ● Arand... ● Arveja ● Aves ... ● Aves ... ● Biores... ● Bovin... ● Bovin... ● Bovin... ● Bovin... ● Brocoli ● Cerdo... ● Ce



**Figura 9.** Cantidad de residuos generados en cada municipio.

En la **Figura 9** se puede observar que el sector que genera mayor cantidad de residuos es el sector pecuario, principalmente de las aves para engorde, representado con el color morado, y de los bovinos mayores a 3 años, representado con el color verde. Cabe resaltar que los residuos de las aves de engorde no se tuvieron en cuenta para calcular el potencial energético debido a la tecnología propuesta, sin embargo, se propone tratar este residuo mediante alguna de las otras dos tecnologías termoquímicas que aceptan residuos con contenidos de humedad bajos y también se propone calcular el potencial energético de esta biomasa por medio de un modelo matemático diferente al propuesto, puesto que el excremento de ave para engorde es uno de los más generados en la región.

En el programa Power BI también se realizaron las **Figura 6** y **Figura 7** presentes en este documento y se realizaron otros análisis los cuales se pueden observar directamente en el programa.

### 5.3.2. ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE LOS ESCENARIOS

- **Ubicación de la planta**

Se tuvieron en cuenta las siguientes variables para proponer la mejor estrategia dependiente de la ubicación de la planta de generación de energía.

**Tabla 11** Análisis de variables transversales con la ubicación de la planta

	<b>Económico</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Técnico</b>
Seleccionar el lugar más cercano a la fuente de materia prima, es decir, a donde se recolecten los residuos orgánicos	Permite disminuir los costos de transporte de la materia prima.	Se generan menos emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la actividad del transporte. Los dueños de las fincas y viviendas cercanas pueden usar otros medios de transporte amigables con el entorno y al no ser necesarios vehículos de carga pesada se ahorra el recurso hídrico empleado para la limpieza y desinfección de estos.	Se garantiza el aprovechamiento de la mayoría de los residuos generados.
Las instalaciones donde se utilizará el biogás deben estar lo más cercano posible de la planta de generación de biogás.	Menor costo en diseño y construcción de la planta y menor costo en transporte del biogás.	No hay riesgo de liberaciones y emisiones de líquidos y gases provenientes del biogás que puedan afectar de alguna manera el ambiente.	Menor riesgo de pérdidas de calor y variantes en las condiciones físicoquímicas del gas.
Se debe evitar el contacto con el manto freático, para prevenir la contaminación de este.	Menor costo en reparación de daños ambientales y sanciones generadas por la afectación al medioambiente.	Protección directa del manto freático y del suelo.	
El área en donde se instalará la planta debe estar limpia y libre de flora y fauna	Menor costo en adecuación del terreno para el desarrollo de la planta.	Bajo impacto en el ecosistema, no perjudica la flora y fauna.	Asegurar condiciones del proceso fácilmente y menos interferencias desde el ecosistema hacia el proceso.

- **Huella de Carbono generada durante el proceso**

A partir de la **Ecuación 10** se calculó la huella de carbono para las actividades de transporte y generación de biogás, esto contribuyó a la selección del escenario más favorable para la generación de energía. En el

**Anexo 16** y **Anexo 17** se evidencian los resultados obtenidos. También se compararon los valores obtenidos durante el proceso de producción del biogás y los obtenidos para Diesel y gasolina, encontrando que las emisiones por parte del Diesel y la gasolina son 1000 veces mayores que las generadas por el biogás, esto era de esperarse puesto que el factor de emisiones para el Diesel es de 0,25568 kgCO<sub>2</sub>e/kWh, el de la gasolina de 0,25390 kgCO<sub>2</sub>e/kWh, mientras que el del biogás es de 0,00021 kgCO<sub>2</sub>e/kWh (GOV.UK & Department for Business, 2020).

- **Tecnología para el aprovechamiento energético de la biomasa**

La información sobre las diferentes tecnologías para el aprovechamiento energético de la biomasa se extrajo de diferentes fuentes (Universidad Industrial de Santander, UPME, & IDEAM, 2011; Ramírez & Barrera, 2017). A partir de los documentos se identificaron dos grupos de interés para el procesamiento: los procesos termoquímicos y los procesos bioquímicos.

En los procesos termoquímicos se utiliza la generación de calor a temperaturas elevadas y escenarios propios para la oxidación del material, los métodos generalmente utilizados son: combustión, gasificación y pirolisis. Para esto, es necesario que la materia prima contenga una baja humedad, sus niveles deben estar por debajo del 50%. Por otro lado, los procesos bioquímicos están representados por dos métodos: fermentación y digestión anaerobia, estos dos se basan en la degradación de los residuos gracias a microorganismos que se agregan o están presentes en la materia prima, sus niveles de humedad deben ser superiores al 50%. En el **Anexo 18** se especifica el contenido promedio de humedad de la biomasa residual de este estudio y se analiza la mejor tecnología basada en la información encontrada en los documentos especificados anteriormente. Concluyendo, que la mejor tecnología para calcular el potencial energético en este proyecto es la digestión anaerobia, puesto que se está trabajando, en su mayoría, con residuos que contienen una humedad por encima del 50% y un porcentaje de metano considerable en donde se busca principalmente obtener un gas rico en este compuesto llamado biogás.

- **Modelo de negocio a utilizar**

Se establecieron dos modelos de negocio descritos a continuación:

- Modelo de tratamiento centralizado: se basa en el desarrollo de una planta que utiliza digestores que trata residuos provenientes de diferentes instalaciones, almacena el biogás y lo valoriza energéticamente (Agencia Andaluza de Energía, 2011).
- Modelo de gestión individual: atiende el tratamiento del residuo en el lugar que se produce (Agencia Andaluza de Energía, 2011).

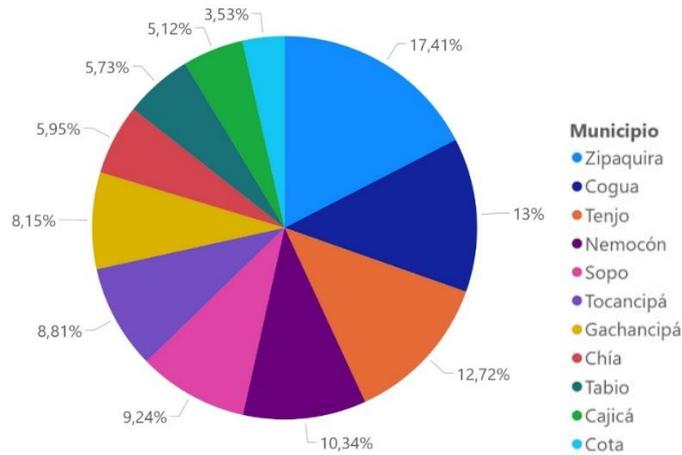
**Tabla 12** Análisis de variables transversales con los modelos existentes (Agencia Andaluza de Energía, 2011)

	<b>Económico</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Técnico</b>
Modelo de tratamiento centralizado	Alta inversión inicial, desarrollo de vías de acceso, logística robusta y alto costo del transporte.	Se debe tener mayor control de emisiones y liberaciones e impacto generado por el consumo de combustible en los vehículos de transporte.	Incrementa la eficiencia del proceso y la producción de metano. Plantas menos flexibles, requieren de equipos robustos con capacidades grandes, en épocas de bajas concentraciones de residuos es una desventaja.
Modelo de gestión individual	Baja inversión inicial, no se generan costos de transporte, no se generan costos de contratación de personal.	No se generan impactos por el combustible necesario para transportar los residuos.	Plantas sencillas de fácil explotación, flexibles y se pueden adaptar a la capacidad de carga, el control de operaciones no es especializado, con lo que es difícil optimizar los rendimientos.

### **Potencial energético generado en cada municipio**

A partir de la **Figura 10** se puede evidenciar la distribución del potencial energético en cada uno de los 11 municipios, se evidencia que se obtiene mayor potencial energético en el municipio de Zipaquirá.

potencial energético Tj/año por Municipio



**Figura 10.** Comparación de potencial energético generado por año en los once municipios.

### 5.3.3. ESCENARIOS PROPUESTOS

Teniendo en cuenta la información obtenida a través de Power BI, Excel y los factores mencionados anteriormente, se plantean tres escenarios de los múltiples posibles, clasificándolos según el nivel de aprovechamiento del biogás en bajo, medio y alto como se postula a continuación:

**Escenario 1 (alto):** *micro plantas de generación de energía eléctrica por municipio.*

Principalmente se plantea este escenario debido a los datos arrojados en el cálculo de la huella de carbono. Como se puede observar en el **Anexo 16** de los tres escenarios propuestos, este es el que emite menos toneladas de CO<sub>2</sub> debido a que solo se realiza un recorrido semanal interno para la recolección de los residuos reduciendo de esta manera toda la logística que se debe implementar en la etapa de transporte. En este escenario se desarrolla una micro planta de generación de energía en cada municipio, es decir, cada municipio contaría con su propia micro planta que tendría como objetivo procesar sus propios residuos los cuales cumplen con las condiciones necesarias para implementar la tecnología de digestión anaerobia, en total se diseñarían e instalarían 11 micro plantas. Lo anterior permite que la planta construida esté cerca a los lugares de generación de residuos. También permite crear una asamblea entre los mayores productores de residuos con el objetivo de capacitarlos para que ellos mismos

manejen la planta de generación y disminuir de esta manera gastos económicos y ambientales. Debido a la práctica gestión de los factores mencionados anteriormente como: la huella de carbono, la ubicación de la planta y el modelo de negocio a utilizar se postula esta estrategia como la más viable de las tres.

**Escenario 2 (medio):** *dos macro plantas ubicadas en Zipaquirá y Tenjo*

Se plantea este escenario teniendo en cuenta que los dos municipios poseen el mayor potencial energético, la mayor generación de residuos y están ubicados estratégicamente para que los demás municipios alrededor lleven sus residuos generando el menor impacto posible producido por el transporte de la biomasa. De la misma manera que en el escenario uno, se busca hacer la recolección de los residuos una vez por semana, en este caso aumenta la huella de carbono debido a que aumentan las distancias recorridas desde los demás municipios hasta Zipaquirá y Tenjo. Sin embargo, la huella de carbono en este escenario no es mayor que la generada en el escenario tres. Con esta estrategia se logra tener un mayor control de las variables y una mayor eficiencia del proceso, aun así, no se selecciona como la mejor opción principalmente por el transporte del biogás porque aumenta la huella de carbono y los costos tanto para la instalación de una red de tubería como para la compra de pipetas para envasarlo y transportarlo.

**Escenario 3 (baja):** *una macro planta ubicada en Cajicá*

Se plantea este escenario con el objetivo de evaluar una macro planta ubicada en el punto más central y estratégico. Cajicá es uno de los municipios pioneros en logística de residuos orgánicos, su estrategia para la recolección está diseñada de una manera asequible y replicable. Sin embargo, es el escenario que genera mayor emisión de gases de efecto invernadero provenientes de las largas distancias que se recorrerían desde los demás municipios hasta este. Se esperaría con esta estrategia obtener de una manera más centralizada y controlada el metano pues al provenir de diferentes municipios se lograría obtener un flujo constante, algo que no pasaría en las micro plantas pues los volúmenes son menores.

## 6. CONCLUSIONES

Durante este proyecto de investigación se estimó la generación de energía renovable a partir del potencial energético contenido en la biomasa generada en la provincia de Sabana Centro. Para lograr lo anterior, primero se realizó una investigación detallada sobre los residuos generados, clasificándolos según los sectores ya establecidos (agrícola, pecuario y urbano), con ayuda de fuentes como: Agronet, el Instituto Colombiano de Agricultura y comunicados por parte de las diferentes administraciones de los once municipios pertenecientes a la región. A través de esta actividad se encontró que los municipios con mayor generación de residuos aprovechables para el propósito de este estudio son Zipaquirá con aproximadamente 132000 toneladas por año y Cogua con 108000 toneladas por año.

A partir de la clasificación y cuantificación de la biomasa y otra información secundaria se calculó el potencial energético que se podría obtener por municipio. De esta manera se encontró que el municipio en donde se obtiene mayor potencial energético es Zipaquirá debido a las altas cantidades de residuos provenientes del sector pecuario. Estos contienen condiciones óptimas de humedad y contenido de metano, dos variables muy importantes a la hora de aumentar la eficiencia del proceso. Lo anterior es favorable para la producción de energía a partir de la técnica bioquímica digestión anaerobia teniendo en cuenta que al contener un alto contenido de agua en la muestra aumenta la eficiencia del proceso debido a que permite la estabilidad de las bacterias encargadas de la descomposición de la materia para la producción de metano (Guaneme, 2021; Fujishima, Miyahara, & Noike, 2000) y al contener estructuras carbonadas dentro se asegura obtener un gran potencial energético (Carvajal, 2018).

Para generar una estrategia de aprovechamiento de los residuos se plantearon tres escenarios teniendo en cuenta la información recolectada sobre el potencial energético generado, la generación de residuos, ubicación, huella de carbono generada, entre otros aspectos. Obteniendo de esta manera, que el mayor impacto se presentaba al ejecutar el escenario tres puesto que al ser una planta robusta se estima que los costos de instalación y ejecución serán mayores que los de los escenarios dos y uno, además, la huella de carbono presente en este escenario es mayor y desfavorece ambientalmente su ejecución. Algo similar ocurría en el escenario dos, aunque la huella de carbono era más baja en este escenario también se debía tener en cuenta la implementación de tuberías u otro medio de transporte del biogás de un municipio a otro lo que hacía que aumentara la huella de carbono y los impactos ambientales negativamente. Por lo tanto, de los tres escenarios la mejor estrategia para la generación de energía es el primer escenario, puesto que presenta el menor impacto generado en términos ambientales, menores costos de ejecución y un alto potencial energético útil en cada municipio.

Es muy importante mencionar que el desarrollo de este tipo de energía fortalece la parte social ya que genera oportunidades para la generación de empleo la cual es necesaria en todo el proceso de implementación que incluyen estudios de factibilidad, aplicación de estas tecnologías y su aplicación, la creación de las diferentes infraestructuras y la puesta en marcha de este tipo de energía renovable.

## 7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La biomasa es un elemento que promete grandes avances para el cumplimiento de la generación de bienes y servicios sostenibles y uno de los principales objetivos al generarla es lograr contribuir al mercado de energías renovables. Sin embargo, su aprovechamiento es digno de un estudio detallado en donde se compruebe que la generación de biomasa y la utilización de esta en cualquier sector industrial promueve la nula producción de gases de efecto invernadero. Se destaca, que este trabajo se desarrolló para cuantificar la producción de biomasa en la provincia Sabana Centro y de esta manera obtener su potencial energético y el planteamiento de estrategias basadas en diferentes factores como la huella de carbono proveniente solamente del transporte ejecutado en el proceso.

Por lo anterior, se recomienda para futuros trabajos que:

- Se defina experimentalmente las cantidades de CO<sub>2</sub> absorbidas por las plantas sembradas en la zona de Sabana Centro y las emitidas durante el proceso de generación de la bioenergía, y así, establecer el grado de efectividad de la técnica propuesta.
- Enriquecer anualmente el trabajo realizado en la herramienta power BI, con el fin de contar con información actualizada sobre la cuantificación de la biomasa en la zona estudiada y sobre la variación de energía producida a partir de esta técnica.
- Investigar la disposición de las comunidades de la zona estudiada y documentar un análisis de impacto social a la hora de implementar un proyecto como el propuesto en este documento.
- Cuantificar experimentalmente la composición química de los residuos considerados en este proyecto y calcular nuevamente su potencial energético a partir de los resultados obtenidos, debido a que los utilizados en este proyecto fueron consultados bibliográficamente de diferentes partes del mundo y no específicamente de la región Sabana Centro.

## 8. REFERENCIAS

- 5aldia. (2020). *Durazno*. Obtenido de <http://5aldia.cl/frutas-y-vegetales/durazno/>
- ACER. (2020). Fuentes no convencionales de energías renovables . Cali, Valle del Cauca, Colombia.
- Agro 2.0. (2012). *Lulo: qué fruta es, su contenido nutricional, sus factores precosecha y muchas cosas más...*. Obtenido de <http://www.agro20.com/group/frutas-tropicales/forum/topics/lulo-qu-fruta-es-sus-contenido-nutricional-sus-factores>
- Agronet. (2019). *Reporte: Evaluaciones Agropecuarias - EVA y Anuario Estadístico del Sector Agropecuario*. Bogota: AGRONET.
- Agronet. (2020). *Base Agrícola EVA - 2020 - información preliminar suministrada por municipios*. Bogotá.
- Arauzo, J., Bimbela, F., Ábrego, J., Sánchez, J., & Gonzalo, A. (2014). *Introducción a las tecnologías de aprovechamiento de biomasa*. Obtenido de Thermochemical Processes Research Group (GPT), Aragon Institute of Engineering Research (I3A), C/ Mariano
- ASOCENTRO. (2015). *Investigación apoyada por Min-Ciencias evalúa la generación de biogás a partir de residuos sólidos de Sabana Centro*. Obtenido de <http://www.asocentro.gov.co/noticias/investigacion-apoyada-por-minciencias-evalua-la-generacion>
- Banco Interamericano de Desarrollo, & Gobierno de Colombia. (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/libro-transicion-energetica>
- Barreto, W. (s.f.). *Nuevas tecnologías en el uso energético de la biomasa*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/t2363s/t2363s0h.htm>
- Borda, C. (2016). *BIOGAS: UNA ALTERNATIVA ENERGETICA PARA LOS RELLENOS SANITARIOS, URBANOS Y UN BENEFICIO MITIGADOR DE CAMBIO CLIMATICO*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/152711;jsessionid=E735EBD615FCDA5EC586AA554CF55EE4?sequence=1>
- Cadavid, I. &. (2015). *Aprovechamiento de residuos orgánicos para la. Energética*.
- Calistro, E. (2012). *Cálculo práctico de forraje disponible*. Obtenido de [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/161-Calculo\\_Forraje\\_Disponible.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/161-Calculo_Forraje_Disponible.pdf)
- Camara de Comercio de Cali. (5 de Septiembre de 2017). *Centrales eléctricas en el mundo a partir de la biomasa*. Obtenido de Camara de Comercio de Cali: <https://www.ccc.org.co/file/2017/09/Informe-RC-N12-Centrales-electricas-a-partir-de-biomasa.pdf>
- Carvajal, C. A. (2018). *Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao CCN51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico*. . Obtenido de Científica , 113-123 <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458109004/html/index.html>
- Castells, X. E. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Madrid: Díaz de Santos S. A.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. México D.F: Mc Graw Hill.

- COLCIENCIAS, G. D. (Febrero de 2018). *ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERSIÓN A BIOGÁS DE LA BIOMASA EN COLOMBIA Y SU APROVECHAMIENTO*. Obtenido de BD Digital UPME: <https://bdigital.upme.gov.co/jsui/bitstream/001/1317/1/Informe%20final.pdf>
- Contreras Rodríguez, C. E. (2018). *Análisis para la aplicación de biomasa de uso directo como medio de generación de energía eléctrica en el departamento del Caquetá*. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1164&context=ing\\_eletrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1164&context=ing_eletrica)
- Cundinamarca, C. d. (2019). *Gestión Integral de los residuos sólidos en el Departamento de Cundinamarca*. Obtenido de Contraloría de Cundinamarca: <http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/images/INFORME%20RESIDUOS%20SOLIDOS.pdf>
- De La Torre, N., & Ruiz, U. (2008). *Digestión anaerobia en comunidades rurales*. Obtenido de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11627/PFC\\_Nadia\\_deLaTorre\\_Caritas.pdf;jsessionid=CE76EECCBCFF3080009FD84B301D8878?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11627/PFC_Nadia_deLaTorre_Caritas.pdf;jsessionid=CE76EECCBCFF3080009FD84B301D8878?sequence=1)
- De Lima, F., Rodrigues, M. S., & Lidório, H. F. (2018). *Composición química de pétalos de flores de rosa*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v20n1/0122-8706-ccta-20-01-00149.pdf>
- De Lima, F., Rodrigues, M. S., & Lidório, H. F. (29 de Noviembre de 2018). *Composición química de pétalos de flores de rosa*. Obtenido de Scielo.org: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v20n1/0122-8706-ccta-20-01-00149.pdf>
- Department for Business Energy & Industrial Strategy. (9 de Junio de 2020). *Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020*. Obtenido de Conversion factors 2020: full set (for advanced users): <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>
- Earth, P. (s.f.). *Pure Earth Blacksmith Institute*. Recuperado el 26 de Abril de 2021, de <https://www.pureearth.org/who-we-are/>
- Enerdata. (10 de Julio de 2014). Forecast Model of Electricity price in Japan. *Enerdata*, págs. <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/forecasting-japan-electricity-price.html>.
- Escalante, H. (2011). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. *Universidad Industrial de Santander*, <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1058>.
- Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M., & Duarte, M. (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Colombia: Universidad Industrial de Santander, UIS. Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, Ideam.
- Escobar, P. E. (2020). *Concepto de materia seca y su uso: guía práctica*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/3982/NR42143.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EVA, A. B. (2020). *Reporte: Evaluaciones Agropecuarias - EVA y Anuario Estadístico del Sector Agropecuario*. Bogotá: AGRONET.
- FAO, F. a. (10 de Diciembre de 2019). *FAO en Colombia*. Obtenido de Alimentación: pasando de pérdidas a soluciones: <http://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/en/c/1238132/>

- Fedepalma Sispa. (2015). *Anuario Estadístico 2015: La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo 2010-2014*. Obtenido de CID Palmero: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/anuario/article/view/11721>
- FOCER. (Septiembre de 2002). *Manuales sobre Energía Renovable*. Obtenido de FOCER: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/BUNCA2002Biomasa.pdf>
- Fujishima, S., Miyahara, T., & Noike, T. (2000). Effect of moisture content on anaerobic digestion of dewatered sludge: ammonia inhibition to carbohydrate removal and methane production. *Water Science and Technology*, Department of Civil Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai 980-8579, Japan. Vol 41 No 3 pp 119–127.
- Fusagasugá Noticias. (15 de Octubre de 2019). *Fusagasugá Noticias*. Obtenido de Más de 9.7 millones de toneladas de comida se desperdician en Colombia: <http://fusagasuganoticias.com/word/actualidad/mas-de-9-7-millones-de-toneladas-de-comida-se-desperdician-en-colombia/>
- García, K., Guerra, D., Coronel, A., & Cruz, J. (2018). *Atributos físicos y químicos del fruto de feijoa en Veracruz*. Obtenido de México. Rev. Chapingo Ser.Hortic [online] vol.24, n.1, pp.5-12. ISSN 2007-4034. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.01.006>.
- GEF, MINENERGIA, PNUD, & FAO. (2011). *Manual de Biogas*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- GEF, MINENERGIA, PNUD, & FAO. (2011). *Manual de Biogás*. . Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- González, A. (Abril de 2013). *CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S. C*. Obtenido de Posibilidades y retos de la bioenergía: Estado del arte y perspectivas futuras: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/816/1/Angelina%20Gonz%C3%A1lez%20Rosas%20MER.pdf>
- González, Y. G. (2015). *Determinación del potencial energético de los Residuos Sólidos Urbanos en tres municipios de la provincia de Luanda, Angola*. Obtenido de Tecnología Química, 35-44.
- GOV.UK, & Department for Business, E. &. (2020). *Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020*. Obtenido de Conversion factors 2020: full set (for advanced users) : Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020 - GOV.UK ([www.gov.uk](http://www.gov.uk))
- Grupo de investigación Xué semillero de investigación Barión, U. D. (2020). *ESTADO DE LA COBERTURA ELÉCTRICA Y LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS EN LA REGIÓN CENTRAL*. Obtenido de Region Central RAP-E: <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/ESTADO-DE-LA-COBERTURA-ELECTRICA-Y-LAS-ZONAS-NO-INTERCONECTADAS-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL-3-1.pdf>
- Gualtero, K. J. (2019). *Sostenibilidad de la Producción de Energía a Partir de la Biomasa Forestal en la Orinoquía Colombiana*. Obtenido de Repositorio UCatolica: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23622/1/Sostenibilidad%20de%20la%20Producci%C3%B3n%20de%20Energ%C3%ADa%20a%20Partir%20de%20la%20Biomasa%20Forestal%20en%20la%20Orinoqu%C3%ADa%20Colomb.pdf>

- Guaneme, D. (2021). *EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE METANO CON DIFERENTES TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS ORGÁNICOS RURALES*. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8318/1/6142402-2021-1-IQ.pdf>
- Guardado, J. (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. Obtenido de [http://www.ideassonline.org/public/pdf/CUBASOLAR\\_Diseño\\_y\\_construcción\\_de\\_plantas\\_de\\_biogás.pdf](http://www.ideassonline.org/public/pdf/CUBASOLAR_Diseño_y_construcción_de_plantas_de_biogás.pdf)
- Guevara, A., & Jumbo, N. (2016). *CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DE UN FILTRANTE DE CINCO HIERBAS AROMÁTICAS Y ESTEVIOSIDO (Stevia rebaudina B)*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Ecuador: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4760/47>
- Hosseini, M. A. (2014). *Utilización de residuos sólidos de palma como fuente de energía renovable y energía sostenible en Malasia*. Obtenido de ELSEVIER: vol. 40, pp. 621–632
- ICA. (2020). *Censo Pecuario Nacional*. Obtenido de ICA Instituto Colombiano Agropecuario: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- ICEX, E. E. (11 de Mayo de 2020). *Bioenergía en Australia*. Obtenido de IVACE: [https://www.ivace.es/Internacional\\_Informes-Publicaciones/Pa%C3%ADses/Australia/Australiaenergiasrenovablesicex2020.pdf](https://www.ivace.es/Internacional_Informes-Publicaciones/Pa%C3%ADses/Australia/Australiaenergiasrenovablesicex2020.pdf)
- International Biochar Initiative. (Noviembre de 2015). *Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil*. Obtenido de International Biochar Initiative: [https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI\\_Biochar\\_Standards\\_V2.1\\_Final.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf)
- INVEMAR. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos*. Obtenido de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTécnicasanalíticas..pdf>
- Jaramillo, G., & Zapata, L. M. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. Obtenido de Universidad de Antioquia: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Larrea, M., & Bilbao, M. (Junio de 2020). *LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN EL REINO UNIDO*. Obtenido de Instituto Vasco de Competitividad – Fundación Deusto: <https://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orquestra/200019-la-transicion-energetica-en-el-Reino-Unido.pdf>
- Leon, M. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE CAJICÁ*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16909/Le%C3%B3nArdilaMar%C3%ADadelPilar2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Martina, P., Aeberhard, R., Corace, J., García, E., & Bucki, B. (2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALORÍMETRO DE JUNKERS PARA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DEL BIOGÁS*. Obtenido de Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente: <https://core.ac.uk/download/pdf/328878202.pdf>

- Mather-Gratton, Z., Larsen, S., & BentsenID, N. S. (2021). Understanding the sustainability debate on forest biomass for energy in Europe: A discourse analysis. *PLoS ONE* 16(2): e0246873, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246873>.
- Miltner, M., Makaruk, A., Harasek, M., & Friedl, A. (13 de Diciembre de 2006). *CFD-MODELLING FOR THE COMBUSTION OF SOLID BALED BIOMASS*. Obtenido de Fifth International Conference on CFD in the Process Industries: [https://www.cfd.com.au/cfd\\_conf06/PDFs/132Har.pdf](https://www.cfd.com.au/cfd_conf06/PDFs/132Har.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (14 de Abril de 2016). *Estrategia Colombia Siembra*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: [https://www.minagricultura.gov.co/Documents/Estrategia\\_Colombia\\_Siembra.pdf](https://www.minagricultura.gov.co/Documents/Estrategia_Colombia_Siembra.pdf)
- Ministerio de Ambiente & Desarrollo Sostenible. (10 de Junio de 2021). *Huella de Carbono*. Obtenido de Huella de Carbono: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/mitigaci/huella-de-carbono>
- Ministerio de Minas y Energía. (28 de Enero de 2020). *La transición energética: una oportunidad para Colombia*. Obtenido de Minenergía, Historico de noticias: <https://www.minenergia.gov.co/web/guest/historico-de-noticias?idNoticia=24169438>
- Ministerio de Minas y Energía, M. (28 de Abril de 2017). *En Colombia tenemos un gran potencial de producir energía por medio de biomasa: MinMinas*. Obtenido de Minenergía: <https://www.minenergia.gov.co/web/guest/historico-de-noticias?idNoticia=23881138>
- Ministerio de Minas y Energía, M. (14 de Diciembre de 2020). *Puerto Carreño tiene soberanía eléctrica: más de 18 mil habitantes ahora cuentan con suministro 100% local*. Obtenido de Minenergía: <https://www.minenergia.gov.co/web/guest/historico-de-noticias?idNoticia=24258717>
- Ministerio de Minas y Energía, M., & Unidad de Planeación Minero Energética, U. (2014). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014*. Obtenido de UPME: [https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla\\_IGE\\_Incentivos\\_Tributarios\\_Ley\\_1715.pdf](https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley_1715.pdf)
- Moreira, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (1998). *Tabla de Composición de Alimentos*. Obtenido de Piramide, WordPress: [https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas\\_de\\_composicion\\_de\\_alimentos.pdf](https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas_de_composicion_de_alimentos.pdf)
- Moreira, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (1998). *Tabla de Composición de Alimentos*. Obtenido de Pirámide, WordPress: [https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas\\_de\\_composicion\\_de\\_alimentos.pdf](https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas_de_composicion_de_alimentos.pdf)
- Moreno, C. E. (Mayo de 2019). *Repository EAFIT*. Obtenido de [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15877/CharlieEnrique\\_HurtadoMoreno\\_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15877/CharlieEnrique_HurtadoMoreno_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Myfitnesspal. (2021). *Tomate De Árbol 100g - Tomate De árbol 100g*. Obtenido de <https://www.myfitnesspal.com/es/food/calories/tomate-de-arbol-100g-399839632>

- Olaya, C., & González, L. (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*.  
Obtenido de  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10762/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Parra, R. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *SciELO*, vol.10 no.2.
- Perea, A., García, A., Novas, N., & Manzano, F. (2017). Rooftop analysis for solar flat plate collector assessment to achieving sustainability energy. *J. Clean Prod.*, 148, 545–554. [Google Scholar] [CrossRef].
- Perea, M. A., Samerón, E., & Perea, A. J. (2019). Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. *Sustainability in Mediterranean Climate*, 11(3), 863; <https://doi.org/10.3390/su11030863>.
- Plata, L. (2006). *Biomasa agrícola y forestal como fuente competitiva de energía alternativa en zonas no interconectadas: perspectiva y viabilidad de implementaciones en Colombia*. Obtenido de  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/22737/u271070.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pure Earth. (2016). *Manual del investigador*. New York: Toxic Sites Identification Program.
- Quintero, J. R., & Quintero, L. E. (Enero de 2015). Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano. *Gestión y Ambiente*, Volumen 18 (1): 179-188 junio de 2015 issn 0124.17. Obtenido de FEDEA: <https://documentos.fedea.net/pubs/eee/eee2020-01.pdf>
- Quintero, L. A., & Torres, C. I. (2019). *Análisis de residuos sólidos de palma africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento del Cesar*. Obtenido de Ingenierías USBMed: Doi: 10.21500/20275846.3662
- Ramírez, L. F., & Barrera, D. F. (2017). *POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA – COLOMBIA*. Bogota: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, FACULTAD DE INGENIERÍA.
- Revista Semana. (4 de Agosto de 2018). Colombia da sus primeros pasos para implementar energías renovables. *Colombia da sus primeros pasos para implementar energías renovables*, págs.  
<https://www.semana.com/pais/articulo/colombia-avanza-en-generacion-de-energias-renovables/257078/>.
- Rincón, J. M., Durán, D. M., Quintero, O., Duarte, C. S., Guevara, P. O., & Velásquez, M. E. (Noviembre de 2018). Disponibilidad de Biomasa residual y su potencial para la producción de Biogas en Colombia. *Revista CIDET*, pág. 18.
- Rodríguez, L. (2019). *La generación de residuos orgánicos en Cundinamarca y sus mecanismos de aprovechamiento en la generación de energías limpias*. Obtenido de  
[https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/17416/1/2019-residuos\\_mecanismos\\_aprovechamiento.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/17416/1/2019-residuos_mecanismos_aprovechamiento.pdf)
- Romero, A. (2010). *APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES*. Obtenido de <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Sabana Centro Cómo Vamos. (s.f.). *Sabana Centro Cómo Vamos*. Obtenido de Quiénes somos: <http://sabanacentrocomovamos.org/home/>

- Sanchez, A. (Julio de 2016). Producción integrada de etanol y metano a partir del bagazo de caña de azúcar pretratado mediante procesos térmicos . Valladolid, España.
- Secretaria de Energía. (Junio de 2009). *Secretaria de Energía, Presidencia de la Nación. Argentina*. Obtenido de Energia Gov. Argentina: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/novedades/EnergiasRenovables.pdf>
- Tierradentro, J., & Montaña, K. (6 de Marzo de 2020). *Aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria en Colombia*. Obtenido de Fundación Universitaria San Mateo: <http://cipres.sanmateo.edu.co/index.php/mi/article/view/297/247>
- Twenergy. (29 de Noviembre de 2019). *Breve guía para entender la generación de energía en Colombia*. Obtenido de Breve guía para entender la generación de energía en Colombia: <https://twenergy.com/energia/energias-renovables/generacion-de-energia-en-colombia/>
- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2020). *Biomasa en la región central*. Obtenido de <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/Biomasa-en-la-Regio%CC%81n-Central..pdf>
- Universidad Industrial de Santander, C. d., UPME, U. d., & IDEAM, I. d. (2011). *Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia*. Obtenido de UPME: [https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Atlas-Biomasa/Anexo\\_A\\_Biomasa\\_fuente\\_renovable\\_energia.pdf](https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Atlas-Biomasa/Anexo_A_Biomasa_fuente_renovable_energia.pdf)
- Universidad Nacional de Colombia. (2019). *Obtenido de Inclusión de nuevas tecnologías es clave para la gestión integral de residuos sólidos*. Obtenido de <http://ieu.unal.edu.co/en/medios/noticias-del-ieu/item/inclusion-de-nuevas-tecnologias-es-clave-para-la-gestion-integral-de-residuos-solidos>
- Urango, L. (2018). *Componentes del maíz en la nutrición humana. En L. Urango, Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México* . Obtenido de (pág. 193). Medellín Colombia: Biogénesis.
- Vegaffinity. (s.f.). *Acelga: beneficios e información nutricional*. Obtenido de <https://www.vegaffinity.com/comunidad/alimento/accelga-beneficios-informacion-nutricional--f4>
- Vegaffinity. (s.f.). *Brócoli*. Obtenido de <https://www.vegaffinity.com/comunidad/alimento/brocoli-brecol-beneficios-informacion-nutricional--f9>
- Victor Andres Arias Espana, A. R. (15 de Marzo de 2018). Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. *National Library of Medicine, National Center for Biotechnology Information*, 4. Obtenido de PubMed: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29128768/>
- Villada, F., Lopez, J., & Muñoz, N. (2017). *Effects of incentives for renewable energy in Colombia* . Obtenido de [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/10960/1/MunozNicolas\\_2017\\_EffectsIncentivesRenewable.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/10960/1/MunozNicolas_2017_EffectsIncentivesRenewable.pdf)
- Villanueva, D. (2018). *Estudio sobre Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de colombia fase II*. Obtenido de [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe%202/ANEXO%201\\_An%C3%A1lisis%20sector%20agr%C3%ADcola.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe%202/ANEXO%201_An%C3%A1lisis%20sector%20agr%C3%ADcola.pdf)
- WebConsultas. (2020). *Cilantro*. Obtenido de <https://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/plantas-medicinales/cilantro-que-es-principios-activos-y-nutrientes>

Weebly, U. (s.f). *Valor nutricional*. Obtenido de DU-Uchuv:  
<https://uchuvas.weebly.com/valor-nutricional.html>

Weebly, U. (s.f). *Valor nutricional*. Obtenido de <https://uchuvas.weebly.com/valor-nutricional.html>

## ANEXOS

### Anexo 1. Carta de la alcaldía de Zipaquirá

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA  
ALCALDÍA MUNICIPAL DE ZIQAQUIRÁ  
SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL Y AMBIENTE



GOBIERNO MUNICIPAL  
**ZIQAQUIRÁ**  
CALIDAD DE VIDA

SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL Y AMBIENTE

Zipaquirá, 22 de abril de 2021

Rad #: 2021-140.2-2762-1

Fecha: 2021-04-22 11:26:43

Señora  
**JOHYS BUITRAGO VELANDIA**  
Estudiante Maestría en Gerencia de Proyectos  
Universidad de La Sabana  
Correo: johysbu@unisabana.edu.co  
Ciudad

**Asunto: SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA EL PROYECTO "ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN MUNICIPIOS DE LA SABANA DE BOGOTÁ"**

Respetada Señora Johys,

Reciban un cordial saludo de la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente -SDRA-, deseándole éxitos en el desarrollo de su gestión.

Por medio de la presente, nos permitimos dar respuesta a la solicitud de información realizada por usted haciendo las siguientes claridades:

1. Infortunadamente el municipio no cuenta con estudios previos o con datos oficiales donde se hayan cuantificado los residuos que se generan en el sector pecuario, sector agrícola y sector industrial para el año 2020 en los términos requeridos por usted.
2. Con respecto al tema urbano en la plaza de mercado para el año 2018 se construyó el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, donde se realizaron las caracterizaciones de residuos en este espacio y se cuantificó la producción semanal, mensual y anual. Para ello nos permitimos enviar dicho documento como soporte de estas actividades.
3. El municipio cuenta con el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) donde se especifican las caracterizaciones y proyecciones de residuos, por estrato para el sector urbano y rural. Esta información se encuentra disponible en el capítulo 9, pero recomendamos revisar el documento en su totalidad, el cual anexamos, dado que la gestión de residuos sólidos en el municipio gira en torno a este plan.
4. El municipio en la actualidad cuenta con rutas de recolección de residuos orgánicos con una cobertura aproximada del 35%, aprovechando mensualmente 32 Toneladas de este tipo de residuos provenientes del sector residencial del municipio.

Dependencia Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente - SDRA.	Elabora: Luz Carlos Malayo Profesional SDRA	Revisa: ING. WILMIRA YAJAY VENEZAS ZAMBRANO Directora Técnica SDRA	Aproba: Nelson Javier Villamil Carr Secretario de Desarrollo Rural y Ambiente SDRA	Revisó: E. Alcaldía Zipaquirá 2021 Respuesta Radicado Queja Alameda San Rafael.docx
--	---	---	--	--

 ISO 9001	 ICNet Certificado 01-01-00000001	Casa de gobierno, Carrera 8 N°5-83 Zipaquirá Cundinamarca Colombia Teléfono: 3138891363 Código Postal: 250252 Secretariadesarrollorural@zipaquirá-cundinamarca.gov.co
--------------	---	---

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA  
 ALCALDÍA MUNICIPAL DE ZIPAQUIRÁ  
 SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL Y AMBIENTE



GOBIERNO MUNICIPAL  
**ZIPAQUIRÁ**  
 CALIDAD DE VIDA

SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL Y AMBIENTE

Adicionalmente y de considerar necesario puede comunicarse con el Ingeniero Luis Carlos Molano al número telefónico 313 206 0773 como persona encargada de realizar seguimiento al cumplimiento del PGIRS, quien puede aclarar sus inquietudes al respecto y brindar mayor información.

Sin otro sobre el particular y atento a cualquier inquietud,

Atentamente,

**WILMER YAIR VENEGAS ZAMBRANO**  
 Director Técnico  
 Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente



Distribución: Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente - 100%	Expediente: Luis Carlos Molano Profesional 12824	Remite: ING. WILMER ZAMBRANO Director Técnico SDA	Asunto: Informe de avance de cumplimiento del PGIRS	Ruta: 1. Molano 2. Expansión de Servicios Públicos 3. Unidad de Planeación y Desarrollo Urbano
---	---	---	--	---

	Casa de gobierno, Carrera 8 N°5-83 Zipaquirá Cundinamarca Colombia Teléfono: 3138891363 Código Postal: 250252 SecretariaDesarrolloRural@zipaquirá-cundinamarca.gov.co
--	---

**Anexo 2. Carta de la alcaldía de Cajicá**

  
ALCALDÍA MUNICIPAL  
DE CAJICÁ

*Secretaría de Ambiente y Desarrollo Rural*

**OFICIO**

**AMC-SADER-0436-2021**  
Cajicá, 23 de abril de 2021

Señora:  
**JOHYS BUITRAGO VELANDIA**  
Estudiante  
Universidad de la Sabana  
[johysbu@unisabana.edu.co](mailto:johysbu@unisabana.edu.co)

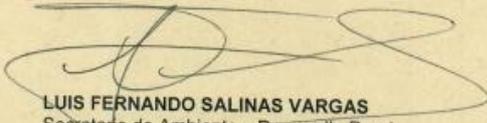
**ASUNTO: Solicitud de información para Proyecto "Estimación de la Generación de Energía Renovable a partir del Potencial Energético de la Biomasa disponible en municipios de la Sabana de Bogotá"**

Cordial saludo, deseándole éxito en sus labores diarias.

De manera atenta la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Rural, se permite informar que no cuenta con registro de cantidad de volúmenes de residuos generados, por las siguientes razones dadas por sector:

- Sector agrícola: Los agricultores del municipio incorporan los residuos de su cosecha en el suelo, como abono verde y la industria que genera residuos agroindustriales, tales como empresas de flores, transforman los residuos en compostaje.
- Sector pecuario: Estos no se encuentran cuantificados y lo que se conoce es que en cuanto a la producción bovina se maneja como fertilizante en las praderas de pastoreo.
- Sector urbano: El municipio no cuenta con plaza de mercado ni centro de abastos; los residuos producto de la actividad del corte de césped y podas de árboles se encuentra alrededor 624 toneladas, además se cuenta con el programa de caneca verde el cual reporta aproximadamente 5300,05 toneladas de residuos orgánicos domiciliarios en el año 2020. Datos suministrados por la Empresa de servicios públicos de Cajicá.
- Sector industrial: Cada empresa al ser de carácter privado cuenta con sus propios planes de manejo y no se cuentan con estadísticas al respecto de los residuos generados.

Atentamente,

  
**LUIS FERNANDO SALINAS VARGAS**  
Secretario de Ambiente y Desarrollo Rural

Proyectó: Deira Ivette Suárez Rivera – Contratista SADER  
Revisó: Diana Paola Mora Castro – Profesional Universitario SADER  
Aprobó: Luis Fernando Salinas Vargas – Secretario de Ambiente y Desarrollo Rural

---

 **CAJICÁ**  
TEJIENDO FUTURO  
UNIDOS CON TODA SEGURIDAD

Calle 2 No. 4-07 - Cajicá - Cundinamarca - Colombia  
Código postal: 250240 PBX (57+1) 8796396 - 8637077  
Correo: [contactenos-cgrs@cajica.gov.co](mailto:contactenos-cgrs@cajica.gov.co) Página web: [www.cajica.gov.co](http://www.cajica.gov.co)

   
ISO 9001  
CERTIFICADO  
REGISTRADO

CO-800267118

**Anexo 3. Carta de la empresa de servicios públicos de Cajicá**



Cajicá, 19 de abril de 2021

Señor:  
**LUIS FERNANDO SALINAS**  
 Secretaria de Ambiente y Desarrollo Rural  
[secambienteydesarrollorural@cajica.gov.co](mailto:secambienteydesarrollorural@cajica.gov.co)  
 Municipio de Cajicá



**Asunto:** Remisión por competencia

Cordial saludo,

Por medio de la presente y de acuerdo a la solicitud realizada por la estudiante **JOHYS BUITRAGO VELANDIA** de la universidad de la sabana, me permito remitir por competencia solicitud de información con respecto a los volúmenes de residuos generados en el sector pecuario, sector agrícola y sector industrial en el año 2020; por parte de la Empresa de Servicios de Cajicá S.A. ESP se dio alcance al punto de residuos sector urbano de acuerdo a la actividad de la EPC Cajicá.

Se adjunta solicitud.

Agradecemos la atención prestada.

Atentamente:

**CESAR ENRIQUE VENEGAS ABRIL**  
 Director de Aseo  
 Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A. ESP



RESPONSABLE	CARGO	NOMBRE	FIRMA
Proyectó	Profesional Universitario Ambiental	Mary Alejandra Sánchez Quintero	
Revisó	Profesional Universitario Aseo	Carolina Bailen	
Aprobó	Director de Aseo	Cesar Enrique Venegas Abril	

Los firmantes, manifiestamos expresamente que se ha elaborado, revisado y aprobado el presente documento administrativo, y por encontrarse ajustado a las disposiciones, constitucionales, legales y reglamentarias vigentes, lo presentamos para su firma bajo nuestra responsabilidad.

Dirección: Calle 3 Sur N° 1-35 Cajicá / Tel: 8662845 – 8796531 / [www.epccajica.gov.co](http://www.epccajica.gov.co) / [empresa\\_epc@epccajica.gov.co](mailto:empresa_epc@epccajica.gov.co) / NIT 832002385-5

Cajicá, 19 de abril de 2021

Señorita:  
**JOHYS BUITRAGO VELANDIA**  
Estudiante  
Universidad de la Sabana  
[lohysbu@unisabana.edu.co](mailto:lohysbu@unisabana.edu.co)



**Asunto:** Respuesta solicitud de información

Cordial saludo,

De acuerdo a la remisión por competencia del Concejo Municipal de Cajicá, me permito aclarar que la Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A. ESP empresa prestadora de servicios públicos domicilios de acueducto, alcantarillado y aseo, realiza la recolección de residuos ordinarios e inservibles y residuos orgánicos.

De acuerdo a lo anterior me permito relacionar las toneladas generadas en el año 2020 sobre residuos sector urbano (residuos de plazas de mercado, residuos de centro de abastos y residuos de poda):

Tipo de Residuo	Cantidad (TON)/ Promedio
Residuos orgánicos	5300,05
Residuos de poda	624

Cabe aclarar que el municipio de Cajicá no cuenta con plazas de mercado y centro de abastos.

Por otro lado, se remite por competencia a la Secretaria de Ambiente y Desarrollo rural su solicitud con respecto al sector pecuario, sector agrícola y sector industrial para que sea allegada la información correspondiente con salida EPC No. 930.

Atentamente:

**CESAR ENRIQUE VENEGAS ABRIL**  
Director de Aseo  
Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A. ESP



RESPONSABLE	CARGO	NOMBRE	FIRMA
Proyectó	Profesional Universitario Ambiental	Mary Alejandra Sánchez Quintero	
Revisó	Profesional Universitario Aseo	Carolina Bailen	
Aprobó	Director de Aseo	Cesar Enrique Venegas Abril	

Los firmantes, manifiestamos expresamente que se ha elaborado, revisado y aprobado el presente documento administrativo, y por encontrarse ajustado a las disposiciones, constitucionales, legales y reglamentarias vigentes, lo presentamos para su firma bajo nuestra responsabilidad.

Dirección: Calle 3 Sur N° 1-35 Cajicá / Tel: 8662845 - 8796531 / [www.bocccajica.gov.co](http://www.bocccajica.gov.co) / [empresa\\_epo@epccajica.gov.co](mailto:empresa_epo@epccajica.gov.co) / NIT 832002386-5

Anexo 4. Carta de la alcaldía de Sopó



República de Colombia  
Departamento de Cundinamarca  
Alcaldía Municipal de Sopó  
Documento Controlado  
Versión: 07  
Vigencia: 09-07-2020

Secretaría de Desarrollo Económico  
Y Grupo Agrario

Sopó, martes 13 de abril de 2021

2021-SDE-0065

Señor (a)

**JOHYS BUITRAGO VELANDIA**  
**ESTUDIANTE DE MAGISTER EN GERENCIA DE INGENIERIA**  
**johysbu@unisabana.edu.co**  
Km 2 Vía Chía Cajicá  
Tel: 3142925227

**ASUNTO:** Respuesta PQRSF Solicitud de Información

Respetada Ingeniera:

Reciba un cordial saludo, desde la administración Municipal "**Sopó, es Nuestro Tiempo**", a través de la Secretaría de Desarrollo Económico.

Dando respuesta a su requerimiento de información sobre los volúmenes de residuos generados en cada uno de los siguientes sectores en el año 2020:

• **Sector agrícola:**

Residuos de cosechas de los cultivos (papa, ajo y hortalizas que son los más comunes en el municipio de Sopó) son secados e incorporados en la misma tierra de producción. En cuanto a residuos agroindustriales el municipio no cuenta con este tipo de empresas.

• **Sector pecuario:**

Residuos Bovinos: se producen en promedio 113 toneladas al día, las cuales son incorporadas en el manejo tradicional de la ganadería.

Residuos avícolas: deben ser compostados según plan de manejo ambiental que deben de presentar.

Residuos porcícolas: el municipio de Sopó no cuenta con este tipo de sistema productivo.

• **Sector urbano** (residuos de plazas de mercado, residuos de centros de abasto y residuos de podas): este proceso lo maneja la empresa de servicios públicos de Sopó (EMSERSOPO), con la cual se puede contactar al número 3154049294.

• **Sector industrial:** con relación a este sector no manejamos registros.



Alcaldía municipal, carrera 3 No 2-45 Parque principal, Sopó Cundinamarca  
Teléfono: 5876644 – Fax: extensión 624  
www.sopo-cundinamarca.gov.co  
Código postal 251001





República de Colombia  
Departamento de Cundinamarca  
Alcaldía Municipal de Sopó  
Documento Controlado  
Versión: 07  
Vigencia: 09-07-2020

Secretaría de Desarrollo Económico  
Y Grupo Agrario

**Nota:** Apreciado Usuario, para la Administración Municipal "**Sopó es Nuestro Tiempo 2020-2023**", es muy importante conocer como fue tú experiencia con el proceso de Atención de requerimientos Escritos.

Por lo anterior, te agradecemos ingresar al siguiente link <https://forms.gle/5XTdiEQKVKJfXREM6> y/o escaneando desde tu dispositivo móvil el código QR y diligenciar una breve encuesta.



Sin otro sobre el particular, me suscribo.

Cordialmente,

**DIEGO MAURICIO CARREÑO MORENO**

Secretario de Despacho  
Desarrollo Económico y Grupo Agrario

Con copia:

Aprobó: Dr. Diego Mauricio Carreño

Proyectó: Dra. Constanza Pimentel

Digitó: Dra. Constanza Pimentel

Anexos: nn



Alcaldía municipal, carrera 3 No 2-45 Parque principal, Sopó Cundinamarca  
Teléfono: 5876644 – Fax. extensión 624  
[www.sopo-cundinamarca.gov.co](http://www.sopo-cundinamarca.gov.co)  
Código postal 251001



Anexo 5. Carta de la alcaldía de Tocancipá



**SDA – 116**

Tocancipá, 19 de abril de 2021.

Ingeniero.  
**LISANDRO RODRIGUEZ HAMON**  
Gerente Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá.  
La ciudad.

Ref.: traslado de solicitud de información Johys Buitrago Velandia.

Cordial saludo,

Dando alcance de la solicitud presentada por la estudiante JOHYS BUITRAGO VELANDIA, me permito de conformidad con lo estipulado en el artículo 21 de la ley 1755 de 2015, dar traslado de dicha solicitud con el fin de que le brinden información referente a volúmenes de residuos generados.

Se adjunta copia de la solicitud en mención

Atentamente,

  
**WILSON INFANTE PADILLA**

Secretario del Ambiente

Proyectó: Stella Acosta- SDA

Revisó y Aprobó: WILSON INFANTE PADILLA

C/Compartida2021/Oficios2021/SDA – 116

Calle 11 N° 6 - 12 Teléfono: 516 9017 - 018000 944104  
Código Postal: 251010  
Página web: [www.tocancipa-cundinamarca.gov.co](http://www.tocancipa-cundinamarca.gov.co)  
NIT: 899999428-8



Anexo 6. Carta de Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá



**EMPRESA DE  
SERVICIOS PÚBLICOS  
DE TOCANCIPÁ S.A.ESP**  
Nit. 900.227.413-9

ESP TOCANCIPÁ  
10 May 21 09:19 PM  
CORREO ELECTRÓNICO: 180 SUBDIRECCIÓN TÉCNICA OPERATIVA  
SECRETARÍA ADMINISTRATIVA  
Asunto: Trámite por cumplimiento de solicitud de información  
Al destinatario: JOHYS BUITRAGO VELANDIA  
Asunto: 1 Fecha: 1



MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ  
TRADICION Y PROGRESO

Tocancipá, Mayo 10 de 2021

Señor  
**JOHYS BUITRAGO VELANDIA**  
Estudiante  
Universidad de La Sabana  
[johysbu@unisabana.edu.co](mailto:johysbu@unisabana.edu.co)

**Referencia: Radicado interno 1027**

**Asunto: Solicitud de información**

Reciba un cordial saludo de parte del equipo de trabajo de la Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá S.A. ESP.

Con el fin de atender a su petición, la Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá S.A. ESP, procede a brindar la información referente a los volúmenes de residuos sólidos generados por los siguientes sectores:

- Sector Urbano: 10.048,95 toneladas de residuos sólidos vigencia 2020
- Sector Industrial: 764,59 toneladas de residuos sólidos vigencia 2020

Los residuos sólidos corresponden a residuos no aprovechables, convencionales, los cuales fueron dispuestos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo S.A. ESP.

En cuanto a los residuos sólidos de los sectores agrícola y pecuario, no contamos con esta información, puesto que la Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá S.A. ESP, lleva el control de residuos sólidos por tipo de suscriptor, los cuales se clasifican en residenciales, comerciales e industriales.

Esperamos que la información suministrada sea de gran utilidad.

Atentamente,

  
**SONIA MERCEDES RODRIGUEZ SARMIENTO**  
Subgerente Técnico Operativo

Elaboró: Diana Mora Latorre, Profesional Universitario- Aprobó: Sonia Mercedes Rodríguez Sarmiento, Subgerente Técnico-Operativo



**TOCANCIPÁ**  
TRABAJAMOS Para Ti

Calle 10 No. 6-63 Tocancipá, Cundinamarca  
Tels. 878 8339 - 878 8527  
E-mail: [atencionalusuario@esptocancipa.com](mailto:atencionalusuario@esptocancipa.com)  
[www.esptocancipa.com](http://www.esptocancipa.com)

ISO 9001:2015  
BUREAU VERITAS  
Certification



Anexo 7. Carta del Ministerio de Ambiente



Radicado No 2402-2-553

Bogotá D.C., **26 de abril de 2021**

Señora  
JOHIS BUITRAGO VELANDIA  
[johysbu@unisabana.edu.co](mailto:johysbu@unisabana.edu.co)

Asunto: Radicado No. 11344 – Consulta sobre biomasa residual en municipios de la Sabana y Cundinamarca.

Estimada Señora Johis,

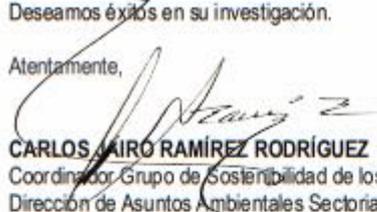
En atención a la consulta en mención, trasladada a esta Dirección el 8 de abril de 2021 por parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, en la cual solicita "... *específicamente los volúmenes de residuos generados en el año 2020 para todos los municipios de Cundinamarca...*", en virtud de lo contemplado en el Artículo 28 de la Ley 1755 de 2015, me permito informarle lo siguiente:

En lo referente a residuos urbanos la competencia para consolidar las cifras en el marco del servicio de aseo es de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, ante quien puede elevar consulta.

Dado que su interés primordial es sobre residuos agropecuarios para la producción de energía, la información más reciente está publicada en el estudio contratado por la UPME en 2018 con la Universidad Nacional y Tecsol denominado "Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento". Este estudio actualiza las cifras del "Atlas de Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia" del año 2010, para algunas biomásas agrícolas seleccionadas. Cabe señalar que la información se tiene por departamento, no se llega a nivel de desagregación municipal. Se puede acceder a esta información en la página web de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

Deseamos éxitos en su investigación.

Atentamente,

  
**CARLOS JAIRO RAMÍREZ RODRÍGUEZ**  
Coordinador Grupo de Sostenibilidad de los Sectores Productivos  
Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana

Elaboró: María Cecilia Concha – Carlos Mauricio Silva  
Revisó: Carlos Jairo Ramirez  
Fecha de elaboración: 15-04-2020

Los arriba firmantes declaramos que hemos revisado el presente documento y lo encontramos ajustado a las normas y disposiciones legales y/o técnicas vigentes y, por lo tanto, bajo nuestra responsabilidad lo presentamos para la firma del Remitente

F-E-SIG-26-V3, Vigenda 18/12/2018

Calle 37 No. 8 – 40 – Bogotá D.C.  
Conmutador (571) 3323400  
[www.minambiente.gov.co](http://www.minambiente.gov.co)

**Anexo 8 Resumen de respuesta de las administraciones municipales**

Municipio	Entidad	Contactado	Respuesta	Comentarios
Cajicá	Alcaldía	Si	Si	Los residuos agrícolas se utilizan como abono y compostaje, los residuos pecuarios no se encuentran cuantificados y se sabe que son utilizados como fertilizantes y del sector industrial Las empresas cuentan con sus propios planes de manejo de los residuos, no se conoce esta información.
	EPC	Si	Si	No cuenta con plaza de mercado, se generan aproximadamente 624 toneladas de corte césped y podas y el programa de caneca verde genera 5300,05 toneladas de residuos orgánicos en el año 2020
Chía	Alcaldía	Si	No	
	Emserchia	Si	No	
Cogua	Alcaldía	Si	Si	No cuentan con una estadística en producción de biomasa tanto en el sector pecuario, agrícola e industrial.
	Superservicios	Si	No	
Cota	Alcaldía	Si	No	
	Emsercota	Si	No	
Gachancipá	Alcaldía	Si	No	
	Superservicios	Si	No	
Nemocón	Alcaldía	Si	No	
	Superservicios	Si	No	
Sopó	Alcaldía	Si	Si	Los residuos (hortalizas, papa, ajo) son secados e incorporados en la misma tierra, los residuos pecuarios son usados como compostaje o se incorporan en el manejo tradicional de la ganadería.
	Emsersopo	Si	No	
Tabio	Alcaldía	Si	Si	
	Emsertabio	Si	Si	La recolección de los residuos sólidos de las diferentes rutas, no se realiza de manera separada en los sectores económicos trabajados.
Tenjo	Alcaldía	Si	No	
	Emsertenjo	Si	Si	Tenjo solamente cuenta con una plaza de mercado a la cual se le realiza la recolección de residuos ordinarios 2.5 Ton/mes y orgánicos 1 Ton/mes; con relación al sector industrial EMSERTENJO S.A ESP no recoge residuos a ninguna industria láctea, cervecera y destilería.
Tocancipá	Alcaldía	Si	Si	
	ESP Tocancipá	Si	Si	Los residuos sólidos cuantificados corresponden a residuos no aprovechables y no óptimos para este estudio.

Zipaquirá	Alcaldía	Si	Si	El municipio no cuenta con datos de cuantificación de residuos de los diferentes sectores para el año 2020 y cuenta con rutas de recolección de residuos urbanos orgánicos con una cobertura del 35% aprovechando mensualmente 32 toneladas.
	Eaaaz	Si	No	
Colombia	Minagricultura	Si	Si	La información más reciente se encuentra publicada en "Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento" estudio realizado por la UPME, U. Nacional y Tecsol.  El tema de inventarios se descarga de la página web del ICA, el cual es una información pública y oficial.
	MinAmbiente	Si	Si	
	Cenipalma	Si	No	
	Cenicafe	Si	No	
	Fenalce	Si	No	
	Fedepapa	Si	No	
	Asocébú	Si	No	
	Asocolflores	Si	No	
	Porkcolombia	Si	Si	
	Andi	Si	No	
	Analac	Si	No	
	Agrosavia	Si	No	
	Fedegan	Si	No	
	Fenavi	Si	No	
	SAC	Si	No	
	ICA	Si	No	
	Bavaria	Si	No	
UPME	Si	No		

**Anexo 9 Datos obtenidos del sector agrícola año 2019**

Municipio	Tipo de residuo	Semestre	As (ha)	Ac (ha)	P (ton)	R (ton/año)
Cajicá	Maíz	A	1,9	1,6	1,92	0,99
		B	27	26,3	23,67	
	Acelga	A	0,9	0,8	12	13,5
		B	15,3	14,5	217,5	
	Brócoli	A	15,3	14,1	310,2	74,8
		B	16,4	14,2	312,4	
	Cilantro	A	10,9	10	70	21
		B	26,8	24,7	172,9	
	Coliflor	A	65,6	63,1	1.451,3	80,5
		B	19	18	414	
	Espinaca	A	5,2	4,7	89,3	31,5

		B	14	13	286	
	Lechuga	A	101,8	96,2	2.212,1	220,77
		B	63	59	1357	
	Remolacha	A	6,7	6,2	137,1	39,05
		B	15,6	14,2	284	
	Zanahoria	A	4	3	69	43,4
		B	9,6	8,8	224,4	
	Apio	A	6,9	6	132	33
		B	6,6	6	132	
	Ajo	B	6,5	6	102	8,5
	Arveja	A	25,7	23,7	66,44	6,77
		B	1,6	1,2	3,50	
	Papa	A	3,7	3,4	20	43,76
		B	47,9	45,8	916	
Chía	Flores y follajes		4	3,6	90	10
	Ciruela		3	2,9	29	1
	Durazno		2	1,5	10,5	3,5
	Feijoa		3	2,6	20,8	3,2
	Tomate de árbol		6	5	30	6
	Mora		5	4	40	10
	Plantas aromáticas		6	5,5	82,5	7,5
Cogua	Rosas		68	65	1.820	84
	Arándano		3	0	0	3
	Fresa		15	12	720	180
	Hortalizas varias	A	26	25	200	16
		B	26	25	200	
	Zanahorias		7	6,5	162,5	25
	Arveja	A	10	8	29,90	11,21
		B	8	7	26,16	
	Papa	A	440	408	7.344	738
		B	405	396	7.128	
Cota	Maíz tecnificado	B	74	19,5	156	436
	Acelga	B	7	6,9	138	2
	Brócoli	B	4	3,9	78	2
	Cilantro	B	58,8	58	638	8,8
	Coliflor	B	3	2,94	70,56	1,44
	Espinaca	A	116,1	95,1	1.902	420
			116,2	116,1	2.322	
	Rábano	B	6	5,9	165,2	2,8
	Remolacha	B	2	1,96	98	2
	Zanahoria	A	11,3	11	308	14
		B	11	10,8	302,4	
	Arveja	B	10	9,7	45,32	1,40
	Perejil	B	21	17,6	211,2	40,8

	Papa	B	70	69,5	1807	13
Gachancipá	Mora		0,5	0	0	0,5
	Hortalizas varias	A	5	4	36	9
	Arveja	A	40	38	142,05	7,47
	Papa	A	80	78	1.638	42
Nemocón	Rosa		164	162	5.184	63,55
	Fresa		30	25	750	150
Sopó	Durazno		5	1	10	40
Tabio	Maíz tradicional	A	32	30	75,50	10,06
		B	30	28	70,47	
	Zanahoria		38	36	972	54
	Arveja	A	25	23	42,99	5,84
		B	26	25	52,57	
	Papa	A	84	82	1.886	94
B		80	78	1.872		
Tenjo	Maíz tradicional	A	400	380	1.733,8	91,25
					9	
	Arándano		12	5	60	84
	Lulo		4	3	30	10
	Tomate de árbol		11	10	104	10,4
	Zanahoria		40	25	550	330

As: área sembrada; Ac: área cosechada; P: producción; R: residuos por cosecha; ha: hectáreas

**Anexo 10 Datos obtenidos del sector agrícola año 2020**

Municipio	Tipo de residuo	As (ha)	Apa (ha)	Ape (ha)	Ae (ha)	Ad (ha)	Ac (ha)	P (Ton)	R (Ton/año)
Cajicá	Flores y follajes	143	0	0	60	0	83	0,00083	0,0006
	Uchuva	0,2	0	0,02	0	0	0,18	4,32	0,48
Nemocón	Clavel	61	0	5	0	0	56	1.792	160
	Fresa	25	0	1	0	0	24	624	26
	Rosa	162	0	2	0	0	160	4.480	56
Sopó	Durazno	5	0	0	3	0	2	28	42
Tenjo	Lulo	4	1	0	2	1	2	20	20
	Tomate de árbol	11	1	0	4	1	7	70	40

As: área sembrada; Apa: área plantada; Ape: área perdida; Ae: área erradicada; Ad: área en desarrollo; Ac: área cosechada; P: producción; R: residuos por cosecha; ha: hectáreas.

**Anexo 11 Datos obtenidos del sector pecuario subsector avícola.**

Municipio	Tipo de residuo	Total de cabeza por especie	Tasa de producción de estiércol por especie (Kg/cabeza*año)	Residuo por sector aviar (Ton/año)
Cajicá	Aves para producción de huevos	69000	25,55	1.762,95
	Aves para producción de carne	552000	38,33	21.158,16

Chía	Aves producción huevos	para de	57000	25,55	1.456,35
	Aves producción carne	para de	287569	38,33	11.022,519
Cogua	Aves producción carne	para de	219000	38,33	8.394,27
Cota	Aves producción huevos	para de	82000	25,55	2.095,1
	Aves producción carne	para de	125.000	38,33	4.791,25
Gachancipá	Aves producción huevos	para de	349000	25,55	8.916,95
	Aves producción carne	para de	129800	38,33	4.975,234
Nemocón	Aves producción huevos	para de	103000	25,55	2.631,65
	Aves producción carne	para de	319000	38,33	12.227,27
Sopó	Aves producción huevos	para de	22000	25,55	562,1
	Aves producción carne	para de	95000	38,33	3.641,35
Tabio	Aves producción huevos	para de	22000	25,55	562,1
	Aves producción carne	para de	45000	38,33	1.724,85
Tenjo	Aves producción carne	para de	85000	38,33	3.258,05
Tocancipá	Aves producción huevos	para de	400000	25,55	10.220
	Aves producción carne	para de	102358	38,33	3.923,38214
Zipaquirá	Aves producción huevos	para de	9800	25,55	250,39
	Aves producción carne	para de	9231	38,33	353,82423

**Anexo 12** Datos obtenidos del sector pecuario subsector bovino.

Municipio	Tipo de residuo	Total de cabeza por especie (hembra)	Total de cabeza por especie (macho)	Tasa de producción de estiércol por especie (Kg/cabeza*año)	Residuo por sector bovino (Ton/año)
Cajicá	Bovino < 1 año	841	318	1460	1.692,14

	Bovino entre 1-2 años	900	556	3285	4.782,96
	Bovino entre 2-3 años	540	190	5110	3.730,3
	Bovino > 3 años	2005	15	6570	13.271,4
Chía	Bovino < 1 año	1028	398	1460	2.081,96
	Bovino entre 1-2 años	1429	688	3285	6.954,345
	Bovino entre 2-3 años	539	223	5110	3.893,82
	Bovino > 3 años	1833	18	6570	12.161,07
Cogua	Bovino < 1 año	2940	889	1460	5.590,34
	Bovino entre 1-2 años	2834	1413	3285	13.951,395
	Bovino entre 2-3 años	2719	894	5110	18.462,43
	Bovino > 3 años	8490	89	6570	56.364,03
Cota	Bovino < 1 año	942	208	1460	1679
	Bovino entre 1-2 años	621	322	3285	3.097,755
	Bovino entre 2-3 años	857	54	5110	4.655,21
	Bovino > 3 años	1499	8	6570	9.900,99
Gachancipá	Bovino < 1 año	1197	272	1460	2.144,74
	Bovino entre 1-2 años	1337	407	3285	5.729,04
	Bovino entre 2-3 años	1049	165	5110	6.203,54
	Bovino > 3 años	4038	65	6570	26.956,71
Nemocón	Bovino < 1 año	2174	501	1460	3.905,5
	Bovino entre 1-2 años	1647	648	3285	7.539,075
	Bovino entre 2-3 años	2084	542	5110	1.3418,86
	Bovino > 3 años	7320	119	6570	48.874,23
Sopó	Bovino < 1 año	2905	749	1460	5.334,84
	Bovino entre 1-2 años	2479	866	3285	10.988,325
	Bovino entre 2-3 años	1824	213	5110	10.409,07
	Bovino > 3 años	6577	69	6570	43.664,22
Tabio	Bovino < 1 año	1575	735	1460	3.372,6
	Bovino entre 1-2 años	1650	948	3285	8.534,43
	Bovino entre 2-3 años	1196	401	5110	8.160,67
	Bovino > 3 años	3459	51	6570	23.060,7

Tenjo	Bovino < 1 año	3978	897	1460	7.117,5
	Bovino entre 1-2 años	3419	934	3285	14.299,605
	Bovino entre 2-3 años	3575	471	5110	20.675,06
	Bovino > 3 años	8738	135	6570	58.295,61
Tocancipá	Bovino < 1 año	1446	311	1460	2.565,22
	Bovino entre 1-2 años	1057	480	3285	5.049,045
	Bovino entre 2-3 años	1333	117	5110	7.409,5
	Bovino > 3 años	4095	34	6570	27.127,53
Zipaquirá	Bovino < 1 año	4099	1175	1460	7.700,04
	Bovino entre 1-2 años	3598	1637	3285	17.196,975
	Bovino entre 2-3 años	3143	969	5110	21.012,32
	Bovino > 3 años	10825	120	6570	71.908,65

**Anexo 13** Datos obtenidos del sector pecuario subsector porcino.

Municipio	Tipo de residuo	Total de cabeza por especie (hembra)	Tasa de producción de estiércol por especie (Kg/cabeza*año)	Residuo por sector porcino (Ton/año)
Cajicá	Cerdos criaderos tecnificados	de 185	1343,8	248,603
	Cerdos criaderos no tecnificados	de 87	1343,8	116,9106
Chía	Cerdos criaderos tecnificados	de 2599	1343,8	3.492,5362
	Cerdos criaderos no tecnificados	de 564	1343,8	757,9032
Cogua	Cerdos criaderos tecnificados	de 2099	1343,8	2.820,6362
	Cerdos criaderos no tecnificados	de 697	1343,8	936,6286
Cota	Cerdos criaderos tecnificados	de 211	1343,8	283,5418
	Cerdos criaderos no tecnificados	de 279	1343,8	374,9202
Gachancipá	Cerdos criaderos tecnificados	de 881	1343,8	1.183,8878
	Cerdos criaderos no tecnificados	de 198	1343,8	266,0724
Nemocón	Cerdos criaderos tecnificados	de 602	1343,8	808,9676

	Cerdos criaderos tecnificados	de 456 no		1343,8	612,7728
Sopó	Cerdos criaderos tecnificados	de 361		1343,8	485,1118
	Cerdos criaderos tecnificados	de 89 no		1343,8	119,5982
Tabio	Cerdos criaderos tecnificados	de 160		1343,8	215,008
	Cerdos criaderos tecnificados	de 74 no		1343,8	99,4412
Tenjo	Cerdos criaderos tecnificados	de 199		1343,8	267,4162
	Cerdos criaderos tecnificados	de 126 no		1343,8	169,3188
Tocancipá	Cerdos criaderos tecnificados	de 579		1343,8	778,0602
	Cerdos criaderos tecnificados	de 169 no		1343,8	227,1022
Zipaquirá	Cerdos criaderos tecnificados	de 3858		1343,8	5.184,3804
	Cerdos criaderos tecnificados	de 780 no		1343,8	1.048,164

**Anexo 14** Datos obtenidos del sector urbano.

Municipio	Año de generación	Tipo de residuo	Ton/año
Cajicá	2019	Relleno sanitario	21.432
	2019	30% Relleno sanitario	6429,6
	2020	Podas	624
	2020	Biorresiduos domésticos	5.300,05
Chía	2019	Relleno sanitario	32.664
	2019	30% Relleno sanitario	9799,2
Cogua	2019	Relleno sanitario	2.808
	2019	30% Relleno sanitario	842,4
Cota	2019	Relleno sanitario	8.400
	2019	30% Relleno sanitario	2520
Gachancipá	2019	Relleno sanitario	2.400
	2019	30% Relleno sanitario	720
Nemocón	2019	Relleno sanitario	828
	2019	30% Relleno sanitario	248,4
Sopó	2019	Relleno sanitario	5.952

	2019	30% Relleno sanitario	1785,6
Tabio	2019	Relleno sanitario	3.624
	2019	30% Relleno sanitario	1087,2
Tenjo	2019	Relleno sanitario	4.332
	2019	30% Relleno sanitario	1299,6
Tocancipá	2019	Relleno sanitario	10.284
	2019	30% Relleno sanitario	3085,2
Zipaquirá	2019	Relleno sanitario	26.760
	2019	30% Relleno sanitario	8028

**Anexo 15 Datos obtenidos correspondientes para el cálculo del potencial energético.**

Municipio	Tipo de Residuo	%CH <sub>4</sub>	%ms	SV (Kg SV/ kg MS)	Producción de biogás (m <sup>3</sup> /Kg SV)	Potencial energético (TJ/año)
Cajicá	Flores y follajes	38,80	13,22	0,63	0,29	3,25E-07
Cajicá	Uchuva	51,21	14,00	0,63	0,29	2,75E-04
Cajicá	Maíz	50,12	88,70	0,63	0,29	NC
Cajicá	Acelga	28,24	12,50	0,63	0,29	6,91E-03
Cajicá	Brócoli	50,42	9,42	0,63	0,29	2,88E-02
Cajicá	Cilantro	51,19	9,38	0,63	0,29	8,06E-03
Cajicá	Coliflor	36,71	7,60	0,63	0,29	2,50E-02
Cajicá	Espinaca	20,29	10,40	0,63	0,29	1,34E-02
Cajicá	Lechuga	35,32	4,70	0,63	0,29	4,25E-02
Cajicá	Remolacha	35,65	10,80	0,63	0,29	1,73E-02
Cajicá	Zanahoria	37,52	11,30	0,63	0,29	2,01E-02
Cajicá	Apio	31,30	4,60	0,63	0,29	6,21E-03
Cajicá	Ajo	48,35	29,70	0,63	0,29	1,03E-02
Cajicá	Arveja	39,92	24,80	0,63	0,29	6,87E-03
Cajicá	Papa	45,77	22,70	0,63	0,29	4,07E-02
Cajicá	Aves para producción de huevos	50,57	35,00	0,65	0,31	2,79E+00
Cajicá	Aves para producción de carne	50,57	80,00	0,65	0,31	NC
Cajicá	Bovino < 1 año	50,67	18,00	0,80	0,21	1,15E+00
Cajicá	Bovino entre 1-2 años	50,67	18,00	0,80	0,21	3,24E+00
Cajicá	Bovino entre 2-3 años	50,67	18,00	0,80	0,21	2,53E+00
Cajicá	Bovino > 3 años	50,67	18,00	0,80	0,21	8,99E+00
Cajicá	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	4,0E-01

Cajicá	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,90E-01
Cajicá	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	4,25E+00
Cajicá	Podas	50	100,00	0,77	0,21	6,78E-01
Cajicá	Bioresiduos domésticos	37,63	18,25	0,77	0,21	3,50E+00
Chía	Flores y follajes	38,80	13,22	0,63	0,29	5,4E-03
Chía	Ciruela	42,33	13,70	0,63	0,29	5,61E-04
Chía	Durazno	50,56	10,70	0,63	0,29	1,53E-03
Chía	Feijoa	50,38	19,59	0,63	0,29	2,57E-03
Chía	Tomate de árbol	54	30,00	0,63	0,29	7,37E-03
Chía	Mora	40,38	10,40	0,63	0,29	4,26E-03
Chía	Plantas aromáticas	43,08	94,31	0,63	0,29	2,89E-02
Chía	Aves para producción de huevos	50,57	35,00	0,65	0,31	2,30E+00
Chía	Aves para producción de carne	50,57	80,00	0,65	0,31	NC
Chía	Bovino < 1 año	50,67	18,00	0,80	0,21	1,41E+00
Chía	Bovino entre 1-2 años	50,67	18,00	0,80	0,21	4,71E+00
Chía	Bovino entre 2-3 años	50,67	18,00	0,80	0,21	2,64E+00
Chía	Bovino > 3 años	50,67	18,00	0,80	0,21	8,24E+00
Chía	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	5,67E+00
Chía	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,23E+00
Chía	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	6,48E+00
Cogua	Rosa	38,80	13,22	0,63	0,29	4,5E-02
Cogua	Arándano	40,38	10,40	0,63	0,29	1,28E-03
Cogua	Fresa	40,38	10,40	0,63	0,29	7,66E-02
Cogua	Hortalizas varias	34,50	9,42	0,63	0,29	6,17E-03
Cogua	Zanahoria	37,52	11,30	0,63	0,29	1,16E-02
Cogua	Arveja	39,92	24,80	0,63	0,29	1,14E-02
Cogua	Papa	45,77	22,70	0,63	0,29	6,86E-01
Cogua	Aves para producción de carne	50,57	35,00	0,65	0,31	1,33E+01
Cogua	Bovino < 1 año	50,67	80,00	0,80	0,21	1,68E+00
Cogua	Bovino entre 1-2 años	50,67	18,00	0,80	0,21	9,45E+00

Cogua	Bovino entre 2-3 años	50,67	18,00	0,80	0,21	1,25E+01
Cogua	Bovino > 3 años	50,67	18,00	0,80	0,21	3,82E+01
Cogua	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	18,00	0,73	0,32	2,66E+00
Cogua	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,52E+00
Cogua	Relleno sanitario	37,63	31,00	0,77	0,21	9,46E-01
Cota	Maíz	50,12	88,70	0,63	0,29	NC
Cota	Acelga	28,24	12,50	0,63	0,29	1,02E-03
Cota	Brócoli	50,42	9,42	0,63	0,29	7,71E-04
Cota	Cilantro	51,19	9,38	0,63	0,29	3,38E-03
Cota	Coliflor	36,71	7,60	0,63	0,29	4,48E-04
Cota	Espinaca	20,29	10,40	0,63	0,29	1,79E-01
Cota	Rábano	39,36	4,70	0,63	0,29	5,39E-04
Cota	Remolacha	35,65	10,80	0,63	0,29	8,84E-04
Cota	Zanahoria	37,52	11,30	0,63	0,29	6,47E-03
Cota	Arveja	39,92	24,80	0,63	0,29	1,42E-03
Cota	Perejil	51,19	9,38	0,63	0,29	1,57E-02
Cota	Papa	45,77	22,70	0,63	0,29	1,21E-02
Cota	Aves para producción de huevos	32,04	35,00	0,65	0,31	3,31E+00
Cota	Aves para producción de carne	32,04	80,00	0,65	0,31	NC
Cota	Bovino < 1 año	23,03	18,00	0,80	0,21	1,14E+00
Cota	Bovino entre 1-2 años	23,03	18,00	0,80	0,21	2,10E+00
Cota	Bovino entre 2-3 años	23,03	18,00	0,80	0,21	3,15E+00
Cota	Bovino > 3 años	23,03	18,00	0,80	0,21	6,71E+00
Cota	Cerdos de criaderos tecnificados	29,72	31,00	0,73	0,32	4,6E-01
Cota	Cerdos de criaderos no tecnificados	29,72	31,00	0,73	0,32	6,08E-01
Cota	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	1,67E+00
Gachancipá	Mora	40,38	10,40	0,63	0,29	2,13E-04
Gachancipá	Hortalizas varias	50,42	9,42	0,63	0,29	3,47,E-03
Gachancipá	Arveja	39,92	24,80	0,63	0,29	7,59,E-03
Gachancipá	Papa	45,77	22,70	0,63	0,29	3,90,E-02
Gachancipá	Aves para producción de huevos	50,57	35,00	0,65	0,31	1,41,E+01

Gachancipá	Aves para producción de carne	50,57	80,00	0,65	0,31	NC
Gachancipá	Bovino < 1 año	50,65	18,00	0,80	0,21	1,45,E+00
Gachancipá	Bovino entre 1-2 años	50,65	18,00	0,80	0,21	3,88,E+00
Gachancipá	Bovino entre 2-3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	4,20,E+00
Gachancipá	Bovino > 3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	1,83,E+01
Gachancipá	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,92,E+00
Gachancipá	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	4,32,E-01
Gachancipá	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	4,76,E-01
Nemocón	Clavel	38,80	13,22	0,63	0,29	8,66,E-02
Nemocón	Fresa	40,38	10,40	0,63	0,29	1,11,E-02
Nemocón	Rosa	38,80	13,22	0,63	0,29	3,03,E-02
Nemocón	Rosa	38,80	13,22	0,63	0,29	3,44,E-02
Nemocón	Fresa	40,38	10,40	0,63	0,29	6,38,E-02
Nemocón	Aves para producción de huevos	50,57	35,00	0,65	0,31	4,16,E+00
Nemocón	Aves para producción de carne	50,57	80,00	0,65	0,31	NC
Nemocón	Bovino < 1 año	50,65	18,00	0,80	0,21	2,65,E+00
Nemocón	Bovino entre 1-2 años	50,65	18,00	0,80	0,21	5,11,E+00
Nemocón	Bovino entre 2-3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	9,09,E+00
Nemocón	Bovino > 3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	3,31,E+01
Nemocón	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,31,E+00
Nemocón	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	9,94,E-01
Nemocón	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	1,64,E-01
Sopo	Durazno	50,56	10,70	0,63	0,29	1,84,E-02
Sopo	Durazno	50,56	10,70	0,63	0,29	1,75,E-02
Sopo	Aves para producción de huevos	50,57	35,00	0,65	0,31	8,88,E-01
Sopo	Aves para producción de carne	50,57	80,00	0,65	0,31	NC
Sopo	Bovino < 1 año	50,65	18,00	0,80	0,21	3,61,E+00

Sopo	Bovino entre 1-2 años	50,65	18,00	0,80	0,21	7,44,E+00
Sopo	Bovino entre 2-3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	7,05,E+00
Sopo	Bovino > 3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	2,96,E+01
Sopo	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	7,87,E-01
Sopo	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,94,E-01
Sopo	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	1,18,E+00
Tabio	Maíz	50,12	88,70	0,63	0,29	NC
Tabio	Zanahoria	37,52	11,30	0,63	0,29	2,50,E-02
Tabio	Arveja	39,92	24,80	0,63	0,29	5,93,E-03
Tabio	Papa	45,77	22,70	0,63	0,29	8,73,E-02
Tabio	Aves para producción de huevos	50,57	35,00	0,65	0,31	8,88,E-01
Tabio	Aves para producción de carne	50,57	80,00	0,65	0,31	NC
Tabio	Bovino < 1 año	50,65	18,00	0,80	0,21	2,28,E+00
Tabio	Bovino entre 1-2 años	50,65	18,00	0,80	0,21	5,78,E+00
Tabio	Bovino entre 2-3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	5,53,E+00
Tabio	Bovino > 3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	1,56,E+01
Tabio	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	3,49,E-01
Tabio	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,61,E-01
Tabio	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	7,19,E-01
Tenjo	Lulo	48,18	13,00	0,63	0,29	1,06,E-02
Tenjo	Tomate de árbol	54	30,00	0,63	0,29	4,91,E-02
Tenjo	Maíz	50,12	88,70	0,63	0,29	NC
Tenjo	Arándano	40,38	10,40	0,63	0,29	3,58,E-02
Tenjo	Lulo	48,18	13,00	0,63	0,29	5,32,E-03
Tenjo	Tomate de árbol	54	30,00	0,63	0,29	1,28,E-02
Tenjo	Zanahoria	37,52	11,30	0,63	0,29	1,53,E-01
Tenjo	Aves para producción de carne	50,57	35,00	0,65	0,31	NC
Tenjo	Bovino < 1 año	50,65	80,00	0,80	0,21	2,14,E+00
Tenjo	Bovino entre 1-2 años	50,65	18,00	0,80	0,21	9,69,E+00

Tenjo	Bovino entre 2-3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	1,40,E+01
Tenjo	Bovino > 3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	3,95,E+01
Tenjo	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	18,00	0,73	0,32	2,52,E-01
Tenjo	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	2,75,E-01
Tenjo	Relleno sanitario	37,63	31,00	0,77	0,21	1,46,E+00
Tocancipá	Aves para producción de huevos	50,57	35,00	0,65	0,31	1,61,E+01
Tocancipá	Aves para producción de carne	50,57	80,00	0,65	0,31	NC
Tocancipá	Bovino < 1 año	50,65	18,00	0,80	0,21	1,74,E+00
Tocancipá	Bovino entre 1-2 años	50,65	18,00	0,80	0,21	3,42,E+00
Tocancipá	Bovino entre 2-3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	5,02,E+00
Tocancipá	Bovino > 3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	1,84,E+01
Tocancipá	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,26,E+00
Tocancipá	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	3,68,E-01
Tocancipá	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	2,04,E+00
Zipaquirá	Aves para producción de huevos	50,57	35,00	0,65	0,31	3,96,E-01
Zipaquirá	Aves para producción de carne	50,57	80,00	0,65	0,31	NC
Zipaquirá	Bovino < 1 año	50,65	18,00	0,80	0,21	5,22,E+00
Zipaquirá	Bovino entre 1-2 años	50,65	18,00	0,80	0,21	1,16,E+01
Zipaquirá	Bovino entre 2-3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	14,23
Zipaquirá	Bovino > 3 años	50,65	18,00	0,80	0,21	48,71
Zipaquirá	Cerdos de criaderos tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	8,41
Zipaquirá	Cerdos de criaderos no tecnificados	52,3	31,00	0,73	0,32	1,70
Zipaquirá	Relleno sanitario	37,63	18,25	0,77	0,21	5,31

**Anexo 16 Datos obtenidos de huella de carbono para transporte.**

<b>Primer escenario</b>			
<b>Municipio</b>	<b>Distancia recorrida (km)</b>	<b>kg CO2e (Diesel)</b>	<b>kg CO2e (gasolina)</b>
Cajicá	13	3,2123	2,85506
Chía	23	5,6833	5,05126
Cogua	3	0,7413	0,65886
Cota	5	1,2355	1,0981
Gachancipá	4	0,9884	0,87848
Nemocón	5	1,2355	1,0981
Sopo	6	1,4826	1,31772
Tabio	3	0,7413	0,65886
Tenjo	4	0,9884	0,87848
Tocancipá	4	0,9884	0,87848
Zipaquirá	21	5,1891	4,61202
<b>Total</b>		<b>22,4861</b>	<b>19,98542</b>

<b>Segundo escenario (Tenjo)</b>			
<b>Municipio</b>	<b>Distancia recorrida (km)</b>	<b>kg CO2e (Diesel)</b>	<b>kg CO2e (gasolina)</b>
Cajicá	32	7,9072	7,02784
Chia	40	9,884	8,7848
Cota	28	6,9188	6,14936
Tabio	11	2,7181	2,41582
Tenjo	4	0,9884	0,87848
<b>Subtotal</b>		<b>28,4165</b>	<b>25,2563</b>

<b>Segundo escenario (Zipaquirá)</b>			
<b>Municipio</b>	<b>Distancia recorrida (km)</b>	<b>kg CO2e (Diesel)</b>	<b>kg CO2e (gasolina)</b>
Sopo	25	6,1775	5,4905
Tocancipá	23	5,6833	5,05126
Cogua	9	2,2239	1,97658
Nemocón	20	4,942	4,3924
Gachancipá	27	6,6717	5,92974
Zipaquirá	21	5,1891	4,61202
<b>Subtotal</b>		<b>30,8875</b>	<b>27,4525</b>
<b>Total</b>		<b>59,304</b>	<b>52,7088</b>

<b>Tercer escenario (Cajicá)</b>			
<b>Municipio</b>	<b>Distancia recorrida (km)</b>	<b>kg CO2e (Diesel)</b>	<b>kg CO2e (gasolina)</b>
Cajicá	13	3,2123	2,85506
Chía	33	8,1543	7,24746
Cogua	24	5,9304	5,27088
Cota	22	5,4362	4,83164
Gachancipá	25	6,1775	5,4905
Nemocón	35	8,6485	7,6867

Sopo	21	5,1891	4,61202
Tabio	13	3,2123	2,85506
Tenjo	22	5,4362	4,83164
Tocancipá	21	5,1891	4,61202
Zipaquirá	35	8,6485	7,6867
Total		65,2344	57,97968

**Anexo 17** Datos obtenidos de huella de carbono para generación de biogás.

Municipio	Potencial energético (kWh/año)	Huella de Carbono
Cajicá	0,40	0,00
Cajicá	451,31	0,09
Cajicá	5771,96	1,21
Cajicá	6249,24	1,31
Cajicá	46592,31	9,78
Cajicá	13223,93	2,78
Cajicá	29452,29	6,18
Cajicá	8715,90	1,83
Cajicá	48058,36	10,09
Cajicá	19718,44	4,14
Cajicá	24130,96	5,07
Cajicá	6231,54	1,31
Cajicá	16006,35	3,36
Cajicá	8789,12	1,85
Cajicá	59629,15	12,52
Cajicá	4091691,18	859,26
Cajicá	112243885,62	23571,22
Cajicá	2022893,31	424,81
Cajicá	5717858,92	1200,75
Cajicá	4459441,26	936,48
Cajicá	15865487,67	3331,75
Cajicá	528553,29	111,00
Cajicá	248562,90	52,20
Cajicá	5791888,73	1216,30
Cajicá	1227424,76	257,76
Cajicá	4774371,63	1002,62
Chía	6727,23	1,41
Chía	760,58	0,16
Chía	2483,04	0,52
Chía	4141,35	0,87
Chía	12746,33	2,68
Chía	5507,68	1,16
Chía	39958,18	8,39
Chía	3380092,72	709,82

---

Chía	58474387,58	12279,62
Chía	2488909,29	522,67
Chía	8313672,63	1745,87
Chía	4654923,61	977,53
Chía	14538127,57	3053,01
Chía	7425459,44	1559,35
Chía	1611373,27	338,39
Chía	8827279,46	1853,73
Cogua	56508,75	11,87
Cogua	1652,30	0,35
Cogua	99138,15	20,82
Cogua	6819,03	1,43
Cogua	13900,32	2,92
Cogua	14561,13	3,06
Cogua	1005520,53	211,16
Cogua	19482549,44	4091,34
Cogua	29702458,04	6237,52
Cogua	16678397,56	3502,46
Cogua	22071179,80	4634,95
Cogua	67381197,41	14150,05
Cogua	3482092,47	731,24
Cogua	1991360,23	418,19
Cogua	1288672,02	270,62
Cota	2541996,68	533,82
Cota	925,81	0,19
Cota	1245,78	0,26
Cota	5541,46	1,16
Cota	526,85	0,11
Cota	116211,95	24,40
Cota	679,28	0,14
Cota	1009,74	0,21
Cota	7784,18	1,63
Cota	1820,08	0,38
Cota	25692,20	5,40
Cota	17712,42	3,72
Cota	3081236,28	647,06
Cota	16106123,33	3382,29
Cota	912756,70	191,68
Cota	1684036,10	353,65
Cota	2530717,15	531,45
Cota	5382486,55	1130,32
Cota	342567,87	71,94

---

---

Cota	452968,88	95,12
Cota	2270057,17	476,71
Gachancipá	275,38	0,06
Gachancipá	5606,03	1,18
Gachancipá	9706,72	2,04
Gachancipá	57224,75	12,02
Gachancipá	20695655,40	4346,09
Gachancipá	26393580,35	5542,65
Gachancipá	2563960,55	538,43
Gachancipá	6848863,99	1438,26
Gachancipá	7416111,90	1557,38
Gachancipá	32225790,06	6767,42
Gachancipá	2517056,47	528,58
Gachancipá	565694,87	118,80
Gachancipá	648587,76	136,20
Nemocón	107635,71	22,60
Nemocón	14319,96	3,01
Nemocón	37672,50	7,91
Nemocón	42755,30	8,98
Nemocón	82615,13	17,35
Nemocón	6107886,84	1282,66
Nemocón	64865578,83	13621,77
Nemocón	4668886,64	980,47
Nemocón	9012696,59	1892,67
Nemocón	16041770,87	3368,77
Nemocón	58427407,33	12269,76
Nemocón	1719940,97	361,19
Nemocón	1302812,43	273,59
Nemocón	223762,78	46,99
Sopo	29796,52	6,26
Sopo	28377,64	5,96
Sopo	1304597,19	273,97
Sopo	19317335,39	4056,64
Sopo	6377611,88	1339,30
Sopo	13136152,54	2758,59
Sopo	12443673,75	2613,17
Sopo	52199025,29	10961,80
Sopo	1031393,17	216,59
Sopo	254276,99	53,40
Sopo	1608497,65	337,78
Tabio	58696,64	12,33
Tabio	30024,70	6,31

---

---

Tabio	7583,09	1,59
Tabio	128074,43	26,90
Tabio	1304597,19	273,97
Tabio	9150316,76	1921,57
Tabio	4031823,60	846,68
Tabio	10202608,16	2142,55
Tabio	9755791,35	2048,72
Tabio	27568248,38	5789,33
Tabio	457127,17	96,00
Tabio	211421,32	44,40
Tabio	979367,52	205,67
Tenjo	16428,61	3,45
Tenjo	84975,56	17,84
Tenjo	532027,26	111,73
Tenjo	46264,47	9,72
Tenjo	8214,30	1,73
Tenjo	22093,65	4,64
Tenjo	183484,27	38,53
Tenjo	7561720,10	1587,96
Tenjo	37816527,28	7941,47
Tenjo	17094670,26	3589,88
Tenjo	24716300,44	5190,42
Tenjo	69690332,74	14634,97
Tenjo	330126,92	69,33
Tenjo	359987,65	75,60
Tenjo	1988079,49	417,50
Tocancipá	23719948,88	4981,19
Tocancipá	20813513,85	4370,84
Tocancipá	3066629,47	643,99
Tocancipá	6035954,10	1267,55
Tocancipá	8857794,27	1860,14
Tocancipá	32429999,31	6810,30
Tocancipá	1654228,94	347,39
Tocancipá	482840,57	101,40
Tocancipá	2779198,57	583,63
Zipaquirá	581138,75	122,04
Zipaquirá	1877034,98	394,18
Zipaquirá	9205124,53	1933,08
Zipaquirá	20558373,26	4317,26
Zipaquirá	25119482,80	5275,09
Zipaquirá	85964238,91	18052,49
Zipaquirá	11022478,85	2314,72

---

Zipaquirá	2228494,95	467,98
Zipaquirá	7231753,57	1518,67

**Anexo 18** Análisis de las diferentes tecnologías de producción de biogás con los sectores

		Observaciones	Sector agrícola	Sector pecuario	Sector urbano
Tecnologías Termoquímicas	Combustión	Es una reacción química que se produce por la interacción entre el carbono, el hidrogeno presentes en la biomasa y el oxígeno del aire, esta reacción se da a una temperatura de 800-1000°C (Ramírez & Barrera, 2017) (Universidad Industrial de Santander, UPME, & Ideam, 2011). Es necesario tener en cuenta que de esta técnica se obtiene calor.	No aplica, es necesario realizar un secado previo, los residuos contienen una humedad mayor al 70% y es necesaria una tecnología que produzca energía para satisfacer los objetivos de este estudio.	No aplica, es necesario realizar un secado previo solo para los residuos de bovinos y porcinos, contienen una humedad mayor al 70%. Los residuos de las aves no superan el 50% de humedad. Sin embargo, esta tecnología solo produce calor.	No aplica, es necesario realizar secado previo como los residuos orgánicos urbanos principalmente son desechos de alimentos su porcentaje de humedad es similar a la del sector agrícola, superior al 70%. Sin embargo, esta tecnología solo produce calor.
	Pirólisis	Es la descomposición de la biomasa en un medio sin oxígeno, dependiendo de la temperatura se produce una combustión incompleta (350-550°C) o una gasificación casi total (650-850°C) (Ramírez & Barrera, 2017) (Universidad Industrial de Santander, UPME, & Ideam, 2011). Se puede obtener calor o un gas de síntesis para la producción de energía	Si aplica, sin embargo, se debe tener en cuenta que se obtiene un gas de síntesis con una composición diferente al propuesto en este estudio, además es necesario hacer un secado a los residuos trabajados porque poseen una humedad mayor a 70% lo cual representa una desventaja primordial debido a que el secado representa un aumento económico y de impacto ambiental al	Si aplica, es necesario hacer un secado previo para los residuos y por la tanto se debe tener en cuenta las mismas recomendacion es del sector agrícola.	Si aplica, es necesario hacer un secado previo de la misma manera que con los residuos del sector agrícola debido a que principalmente son desechos de alimentos.
	Gasificación	Es un proceso de combustión parcial que se lleva a cabo en presencia de altas temperaturas y bajas cantidades de aire u oxígeno. Se puede obtener calor o un gas de síntesis para la producción de energía.			

			requerir más energía.		
	Termólisis	<p>Esta tecnología se desarrolla bajo el principio de secado, compresión y temperaturas que oscilan entre los 400 y 500°C donde la biomasa utilizada se lleva a un 10% de humedad (Ramírez &amp; Barrera, 2017) (Universidad Industrial de Santander, UPME, &amp; Ideam, 2011).</p> <p>Es necesario tener en cuenta que de esta técnica se obtiene calor.</p>	No aplica para satisfacer el objetivo de este estudio ya que solo se obtiene calor.	No aplica para satisfacer el objetivo de este estudio ya que solo se obtiene calor.	No aplica para satisfacer el objetivo de este estudio ya que solo se obtiene calor.
Tecnologías Biológicas	Fermentación	<p>La biomasa se descompone en presencia de oxígeno por medio de microorganismos con el fin de obtener alcoholes que son utilizados como combustibles para vehículos (Ramírez &amp; Barrera, 2017) (Universidad Industrial de Santander, UPME, &amp; Ideam, 2011).</p> <p>Es necesario tener en cuenta que de esta técnica se obtiene calor.</p>	No aplica, aunque no es necesario un proceso de secado previo, no se obtiene energía eléctrica.	No aplica, aunque no es necesario un proceso de secado previo, no se obtiene energía eléctrica.	No aplica, aunque no es necesario un proceso de secado previo, no se obtiene energía eléctrica.
	Digestión anaerobia	<p>Este proceso se lleva a cabo en ausencia de oxígeno transformando la biomasa a través de bacterias. Se puede obtener un gas de síntesis (biogás) para la producción de energía o se obtiene calor (Ramírez &amp; Barrera, 2017) (Universidad Industrial de Santander, UPME, &amp; Ideam, 2011).</p>	Si aplica, es la mejor técnica para este estudio puesto que el gas obtenido corresponde a biogás rico en metano. Además, no es necesario el proceso de secado debido a que el porcentaje de humedad es mayor a 50% y esto favorece el desarrollo de la técnica.	Si aplica, de la misma manera que en los residuos agrícolas. No es necesario el proceso de secado debido a que el porcentaje de humedad es mayor a 50% y esto favorece el desarrollo de la técnica. A través de esta técnica se calculó el potencial energético.	Si aplica, de la misma manera que en los residuos agrícolas. No es necesario el proceso de secado debido a que el porcentaje de humedad es mayor a 50% y esto favorece el desarrollo de la técnica. A través de esta técnica se calculó el potencial energético.