

**POTENCIAL DE FUENTES DE GENERACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE BIOMASA EN EL MUNICIPIO DE  
BUENAVISTA, SUCRE.**

**AUTOR:**

**ANDRÉS EDUARDO MERCADO TORRES**

**TRABAJO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
DESARROLLO AMBIENTAL Y SOSTENIBLE**

**ASESORES:**

**ING. PEDRO PACHECO TORRES**

**DC. STEFFANY SANJUAN MURILLO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA REFORMADA – CUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BARRANQUILLA – ATLÁNTICO**

**2021**

**POTENCIAL DE FUENTES DE GENERACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE BIOMASA EN EL MUNICIPIO DE  
BUENAVISTA, SUCRE.**

**ANDRÉS EDUARDO MERCADO TORRES**

**ASESORES:**

**ING. PEDRO PACHECO TORRES**

**DC. STEFFANY SANJUAN MURILLO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA REFORMADA – CUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BARRANQUILLA – ATLÁNTICO**

**2021**

**CONTENIDO**

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
	2.1 Descripción del problema .....	3
	2.2 Formulación del problema.....	4
3.	OBJETIVOS.....	5
	3.1 Objetivo general.....	5
	3.2 Objetivos específicos.....	5
4.	JUSTIFICACIÓN .....	6
5.	MARCOS .....	9
	5.1 Marco conceptual.....	9
	5.2 Marco teórico .....	10
	5.3 Marco legal .....	14
6.	METODOLOGÍA.....	15
	6.1 Tipo de investigación .....	15
	6.2 Descripción del área de estudio .....	15
	6.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	16
7.	RESULTADOS .....	20
	7.1 Residuos agrícolas.....	20
	7.1.1 Calculo del potencial energético del residuo .....	21

7.1.2 Ciclo Rankine Orgánico, Ciclo Rankine y gasificación.....	21
7.2 Tecnología de biodigestión.....	22
7.2.1 Cálculos de carga en función de la materia prima.....	23
7.2.2 Capacidad de la planta de Biogás.....	23
7.2.3 Localización y diseño del Biodigestor.....	24
7.2.4 Etapa de arranque.....	25
7.2.5 Cálculo del Biogás y energía eléctrica para cada granja.....	28
7.2.6 Biodigestores por instalar.....	30
7.3 Emisiones de CO2 mitigadas por el aprovechamiento de los residuos de biomasa	
30	
8. DISCUSIONES.....	33
9. CONCLUSIONES.....	36
10. REFERENCIAS.....	38
ANEXOS.....	43
Anexo 1. Cálculos del factor de conversión de los residuos agrícolas.....	43
Anexo 2. Cálculo del potencial energético del residuo.....	44
Anexo 3. Cálculos de la energía eléctrica producida por cada tecnología de aprovechamiento de la biomasa de los residuos agrícolas.....	45
Anexo 4. Formato censo a granjas en el municipio de Buenavista Sucre.....	48
Anexo 5. Cálculos del aumento del 37% en el número de vacas y producción de	

estiércol para cada granja.....	48
Anexo 6. Cálculos del volumen de los digestores para cada granja .....	49
Anexo 7. Cálculo de la producción de biogás para cada granja .....	50
Anexo 8. Gases presentes en el biogás.....	51
Anexo 9. Calculo de la energía eléctrica producida por cada granja.....	51
Anexo 10. Cálculo de las emisiones de CO2 mitigadas.....	52

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Localización del municipio de Buenavista Sucre, Colombia.....	15
<b>Imagen 2.</b> Eficiencia eléctrica de las tecnologías para el aprovechamiento energético....	22
<b>Imagen 3.</b> Diseño de biodigestor semicontinuo.....	24
<b>Imagen 4.</b> Verificación de agujeros .....	26
<b>imagen 5.</b> Preparación estiércol: agua.....	26
<b>Imagen 6.</b> Abertura y cerrado de válvula .....	27
<b>Imagen 7.</b> Quema o prueba de biogás .....	27
<b>Imagen 8.</b> Tanque de almacenamiento de biogás .....	28
<b>Imagen 9.</b> Gases presentes en el biogás .....	51

**ÍNDICE DE GRÁFICAS**

<b>Gráfica 1.</b> Tipos de energías producidas en Colombia .....	6
<b>Gráfica 2.</b> Toneladas de yuca, arroz y maíz producidas en 2012. ....	20

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de los cultivos de yuca, arroz y maíz, y calculo del factor de conversión de los residuos en el municipio de Buenavista Sucre.....	20
<b>Tabla 2.</b> Potencial energético del residuo de los cultivos de estudio en el municipio de Buenavista Sucre.....	21
<b>Tabla 3.</b> Energía eléctrica producida por cada tecnología.....	22
<b>Tabla 4.</b> Censo a granjas en el municipio de Buenavista Sucre y producción de estiércol. .....	22
<b>Tabla 5.</b> Relación estiércol: agua.....	23
<b>Tabla 6.</b> Disponibilidad de la materia prima de cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.....	23
<b>Tabla 7.</b> Capacidad del volumen del biodigestor para cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.....	24
<b>Tabla 8.</b> Proyección del 37% para cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.....	25
<b>Tabla 9.</b> Productividad de Biogás y otras energías para el estiércol vacuno.....	28
<b>Tabla 10.</b> Producción de biogás para cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.	29
<b>Tabla 11.</b> Producción de energía eléctrica para cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.....	29
<b>Tabla 12.</b> Capacidad de los Biodigestores para instalar en las distintas granjas en el municipio de Buenavista Sucre.....	30
<b>Tabla 13.</b> CO <sub>2</sub> que deja de ser emitido por el aprovechamiento de los residuos agrícolas en el municipio de Buenavista Sucre .....	30
<b>Tabla 14.</b> Energía y emisiones de CO <sub>2</sub> producida por fuentes fósiles.....	31

**Tabla 15.** CO2 que deja de ser emitido por el aprovechamiento de los residuos ganaderos en el municipio de Buenavista sucre .....32

**Tabla 16.** Formato censo a granjas en el municipio de Buenavista Sucre .....48

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Factor de conversión .....	16
<b>Ecuación 2.</b> Potencial energético .....	16
<b>Ecuación 3.</b> Energía eléctrica producida por los residuos de agricultura.....	17
<b>Ecuación 4.</b> Mezcla estiércol: agua producida por cada granja diariamente.....	17
<b>Ecuación 5.</b> Volumen del digestor para cada granja.....	17
<b>Ecuación 6.</b> Proyección del 37% para cada granja .....	18
<b>Ecuación 7.</b> Relación de materia fresca .....	19
<b>Ecuación 8.</b> Biogás producido por cada granja .....	19
<b>Ecuación 9.</b> Energía eléctrica producida por cada granja. ....	19
<b>Ecuación 10.</b> CO2 mitigado por el aprovechamiento de los residuos agrícolas y ganaderos.....	19

## Resumen

El presente trabajo de investigación realizado en el municipio de Buenavista Sucre tuvo como objetivo conocer el potencial de generación de energía que tienen los residuos de biomasa producto de las actividades agrícolas y ganaderas, por medio de las tecnologías para el aprovechamiento energético de los residuos como lo es el ciclo Rankine orgánico, ciclo Rankine y gasificación para los residuos de agricultura y para los residuos ganaderos se implementó la tecnología de biodigestión, en el cual se realizó un censo a pequeñas granjas con la finalidad de conocer cuál es la producción de estiércol diaria y su equivalencia en la producción de biogás para su posterior transformación en energía eléctrica. Y luego se realizó una estimación de cuantas toneladas de CO<sub>2</sub> dejan de ser emitidas gracias a la implementación de las tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa en comparación con las fuentes fósiles. Siendo el CRC y la granja Villa Rosa quienes mayores mitigaciones de estas emisiones generan.

***Palabras claves:*** Biomasa, energía, potencial, residuos.

### **Abstract**

The objective of this research work carried out in the municipality of Buenavista Sucre was to know the energy generation potential of biomass residues resulting from agricultural and livestock activities, through technologies for the energy use of residues such as is the organic Rankine cycle, Rankine cycle and gasification for agricultural residues and for livestock residues, biodigestion technology was implemented, in which a census of small farms was carried out in order to know what is the daily manure production and its equivalence in the production of biogas for its subsequent transformation into electrical energy. And then an estimate was made of how many tons of CO<sub>2</sub> are no longer emitted thanks to the implementation of technologies for the use of biomass in comparison with fossil sources. The CRC and the Villa Rosa farm are the ones that generate the greatest mitigations of these emissions.

***Keywords:*** biomass, energy, potential, residue.

## 1. INTRODUCCIÓN

Sucre es uno de los 32 departamentos que conforman a Colombia, considerado uno de los departamentos más pequeños que conforman a este. Sucre se caracteriza por tener una economía basada mayormente en la agricultura y la ganadería, contando con 26 municipios siendo Sincelejo su capital (Gobernación de sucre, 2017).

Según un informe en 2016 de la federación colombiana de ganaderos (FEDEGAN) Sucre es un Departamento de vocación ganadera, con orientación productiva centrada en el doble propósito (el 65% del ható), siguiéndole en importancia la cría con un 25%; y la ceba con 10%. Su inventario bovino se puede clasificar como de tamaño medio en el país, ocupando el puesto 12 con cerca de 833 mil bovinos en 2013, distribuido en 13.787 predios, que ocupan un área de 783.251 hectáreas. Esto ubica a la ganadería bovina de Sucre como una de las de mayor capacidad de carga (1,07 cabezas/ha).

Según Salcedo en 2014 entre los principales cultivos transitorios del departamento de Sucre en el año 2012 se encuentra el arroz que tiene la mayor participación, con una producción total de 152.442 toneladas y una participación del 6,6% a nivel nacional; el maíz tiene una producción de 47.752 toneladas y participa con un porcentaje del 4,0% del total nacional; así mismo, el algodón, el ají, el tabaco rubio y el ajonjolí se destacan en su producción y su participación a nivel nacional. La yuca se ubica como uno de los principales cultivos permanentes del departamento, con una producción de 132.356 toneladas y una participación de 9,8% a nivel nacional; En el caso de la batata, el zapote

y el tabaco negro, aunque su producción no es la más alta, se encuentran entre los productos con mayor participación a nivel nacional, la batata con 100%, el zapote con el 34,9% y el tabaco negro 12,1%.

Buenavista al estar categorizada en la región de sabanas, es representante en conjunto con 9 municipios del 37,3% del hato bovino del Departamento (310 mil bovinos). Este hato registra tasa de natalidad del 67%. Lo que conlleva a una fuente activa de generación de residuos orgánicos “heces” (FEDEGAN, 2014). Por otra parte, la segunda actividad que caracteriza al municipio es el cultivo de yuca, y en menores proporciones el ñame, la patilla, el ají, el ajonjolí; lo que representa otra fuente de generación de residuos orgánicos al posconsumo.

La biomasa producida por las actividades agrícolas y ganaderas se considera una fuente viable para la producción de energía, la cual puede ser utilizada para mejorar las condiciones de vida de distintas personas. Es por eso, que se pretende aprovechar los residuos provenientes de dichas actividades para su aprovechamiento energético, basado en el ciclo Rankine orgánico ORC, ciclo Rankine tradicional y gasificación para los residuos agrícolas. Para los de ganadería por medio de la tecnología de biodigestión y hacer una comparativa para la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por fuentes fósiles. Por lo tanto, la presente investigación atiende a la necesidad de tecnificación de las distintas granjas en el municipio de Buenavista Sucre y su contribución a un modelo de desarrollo sustentable que permita obtener mayores beneficios y recursos de calidad agrícolas y ganaderos.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 Descripción del problema**

En Colombia los residuos producto de las actividades agrícolas y ganaderas no tienen un buen uso para su tratamiento de disposición final, como también es deficiente el aprovechamiento de estos residuos. El municipio de Buenavista Sucre debido a estas actividades presenta una serie de problemáticas ambientales a causa de estas.

Las principales problemáticas que se derivan de las actividades ganaderas es la alta producción de gases de efecto invernadero (GEI), en donde un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2006 señala a esta actividad como la responsable del 18% de estas emisiones medido en su equivalente en dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, 9% de las emisiones de CO<sub>2</sub> porcentaje mayor que el transporte, 37% de las emisiones de metano el cual es contribuyente al calentamiento global, y el 65% del óxido nitroso procedente del estiércol la mayor parte. Contribuyendo al cambio climático, contaminación del agua y lluvia acida. Potencializando el cambio climático (FAO, 2006).

Por otra parte, es evidente la pérdida de la cobertura vegetal ya sea para la extensión del terreno agrícola y ganadero o para el mantenimiento de las cercas. lo que conlleva a la pérdida de biodiversidad.

Otra problemática debido a los residuos orgánicos como la yuca, ñame, patilla, entre otros es que al descomponerse en rellenos sanitarios y demás lugares donde se encuentren dispuestos, la materia orgánica genera gases de efecto invernadero (GEI), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano, emisiones que contribuyen al cambio climático

mundial. Además, estas emisiones también afectan la calidad del agua, el aire y están asociadas con problemas de salud pública, como el asma. (CCA, 2017).

Por otra parte, según el plan de gestión ambiental regional Sucre. El departamento presenta el aspecto aire como regular debido a que no se atienden oportunamente los daños que presentan los equipos en las distintas sedes administrativas (Bienestar familiar, 2018).

Una posible solución para esta problemática es el aprovechamiento de los residuos de biomasa para la disminución en el consumo energético, con la generación de energías renovable por el desarrollo de los residuos.

## **2.2 Formulación del problema**

Teniendo en cuenta la anterior problemática se plantea la siguiente pregunta

¿Cuál es el potencial energético del municipio de Buenavista Sucre por la generación energética con fuentes de biomasa producto de las actividades agrícolas y ganaderas?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Determinar el potencial de fuentes de generación para el aprovechamiento energético de los residuos de biomasa en el municipio de Buenavista Sucre.

#### **3.2 Objetivos específicos**

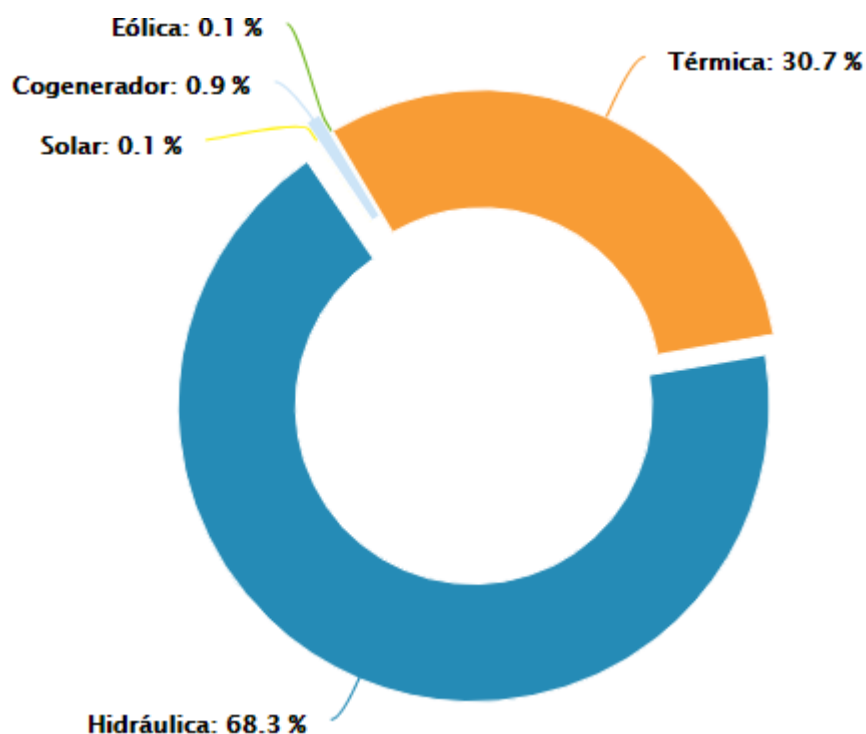
- ✓ Desarrollar la caracterización del municipio de Buenavista Sucre de acuerdo con su potencial energéticos de biomasa.
- ✓ Definir la tecnología de aprovechamiento de la biomasa mediante procesos de biodigestión de heces vacunas y el aprovechamiento energético de biomasa solida de residuos de agricultura.
- ✓ Medir la mitigación en términos energéticos que se produce con el aprovechamiento de la biomasa producto de las actividades agrícolas y ganaderas en comparativa con la generación de energía con fuentes fósiles para la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

En Colombia actualmente hay un bajo índice para el desarrollo de energías con fuentes renovables de biomasa que beneficien el estado del medio ambiente y de las personas.

En 2020 según la Asociación Colombiana de Generadores de energía eléctrica (Acolgen), Colombia ocupa la posición número seis entre las matrices más limpias del mundo por la alta instalación de fuentes renovables de energía eléctrica, contemplando el 0.1 % de energía eólica, 0.1% energía solar, 0.9 % cogenerador, 30.7 % energía térmica y en mayores proporciones el 68.3 % hidráulica. Lo cual según se evidencia en la gráfica 1 que las fuentes de generación renovables llegan a solo el 1.1 % del tipo de energías producidas en el país.

**Gráfica 1.** *Tipos de energías producidas en Colombia.*



**Fuente:** Acolgen 2020.

La anterior gráfica describe los distintos tipos de energías producidas en Colombia, siendo la energía hidráulica la de mayor porcentaje de generación; y las de menor porcentaje de generación en el país la eólica y solar.

Teniendo en cuenta las distintas fuentes renovables de energía eléctrica. Las hidráulicas, aunque son consideradas las más empleadas de tipo limpio existen unas complicaciones con respecto al cambio que sufren los ecosistemas y las poblaciones cercanas a los embalses (Goyeneche, 1995).

En la actualidad según el Instituto de Ecología (Inecol), una vaca promedio puede producir aproximadamente 12 boñigas de casi 4 kg al día lo que representa aproximadamente 50 kg de excretas diariamente en la cual al mes serian en términos aproximados unos 1.500 kg de excretas. Las cuales en comparación con su alta disponibilidad es una forma viable para la producción de biogás y su transformación en energía eléctrica (Ponce, 2016). Otra forma viable para la producción de biocombustible es a partir de los desechos agrícolas los cuales son muy comunes en la vida diaria del campesinado.

Por lo anterior, la determinación del potencial energético que se puede producir en el municipio de Buenavista Sucre teniendo en cuenta el estimado de energía que puede ser producida a partir de la materia orgánica producto de las actividades agrícolas y ganaderas es una forma viable para la implementación de nuevas tecnologías de innovación que permita la utilización de los residuos orgánicos como una fuente importante para la producción de energía eléctrica que puede ser utilizada para los

distintos que hacer en los que se requiera este tipo de energía, lo cual representaría un ahorro económico debido a que en un porcentaje se reemplazará la energía tradicional por un tipo de energía limpia que mitiga las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con el tipo de energía producida por las fuentes fósiles. Y de esta manera contribuir con un modelo sustentable de desarrollo.

## 5. MARCOS

### 5.1 Marco conceptual

Para la elaboración de la presente investigación se realizó una revisión de bases literarias y científicas de algunos conceptos e ideas fundamentales necesarias para una mejor comprensión de lo tratado. Estas se basan en contenidos obtenidos de artículos científicos, libros especializados en la temática a tratar y buscadores académicos, aportando el criterio de los autores.

**Biomasa:** materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía. El origen de la energía de la biomasa puede ser tanto animal como vegetal y puede ser obtenida de manera natural o artificial.

**Energía renovable:** energía que se obtiene a partir de fuentes naturales inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

**Potencial energético:** Cantidad total de energía que puede ser obtenida de la naturaleza por las distintas tecnologías de aprovechamiento de los residuos.

**Residuos orgánicos:** Los residuos orgánicos o biorresiduos domésticos son residuos biodegradables de origen vegetal o animal, susceptibles de degradarse biológicamente generados en el ámbito domiciliario y comercial.

**Emisiones:** fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana y o natural.

Desarrollo sostenible: desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social.

## **5.2 Marco teórico**

Dentro del marco global y latinoamericano un artículo expuesto por Quintero & Quintero en 2015, sobre las perspectivas del potencial energético de la biomasa, expresa que investigaciones recientes sobre la bioenergía u obtención de energía a partir de biomasa. Se consideran de vital importancia debido a que se abarcan temáticas como la bioenergía y sus posibilidades desde el punto de vista energético, teniendo en cuenta las expectativas de producción según su potencial o productividad energética, además del aporte que este tipo de tecnología hace a la disminución de la huella ecológica. Por otra parte, en otro artículo sobre la biomasa y sus métodos de producción, potencial energético y medio ambiente, estos mismos autores exponen los conceptos básicos sobre la producción de energía a partir de biomasa, proporcionando una visión amplia acerca del papel que desempeña la biomasa en el mercado internacional, mostrando costos, porcentajes y cifras en general de estudios realizados alrededor del mundo. Además, presentan diferentes conceptos y discernimientos sobre el enfoque medioambiental de la biomasa, que varios autores han hecho para evaluar los méritos y/o posibles desventajas de esta tecnología de obtención energética.

En Colombia se ha venido investigando en diferentes temas relacionados con el potencial energético, donde podemos destacar el realizado por Galán (2016), sobre el potencial energético de la biomasa residual en el país, encontrando una buena opción para la producción de energía eléctrica mediante la biomasa residual agrícola. Describiendo

que el proceso de transformación de los residuos agrícolas en forma de energía requiere de inversiones de tecnologías nuevas para algunos sectores en Colombia, pero gracias a la ley 1715 de 2014 mediante el cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, la biomasa ha dado un salto de calidad grande. Gracias a esto, numerosas empresas del sector de caña de azúcar han optado por el aprovechamiento de sus residuos generando una forma limpia de energía para su abastecimiento y posterior distribución a la red nacional. Pero una investigación de Cortés & Arango en 2017 sobre las energías renovables en Colombia y su cercanía a la economía, expresa que la energía es indispensable para el desarrollo económico de un país. En donde el rápido crecimiento demográfico, la expansión del sector industrial, el acelerado crecimiento tecnológico, entre otros factores, han incrementado la demanda de energía, y, en consecuencia, el sistema eléctrico es cada vez más susceptible de no satisfacer el consumo de energía; además, la generación de energía, a partir de fuentes no renovables como los combustibles fósiles, impactan negativamente al medio ambiente. Por el contrario, la generación a partir de fuentes renovables soluciona la problemática ambiental y permite diversificar la matriz energética. Debido a que Colombia posee gran variedad de recursos naturales, da a conocer que la mayor cantidad de energía generada en el país corresponde a fuentes renovables, principalmente a partir de hidroeléctricas. Es así como las energías renovables juegan un papel fundamental en la economía de Colombia.

Desde otro punto de vista en cuanto al aprovechamiento energético de residuos cítricos y estiércol bovino mediante la codigestión anaeróbica para la producción de biogás Cendales en 2011 llevó a cabo en su investigación el montaje de los ensayos de

biodegradabilidad anaeróbica de la mezcla homogeneizada de estiércol bovino y residuos cítricos. En la cual durante el desarrollo de la etapa experimental se realizaron mediciones periódicas de las variables de control tales como pH, alcalinidad, demanda química de oxígeno (total y soluble), entre otras, con el fin de establecer los parámetros de desempeño del proceso. Adicionalmente realizó la simulación del proceso de digestión anaeróbica bajo condiciones similares a las establecidas durante los ensayos experimentales, mediante la implementación del modelo ADM-1. Con base en los resultados obtenidos mediante las mediciones experimentales y las simulaciones, se evaluó la precisión del modelo respecto a los valores de las mediciones experimentales y finalmente implementó un modelo simplificado para la evaluación de la energía producida por una instalación a escala piloto que realiza el tratamiento anaeróbico del residuo orgánico bajo estudio.

Por otra parte, para los residuos agrícolas. La empresa de investigación energética en 2014 señala que la parte superior de la yuca es un subproducto que puede utilizarse para el aprovechamiento energético, con un factor de relación con el cultivo de 0,65. Utilizando esta un factor de disponibilidad del 40%, en donde se recomendando no eliminar más de este porcentaje del residuo del suelo. En la cual los residuos de yuca tienen un valor calorífico de 15,26 MJ/Kg (Muños, et al. 2014). Por otra parte, el cultivo de arroz presenta dos tipos de residuos utilizables (paja y cascara) en donde estos residuos poseen un valor calorífico de 14,54 MJ/kg (ECN Phyllis, 2013). En la cual Carvalho en 1992 señala que para el cultivo de arroz la paja presenta un factor de relación que varía de 1,24 a 1,25 toneladas de biomasa por toneladas de arroz, mas no se recomienda retirar un porcentaje mayor al 40% del suelo. Y en el caso de la cascarilla de arroz el factor de

disponibilidad es del 100%, resultando en un valor de relación de residuos de cultivos para la generación de energía de 0,30. Y en el caso del cultivo de maíz según el “inventario energético de residuos rurales Colmo” la hoja y la paja del maíz presentan un rendimiento de 1,68 toneladas de Biomasa por tonelada de maíz, recomendando no eliminar más del 40% de los residuos del suelo. En el cual los residuos de maíz tienen un valor calorífico de 15,13 MJ/kg (ECN Phyllis, 2013). Otra perspectiva, según el manual del Biogás (2011) los residuos de origen bovino son una fuente viable para la producción de energía, debido a la alta disponibilidad de materia prima que puede estar disponible diariamente por cada animal, ya que estima que cada vaca puede producir diariamente 10 kg de estiércol promedio. Exponiendo que implementar biodigestores con este tipo de residuos es una forma viable para el aprovechamiento de estos, convirtiéndose en una fuente de energía vital para quienes lo implementen.

En cuando a la producción de energía con fuentes fósiles, grupos BRAVO generadores eléctricos expresa que los generadores de energía eléctrica que trabajan con gasolina presentan un promedio de producción de 2 kWh por cada litro de gasolina. Además, afirma que los generadores de mayor tamaño no consumen mayores cantidades de combustible en comparación con los de menor tamaño; argumentando que los de mayor tamaño guardan una relación de consumo debido a que generan mayor rendimiento y eficiencia. Pero según la comisión interdepartamental del cambio climático en 2011, señala que la producción de energía eléctrica por medio de plantas eléctricas son causantes de emitir 181 g de CO<sub>2</sub>/kWh. Describiendo que fuentes fósiles como el gas natural produce 10,65 kWh/m<sup>3</sup> y el carbón 5700 kWh/t.

### **5.3 Marco legal**

La normativa en la cual se fundamenta esta investigación es la ley Colombiana 1715 de 2014, la cual tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. En la cual se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia como la respuesta de la demanda. Teniendo como finalidad establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, como también el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de las tecnologías limpias para la producción de energía.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de carácter mixta, pues está enfocada en la recolección y el análisis de datos secundarios obtenidos de otras investigaciones. Con la finalidad de describir las características presentes basadas en las actividades agrícolas y ganaderas en el municipio de Buenavista Sucre, de este modo se determinará el potencial energético producto de la generación de biomasa de las actividades mencionadas.

### 6.2 Descripción del área de estudio

Buenavista es un municipio del departamento de sucre, ubicada al norte de la república de Colombia con coordenadas geográficas  $9^{\circ}19'11.99''$  N,  $74^{\circ}58'26.13''$  O. Este municipio se caracteriza por estar en la zona de sabanas del departamento, presentando vocación agrícola y ganadera por parte de sus habitantes. Para el reconocimiento del área de estudio no se contempla realizar salida de campo debido a que el municipio cuenta con información base para este estudio.

**Imagen 1.** Localización del municipio de Buenavista Sucre, Colombia.



**Fuente:** Google Earth.

### **6.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la elaboración de la investigación y la toma de datos correspondientes en primera instancia se desarrolló un proceso de estudio y caracterización de literatura correspondiente a la generación de biomasa producida por las actividades agrícolas y ganaderas en el departamento Sucre. Posteriormente para los cultivos de yuca, arroz y maíz se les halló el factor de conversión (FC) el cual representa la cantidad de residuos producidos por cada cultivo. En donde este factor depende del factor de relación (FR), que representa la cantidad de residuos generados a partir de la cantidad de producto producido, y el factor de disponibilidad (FD) el cual es el porcentaje permitido para la extracción de residuos:

**Ecuación 1.** *Factor de conversión*

$$FC = \sum FR * FD$$

Posteriormente se halló el potencial energético (PE) para cada tipo de residuo, el cual consiste en multiplicar el factor de conversión (FC) con las toneladas de cada producto agrícola (t/año) y luego multiplicado con el poder calorífico inferior (PCI).

**Ecuación 2.** *Potencial energético*

$$PE = FC * t/año * PCI$$

Finalmente, para los residuos de agricultura se halló la cantidad de energía eléctrica (kWh) que se podría obtener por medio de las distintas tecnologías de eficiencia energética como lo son el ciclo Rankine orgánico (ORC), ciclo Rankine y gasificación.

El cual consiste en multiplicar el potencial energético (kWh) con el porcentaje de eficiencia de cada tecnología (Pacheco et al., 2018).

**Ecuación 3.** *Energía eléctrica producida por los residuos de agricultura.*

**Potencial energético (kWh) \* Porcentaje de eficiencia = Energía eléctrica**

Para la implementación de la tecnología de biodigestión de los residuos de ganadería (estiércol bovino), inicialmente se realizó un censo a 5 pequeñas granjas en el municipio de Buenavista Sucre. En el cual se preguntó por el número de vacas presentes, las hectáreas de terreno dedicadas a la ganadería y se realizó una estimación promedio de la producción de estiércol diaria por vaca (10 Kg/día) (Manual de Biogás, 2011).

Posterior a eso se realizó el cálculo de carga en función de la materia prima, teniendo presente la relación de que un kg de estiércol debe ser homogenizado con un litro de agua (relación 1:1).

**Ecuación 4.** *Mezcla estiércol: agua producida por cada granja diariamente*

**Estiércol (Kg/día) + Agua necesaria (L) = Total Mezcla (L/día)**

Posteriormente se definió la capacidad del biodigestor para cada granja, el cual se obtiene de multiplicar el volumen diario por el tiempo de residencia. Y se define la localización y diseño de los biodigestores para cada granja.

**Ecuación 5.** *Volumen del digestor para cada granja*

**Volumen del digestor(L/días) \*Tiempo (días) =Volumen del digestor (L)**

**Volumen del digestor (L)\*((1 m3) / (1000 L)) =Volumen del digestor (m3)**

Luego de haber realizado los cálculos para la capacidad del biodigestor en función de la materia prima disponible en la actualidad de cada granja, se hace una proyección en

el aumento del ganado del 37% en dos años, y se proyecta una nueva capacidad de igual porcentaje de aumento para el biodigestor.

**Ecuación 6.** *Proyección del 37% para cada granja.*

**Valor + ((Porcentaje a incrementar/100) \* Valor) = Aumento de porcentaje**

**(Total mezcla (L/día) \* Tiempo (día)) \* 1m<sup>3</sup> / 1000 L = Volumen del digestor (m<sup>3</sup>)**

Luego se define la etapa de arranque del biodigestor, en la cual se verifica que no existan agujeros, se prepara la mezcla estiércol: agua y se carga al biodigestor con un 70% de capacidad. En el cual se espera un tiempo de retención para cargar y retirar el mismo volumen de mezcla diariamente. Luego de haber hecho la carga al biodigestor se debe realizar la apertura de las válvulas que controlan el flujo del biogás durante aproximadamente una semana y finalmente transcurridas varias semanas se debe realizar la prueba del Biogás. Transcurridos los pasos anteriores el biogás es almacenado en tanques de almacenamiento y estará disponible para la generación de energía eléctrica o para cocinar alimentos.

Después de haber establecido la etapa de arranque del biodigestor en cada granja se describe cuanto es la producción de biogás por cada granja (m<sup>3</sup>), en donde para hallar la cantidad de biogás producido por cada granja se multiplica el volumen del digestor (tMF) por la equivalencia de que una tonelada de materia fresca produce 81 metros cúbicos de biogás (m<sup>3</sup>/tMF). De igual forma sucede para hallar la electricidad, una tonelada de materia fresca produce 194 (kWh/ tMF) (REMBIO, 2020). En donde es posible la siguiente relación:

**Ecuación 7.** *Relación de materia fresca.*

**1000 litros de materia fresca = 1 tonelada de materia fresca = 1 m3 de materia fresca.**

**Ecuación 8.** *Biogás producido por cada granja.*

**Volumen del digester (tMF) \* relación de biogás producido por tonelada de materia fresca (m3/tMF) = biogás producido por cada granja (m3).**

**Ecuación 9.** *Energía eléctrica producida por cada granja.*

**Volumen del digester (tMF) \* relación de energía eléctrica producida por tonelada de materia fresca (kWh/ tMF) = energía eléctrica producida por cada granja (kWh).**

Para finalizar la implementación se define la capacidad de los biodigestores que serán implementados en cada granja, aproximando la capacidad calculada al número cercano mayor en función de la proyección del 37%.

Para saber las cantidades de CO<sub>2</sub> que dejan de ser emitidas por el aprovechamiento energético de la biomasa producto de las actividades agrícolas y ganaderas se multiplica los kWh producidos por cada tecnología de aprovechamiento con el factor de que la obtención de 1 kWh emite 181 gr de CO<sub>2</sub>.

**Ecuación 10.** *CO<sub>2</sub> mitigado por el aprovechamiento de los residuos agrícolas y ganaderos.*

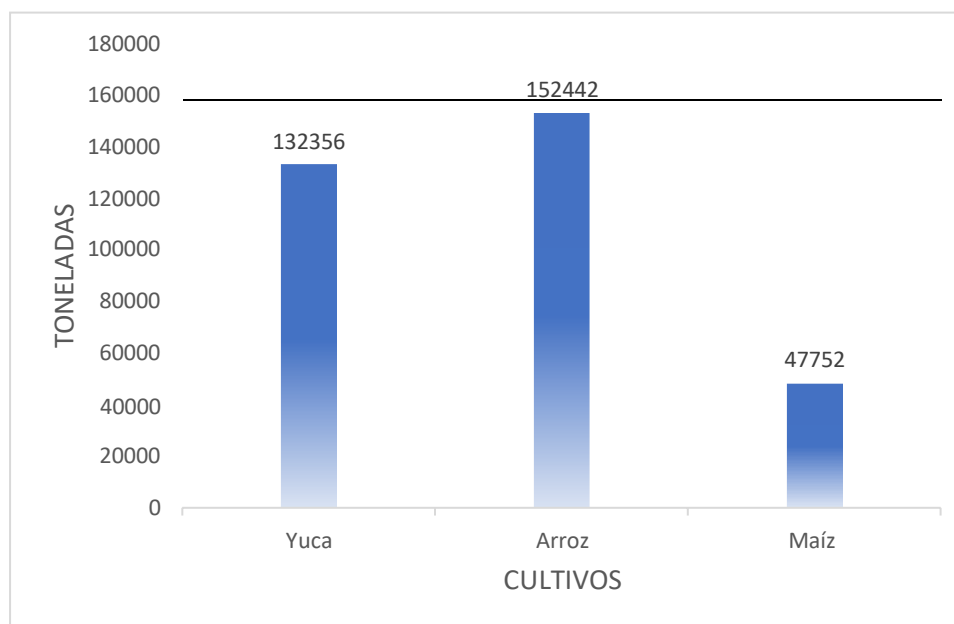
**Energía eléctrica (kWh) \* producción de CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>/kWh) = CO<sub>2</sub> que no se emite (t CO<sub>2</sub>)**

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Residuos agrícolas

En la gráfica 2 se muestran los rendimientos de los cultivos de yuca, arroz y maíz en el departamento de Sucre en el año 2012. Siendo el cultivo de arroz el de mayor participación.

**Gráfica 2.** Toneladas de yuca, arroz y maíz producidas en 2012.



Fuente: Salcedo (2014)

A continuación, en la tabla 1 se muestra el factor de conversión de cada cultivo. Además, se muestran las características de cada cultivo. La siguiente ecuación es la utilizada para hallar el FC:

$$FC = \sum FR * FD$$

**Tabla 1.** Características de los cultivos de yuca, arroz y maíz, y calculo del factor de conversión de los residuos en el municipio de Buenavista Sucre.

Referencia	Factores	PCI
------------	----------	-----

Diferentes tipos de cultivos	Cantidad producida (Toneladas)	Tipo de residuo	Factor de relación	Factor de disponibilidad	Factor de conversión	Poder calorífico inferior (MJ/Kg)
Yuca	132.356	Ramas (parte superior)	0,65	0,4	0,26	15,26
Arroz	152.442	Paja y cascara	1,25 - 0,3	0,40 - 1,00	0,8	15,54
Maíz	47.752	Hoja y paja	1,68	0,4	0,672	15,13

**Fuente:** Autor

La anterior tabla muestra las características detalladas de los distintos tipos de cultivos objeto de investigación en el municipio de Buenavista Sucre. La mayor cantidad de residuos producidos son proveniente de estos tres tipos de cultivos seleccionados.

### 7.1.1 Calculo del potencial energético del residuo

La tabla 2 muestra el potencial energético que tienen los residuos de cada tipo de cultivo en el municipio de Buenavista Sucre, siendo la yuca el de mayor potencial. El potencial energético fue hallado por medio de la siguiente ecuación:

$$PE = FC * t/año * PCI$$

**Tabla 2.** *Potencial energético del residuo de los cultivos de estudio en el municipio de Buenavista Sucre.*

	Potencial energético del residuo (MJ/año)
Yuca	525.135.665,6
Arroz	1.895.158.944
Maíz	485.511.774,72

Fuente: autor

### 7.1.2 Ciclo Rankine Orgánico, Ciclo Rankine y gasificación

La imagen 2 muestra los porcentajes de eficiencia eléctrica que tiene cada una de las distintas tecnologías para el aprovechamiento de biomasa. La tabla 3 muestra la cantidad de energía eléctrica que puede ser obtenida con cada tecnología. Siendo el ciclo Rankine la tecnología de mayor eficiencia.

**Potencial energético (kWh) \* Porcentaje de eficiencia = Energía eléctrica**

**Imagen 2.** Eficiencia eléctrica de las tecnologías para el aprovechamiento energético.

	ORC	Rankine cycle	Gasification
biomass consumption, kg/s	0.40	0.24	0.33
electric efficiency, %	10.78	17.78	14
SBC, kg/kWh	2.41	1.51	1.97
net power, kW	3143	2905	3358

FUENTE: Pacheco et al., 2018

**Tabla 3.** Energía eléctrica producida por cada tecnología

	ORC	Ciclo Rankine	Gasificación
Yuca (kWh)	1.572.490.834,426	2.593.588.778,859	2.042.195.888,866
Arroz (kWh)	5.674.952.711,153	9.359.986.939,175	7.370.068.456,044
Maíz (kWh)	1.453.839.199,591	2.397.890.627,897	1.888.102.856,612

Fuente: autor

## 7.2 Tecnología de biodigestión

La tabla 4 muestra el censo realizado a 5 pequeñas granjas del municipio de Buenavista Sucre, y la producción de estiércol diaria por cada vaca (Kg/día). Siendo Villa rosa la de mayor producción de estiércol.

**Tabla 4.** Censo a granjas en el municipio de Buenavista Sucre y producción de estiércol.

No.	Nombre Granja	Número de vacas	Hectáreas dedicadas a la ganadería (ha)	Producción de estiércol diaria (Kg/día)
1	Jerusalén	16	7	160
2	Marquetalia	9	6	90
3	La palestina	11	9	110
4	Villa Rosa	18	11	180

5	Rancho Pando	13	8	130
---	--------------	----	---	-----

Fuente: autor

### 7.2.1 Cálculos de carga en función de la materia prima

La tabla 5 muestra la relación que se debe tener para la preparación de la materia prima de origen bovino. Y en la tabla 6 se muestra el cálculo de la relación 1: 1 para cada granja.

**Tabla 5.** *Relación estiércol: agua*

Tipo de animal	estiércol: Agua
Bovino	1: 1

Fuente: manual de biogás (2011)

$$\text{Estiércol (Kg/día)} + \text{Agua necesaria (L)} = \text{Total Mezcla (L/día)}$$

**Tabla 6.** *Disponibilidad de la materia prima de cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.*

	No. Vacas	Estiércol (Kg/día)	Agua necesaria (L)	Total mezcla (L/día)
Jerusalén	16	160	160	320
Marquetalia	9	90	90	180
La Palestina	11	110	110	220
Villa Rosa	18	180	180	360
Rancho Pando	13	130	130	260

Fuente: autor

### 7.2.2 Capacidad de la planta de Biogás

La tabla 7 muestra la capacidad que tiene cada biodigestor en cada granja. Siendo Villa rosa quien tiene mayor capacidad de volumen. El cual se obtuvo de la siguiente manera.

$$\text{Volumen del digestor(L/días)} * \text{Tiempo (días)} = \text{Volumen del digestor (L)}$$

$$\text{Volumen del digestor (L)} * ((1 \text{ m}^3) / (1000 \text{ L})) = \text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}$$

**Tabla 7.** Capacidad del volumen del biodigestor para cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.

	Volumen diario (L/día)	Tiempo (días)	Volumen del digestor (L)	Volumen del digestor (m3)
Jerusalén	320	35	11200	11,2
Marquetalia	180	35	6300	6,3
La Palestina	220	35	7700	7,7
Villa Rosa	360	35	12600	12,6
Rancho Pando	260	35	9100	9,1

Fuente: autor

### 7.2.3 Localización y diseño del Biodigestor

La localización del biodigestor será cercana a la zona de uso del biogás, con fácil acceso a la materia prima y agua. Teniendo un lugar para almacenar el bioabono en caso de no ser empleado inmediatamente.

El diseño utilizado es biodigestor semicontinuo de bajo costo. La imagen 3 muestra el diseño del biodigestor a implementar en cada granja.

**Imagen 3.** Diseño de biodigestor semicontinuo



Fuente: TAIS GADEA LARA (2014)

La tabla 8 muestran la proyección del 37% para los próximos dos años, en cuanto al número de animales y el volumen que debe tener el biodigestor. Siendo Villa Rosa la

de mayor capacidad de volumen proyectado. Las proyecciones se realizaron utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Valor} + ((\text{Porcentaje a incrementar}/100) * \text{Valor}) = \text{Aumento de porcentaje}$$

$$(\text{Total mezcla (L/día)} * \text{Tiempo (día)}) * 1\text{m}^3 / 1000 \text{ L} = \text{Volumen del digestor}$$

(m<sup>3</sup>)

**Tabla 8.** Proyección del 37% para cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.

	No. Vacas	Incremento del 37% en el número de vacas	Estiércol (Kg/día)	Incremento del 37% en la producción de estiércol (Kg/día)	Agua necesaria (L)	Total mezcla (L/día)	Volumen del digestor (m <sup>3</sup> )
Jerusalén	16	22	160	220	220	440	15,4
Marquetalia	9	13	90	130	130	260	9,1
La Palestina	11	16	110	160	160	320	11,2
Villa Rosa	18	25	180	250	250	500	17,5
Rancho Pando	13	18	130	190	190	380	13,3

Fuente: autor

#### 7.2.4 Etapa de arranque

- Verificación de agujeros que permitan escape del Biogás.

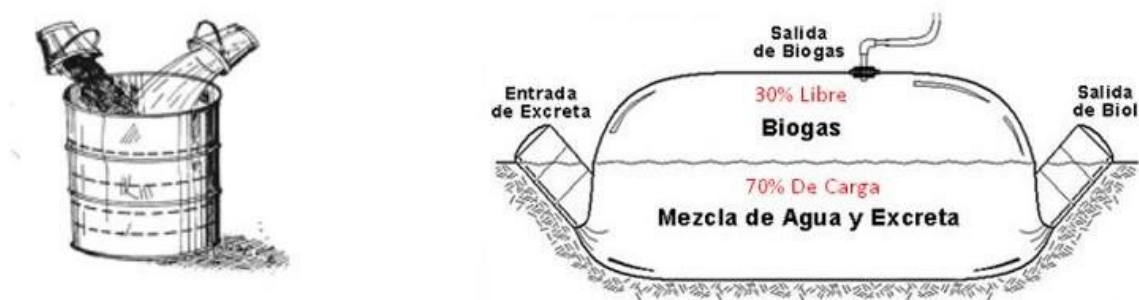
**Imagen 4.** Verificación de agujeros



Fuente: TAIS GADEA LARA (2014)

- Se prepara la mezcla en relación 1:1 (estiércol: agua) y se adiciona al biodigestor, pasada 20 horas se repite el mismo procedimiento y se retira el mismo volumen de la cantidad introducida hasta máximo un 70% de carga. Tener en cuenta el tiempo de retención de 35 días para hacer la carga y descarga diaria.

**imagen 5.** Preparación estiércol: agua



Fuente: Manual de biogás (2011)

- Se abre la válvula entre 5 a 7 días para eliminar el oxígeno y demás gases, posterior a cerrarla nuevamente.

**Imagen 6.** *Abertura y cerrado de válvula*



Fuente: Manual de biogás (2011)

- realización de la prueba del Biogás o quema del Biogás transcurridas varias semanas.

**Imagen 7.** *Quema o prueba de biogás*



Fuente: Google

- Almacenamiento del biogás y su disponibilidad para la utilización en la cocina y/o para la generación de energía eléctrica.

**Imagen 8.** Tanque de almacenamiento de biogás



Fuente: Google

### 7.2.5 Cálculo del Biogás y energía eléctrica para cada granja

La tabla 9 muestra la productividad que tiene el estiércol vacuno para la producción de biogás (m<sup>3</sup>/tMF) y electricidad (kWh/tMF).

**Tabla 9.** Productividad de Biogás y otras energías para el estiércol vacuno.

Materia prima	Estiércol vacuno
Generación de Biogás (m <sup>3</sup> /tMF)	81
Electricidad (kWh/tMF)	194

Fuente: REMBIO 2020

La tabla 10 muestra la producción de Biogás (m<sup>3</sup>) para cada granja, siendo Marquetalia la que menos producción tiene. Los valores se obtuvieron por medio de la siguiente ecuación:

**Volumen del digestor (tMF) \* relación de biogás producido por tonelada de materia fresca (m<sup>3</sup>/tMF) = biogás producido por cada granja (m<sup>3</sup>)**

**Tabla 10.** Producción de biogás para cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.

Granjas	Volumen del biodigestor (tMF)	Volumen del biodigestor – proyección del 37 % (tMF)	Biogás producido (m3)	biogás producido – proyección del 37% (m3)
Jerusalén	11,2	15,4	907,2	1247,4
Marquetalia	6,3	9,1	510,3	737,1
La Palestina	7,7	11,2	623,7	907,2
Villa Rosa	12,6	17,5	1020,6	1417,5
Rancho Pando	9,1	13,3	737,1	1077,3

Fuente: autor

La tabla 11 muestra la generación de energía eléctrica para cada granja, siendo Villa Rosa quien más produce y Marquetalia la de menor producción. La cual se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

**Volumen del digestor (tMF) \* relación de energía eléctrica producida por tonelada de materia fresca (kWh/ tMF) = energía eléctrica producida por cada granja (kWh)**

**Tabla 11.** Producción de energía eléctrica para cada granja en el municipio de Buenavista Sucre.

Granjas	Volumen del biodigestor (tMF)	Volumen del biodigestor – proyección del 37 % (tMF)	energía electica producida (kWh)	energía eléctrica producida – proyección del 37% (kWh)
Jerusalén	11,2	15,4	2172,8	2987,6
Marquetalia	6,3	9,1	1222,2	1765,4
La Palestina	7,7	11,2	1493,8	2172,8
Villa Rosa	12,6	17,5	2444,4	3395
Rancho Pando	9,1	13,3	1765,4	2580,2

Fuente: autor

### 7.2.6 Biodigestores por instalar

La tabla 12 muestra la capacidad de los biodigestores a instalar en cada granja.

Siendo Villa Rosa la que mayor capacidad requiere.

**Tabla 12.** Capacidad de los Biodigestores para instalar en las distintas granjas en el municipio de Buenavista Sucre.

Granjas	Volumen del biodigestor – proyección del 37 % (m3)	biogás producido – proyección del 37% (m3)	Capacidad del biodigestor a instalar (m3)
Jerusalén	15,4	1247,4	16
Marquetalia	9,1	737,1	10
La Palestina	11,2	907,2	12
Villa Rosa	17,5	1417,5	18
Rancho Pando	13,3	1077,3	14

Fuente: autor

### 7.3 Emisiones de CO2 mitigadas por el aprovechamiento de los residuos de biomasa

La tabla 13 muestra las cantidades de CO2 que dejan de ser emitidas por el aprovechamiento de los residuos agrícolas en el municipio de Buenavista Sucre, siendo el aprovechamiento de los residuos de yuca el de mayor mitigación. Evidenciándose que por cada kWh producido por el aprovechamiento de los residuos agrícolas se estaría dejando de emitir CO2 en comparativa con los kWh producidos por las fuentes fósiles. La fórmula utilizada es:

**Energía eléctrica (kWh) \* producción de CO2 (t CO2/kWh) = CO2 que no se emite (t CO2)**

**Tabla 13.** CO2 que deja de ser emitido por el aprovechamiento de los residuos agrícolas en el municipio de Buenavista Sucre.

ORC	Ciclo Rankine	Gasificación
-----	---------------	--------------

Yuca (kWh)	1.572.490.834,426	2.593.588.778,859	2.042.195.888,866
CO2 mitigado (t CO2)	284.620,841	469.439,568	369.637,455
Arroz (kWh)	5.674.952.711,153	9.359.986.939,175	7.370.068.456,044
CO2 mitigado (t CO2)	1.027.166,440	1.694.157,635	1.333.982,390
Maíz (kWh)	1.453.839.199,591	2.397.890.627,897	1.888.102.856,612
CO2 mitigado (t CO2)	263.144,895	434.018,203	341.746,617

Fuente: autor

La tabla 14 muestra la energía eléctrica que es producida por distintas fuentes fósiles, además muestra las emisiones de CO2 que produce cada fuente fósil. La fórmula utilizada es:

**Energía eléctrica (kWh) \* producción de CO2 (gr CO2/kWh) = CO2 que no se emite (gr CO2)**

**Tabla 14.** *Energía y emisiones de CO2 producida por fuentes fósiles*

Fuente fósil	producción de energía eléctrica (kWh)	Emisiones de CO2 (gr CO2/kWh)
Gas natural (m3)	10,65	1.927,65
Carbón (kg)	5,70	1.031,7
Gasolina (L)	2	362

Fuente: comisión interdepartamental del cambio climático (2011)

La tabla 15 muestra las cantidades de CO2 que dejan de ser emitidas por el aprovechamiento de los residuos de ganadería en cada granja del municipio de Buenavista Sucre, siendo Villa Rosa quien genera la mayor mitigación. Evidenciándose que por cada kWh producido por el aprovechamiento de los residuos ganaderos se estaría

dejando de emitir CO2 en comparativa con los kWh producidos por las fuentes fósiles.

La fórmula utilizada es:

**Energía eléctrica (kWh) \* producción de CO2 (t CO2/kWh) = CO2 que no se emite (t CO2)**

***Tabla 15.** CO2 que deja de ser emitido por el aprovechamiento de los residuos ganaderos en el municipio de Buenavista sucre.*

Granjas	energía eléctrica producida – proyección del 37% (kWh)	CO2 dejado de emitir (t CO2)
Jerusalén	2987,6	0,540
Marquetalia	1765,4	0,319
La Palestina	2172,8	0,393
Villa Rosa	3395	0,614
Rancho Pando	2580,2	0,467

Fuente: autor

## 8. DISCUSIONES

Teniendo en cuenta la información de productividad agrícola en el departamento de Sucre y con base a las cantidades producidas anual, se descartaron algunos productos por no contar con registros de producción (Toneladas/año) y por no haber información sobre el aprovechamiento energético de los residuos de estos cultivos.

El cultivo de ñame fue descartado debido a no haber información sobre el aprovechamiento energético de este, esto sucede debido al alto contenido de humedad (Pacheco, 2017).

Los cultivos de algodón, ají, tabaco rubio, ajonjolí, batata, zapote y tabaco negro fueron descartados por no haber registro de producción (toneladas/año). Lo cual se asume que las toneladas producidas de estos cultivos son inferiores a 500, por lo que no permitirían una generación eléctrica significativa. Es por eso por lo que en este trabajo solo se consideró el uso de residuos de 3 cultivos (yuca, arroz y maíz).

El aprovechamiento energético de los residuos agrícolas más significativo en cuanto a la obtención de energía eléctrica kWh se da por medio del ciclo Rankine, seguido por gasificación y por último ciclo Rankine orgánico. Esto sucede porque el porcentaje de eficiencia eléctrica es superior uno al otro en el orden descrito anteriormente.

Villa Rosa es la granja que presenta mayor potencial para la generación de biogás por tener mayoría en animales bovinos y por ende mayor disponibilidad de residuos vacunos (estiércol), siendo Marquetalia la de menor potencial.

Los biodigestores para instalar en cada granja son dependientes del aumento del 37% en la proyección para futuros dos años. Teniendo en cuenta que si se instala dependiendo al número de animales en la actualidad, transcurrido unos años la capacidad de los biodigestores será insuficiente para la materia prima disponible.

Para poder cargar con materia prima periódicamente el biodigestor, es necesario contar con el tiempo de retención de 35 días, para luego poder hacer las cargas y descargas diarias en relación con la capacidad de este. En el cual se recomienda antes de cargar no dejar grumos de estiércol. Todo esto con el fin de garantizar que exista una mezcla homogénea cercana al 100%, en la cual con el tiempo de retención se garantiza mayores colonias de microorganismos que permitan la producción eficaz de biogás.

Para el almacenamiento del biogás en cada granja es recomendable usar contenedores flexibles que permitan conocer a simple vista cuando se esté llegando al tope máximo de biogás almacenado, esto en caso de no instalar medidores que permitan conocer el volumen que se almacena.

En cuanto a la generación de energía eléctrica Villa Rosa sería la granja con mayor kWh producidos por m<sup>3</sup> de biogás, y Marquetalia la de menor producción de kWh/m<sup>3</sup>. Debido a las cantidades de producción de biogás que cada granja maneja diariamente en relación con el número de vacas presentes.

El aprovechamiento de los residuos orgánicos para la producción de energía eléctrica por medio de las tecnologías planteadas genera reducciones significativas de emisiones de CO<sub>2</sub> por kWh producido. Siendo el aprovechamiento de los residuos agrícolas quien genera mayores reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub>/kWh que son

emitidas en comparación con las emitidas por las fuentes fósiles. Ya que las cantidades de residuos agrícolas son mayores en comparación con los residuos ganaderos.

## 9. CONCLUSIONES

En la presente investigación se realizaron las siguientes conclusiones resaltando los objetivos específicos con la finalidad de mostrar que se cumplieron en su totalidad.

### **Desarrollar la caracterización del municipio de Buenavista Sucre de acuerdo con su potencial energético de biomasa.**

El desarrollo de la caracterización del municipio de Buenavista Sucre de acuerdo con su potencial energético de biomasa mostró que el municipio tiene un alto potencial para el aprovechamiento energético de los residuos de biomasa producto de las actividades agrícolas y ganaderas, lo que ratifica que la presente investigación es una forma viable de aprovechar los residuos que pueden estar disponibles en gran cantidad. Lo que conlleva a mitigar los impactos ambientales en el municipio, debido a que muchos de los residuos agrícolas son juntados y posteriormente incinerados lo que ocasiona grandes emisiones atmosféricas. Contribuyendo a estas también las emisiones de gases de efecto invernadero que emiten los residuos de ganadería como el estiércol.

### **Definir la tecnología de aprovechamiento de la biomasa mediante procesos de biodigestión de heces vacunas y el aprovechamiento energético de biomasa sólida de residuos de agricultura.**

El aprovechamiento de la biomasa mediante la tecnología de biodigestión de las heces vacunas en las granjas del municipio de Buenavista Sucre representará una forma de tecnificación, debido a que el biogás producto de este proceso podrá ser utilizado para cocinar los alimentos diariamente y/o utilizarse para otros fines en el que este pueda ser

utilizado. Representando una tecnología practica y eficiente para el aprovechamiento de estos residuos.

Por otra parte, el aprovechamiento de los residuos agrícolas generados por los cultivos de yuca, arroz y maíz en el municipio de Buenavista Sucre representa que es viable obtener energía eléctrica gracias al aprovechamiento energético de los residuos mediante las tecnologías de ciclo Rankine orgánico, ciclo Rankine y gasificación. Lo que genera un ahorro eficiente considerable de la energía eléctrica que abastece al municipio, lo cual se refleja en el costo de energía eléctrica que se paga mensualmente. Además, se estaría contribuyendo con un modelo de desarrollo sustentable para la producción de energía eléctrica.

**Medir la mitigación en términos energéticos que se produce con el aprovechamiento de la biomasa producto de las actividades agrícolas y ganaderas en comparativa con la generación de energía con fuentes fósiles para la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>.**

La obtención de energía eléctrica por medio de fuentes fósiles genera emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases constantemente a la atmosfera por cada kWh producido, es por lo que la implementación de esta investigación en el municipio de Buenavista Sucre conlleva a que por cada kWh producido por las tecnologías implementadas se esté contribuyendo a la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y demás gases que generan las fuentes fósiles para la obtención de energía eléctrica. De esta manera se estaría mejorando la calidad del aire y por ende la calidad de vida de las personas, y cumpliendo con el artículo 79 de la constitución política de Colombia que dice que cada persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano.

## 10. REFERENCIAS

Acolgen. (s. f.). *Generación eléctrica en Colombia*. Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica. Recuperado 21 de abril de 2021, de <https://www.acolgen.org.co/>

Ali, O.; Hossein, G. y Hooman, F. (2013). *Energy efficiency improvement analysis considering environmental aspects in regard to biomass gasification PSOFC/GT Power Generation System*. *Procedia Environmental Sciences: Vol. v. 17*, pp. 831–41. ELSEVIER.

Arango, M. C. (2019, 5 marzo). *Panorama energético de Colombia*. Grupo Bancolombia. <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia>

*Calculadora de equivalencias de gases de efecto invernadero - Cálculos y referencias*. (2021, 28 abril). US EPA. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculadora-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero-calculos-y>

CARVALHO, F. C. (1992). Disponibilidade De Resíduos Agroindustriais E Do Beneficiamento De Produtos Agrícolas. *Informações Econômicas*, v. 22, n. 12, p. 31–46.

CCA. (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético*. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper-es.pdf>

DE SIQUEIRA DANTAS, V. F. (2013). Potencial Energético Dos Resíduos Da Cultura Do Milho. *Evidência*, Joaçaba v. 13 n. 2, p. 153-164.

Dumont, J. C. (2000). *Impacto ambiental de la actividad ganadera* (N.º NR25769).  
<https://inia.prodigioconsultores.com/bitstream/handle/123456789/5766/NR25769.pdf?sequence=1>

ECN. (2013). Base de datos, ECN Phyllis classification.  
<https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis>

Enrique Murgueitio. (2003, 15 octubre). *Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución*. Cali, Colombia.  
<http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd15/10/murg1510.htm>

FEDEGAN. (2014, agosto). *BASES PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN 2014 – 2018 PARA EL MEJORAMIENTO DE LA GANADERÍA DEL DEPARTAMENTO DE SUCRE*.  
<https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=9.PlanSucreFINAL.pdf&iIdFiles=655>

Galán Riveros, X. F. (2016). *Potencial energético de la biomasa residual agrícola en Colombia*. <http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/637>

Generalitat de Catalunya, Comisión Interdepartamental del Cambio Climático. (2011). *GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)*.  
<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

*Gobernación de Sucre.* (2017, 1 junio). Nuestro departamento.

<http://www.sucre.gov.co/departamento/nuestro-departamento>

Goyeneche, M. (2015). *HIDROELÉCTRICAS, PROBLEMA O SOLUCIÓN.* EL

TIEMPO. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-416567>

Grupos BRAVO-generadores eléctricos. (s. f.). *¿Cuánto consume un generador de gasolina?* Grupos BRAVO. <https://gruposbravo.com/module/psblog/module-psblog-blog?id=27>

INECOL. (s. f.). *La ganadería y la pérdida de la biodiversidad.* Instituto de

Ecología. Recuperado 2 de marzo de 2021, de

<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/845-la-ganaderia-y-la-perdida-de-la-biodiversidad>

Martín San José, C. (2018, julio). *Obtención de biogás a partir de residuos agrícolas activados con agentes inoculantes.*

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/9552/OBTENCION%20DE%20BIOGAS%20A%20PARTIR%20DE%20RESIDUOS%20AGRICOLAS%20ACTIVADOS%20CON%20AGENTES%20INOCULANTES.pdf;jsessionid=854750B865902AC098A7755304A69D1F?sequence=1>

Martínez, I. (s. f.). *La acumulación de estiércol en los pastizales ganaderos.*

INECOL. Recuperado 15 de marzo de 2021, de

<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/408-la-acumulacion-de-estiercol-en-los-pastizales->



González, J. R., & González, L. E. (2015). Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. *I3+*, 2(2), 28-44.

<https://doi.org/10.24267/23462329.109>

Sanguino Barajas, P. A.; Téllez Anaya, N. A.; Escalante Hernández, H.; & Vásquez Cardozo, C. A. (2009). Aprovechamiento energético de la biomasa residual del sector avícola. <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342030280005.pdf>

Cortés, S. & Arango Londoño, A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. <https://www.redalyc.org/pdf/1513/151354939007.pdf>

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA  
ENERGETICA, NOTA TÉCNICA DEA 15/14 Inventário Energético de Resíduos  
Rurais. Rio de Janeiro, 2014.

MUÑOS, D.; CUATIN, M. F.; PANTAJO, A. J. Potencial Energético De  
Residuos Agroindustriales Del Departamento Del Cauca, A Partir Del Poder Calórico  
Inferior. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, v. 11, n. 2, p. 156–63,  
2013.

RODRÍGUEZ SOTOMONTE, C. A. et al. Exergoeconomic Analysis Of Small-  
Scale Biomass Steam Cogeneration. *13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and  
Engineering*, v. 2, p. 0–11, 2010.

Pacheco Torres, Pedro Jessid, Avaliação Técnico-Econômica de Diferentes  
Tecnologias de Geração de Eletricidade Para o Aproveitamento Energético de Resíduos  
de Biomassa em Comunidades Isoladas, Dissertação De Mestrado, Programa De Pós-

Graduação Em Engenharia De Energia, Universidade Federal De Itajubá, Itajubá, 26 de abril de 2017, M.G – Brasil

## ANEXOS

### Anexo 1. Cálculos del factor de conversión de los residuos agrícolas

$$FC = \sum FR * FD$$

Donde:

FC = factor de conversión

FR = factor de relación

FD = factor de disponibilidad

✓ **Para la yuca**

$$FC = \sum 0,65 * 40\%$$

$$FC = 0,26$$

✓ **Para el arroz (Paja y cascara)**

**Paja**

$$FC = \sum 1,25 * 40\%$$

$$FC = 0,5$$

**Cascara**

$$FC = \sum 0,30 * 100\%$$

$$FC = 0,30$$

$$(FC_{cascara} = 0,30) + (FC_{paja} = 0,50)$$

$$FC_{total} = 0,80$$

✓ Para el maíz

$$FC = \sum 1,68 * 40\%$$

$$FC = 0,672$$

## Anexo 2. Cálculo del potencial energético del residuo

$$PE = FC * t/año * PCI$$

✓ Para la yuca

$$PE = 0,26 * 132.356 t/año$$

$$PE = 34.412,56 t/año$$

$$PE = 34.412,56 t/año * 15,26 MJ/Kg$$

$$PE = 34.412.560 Kg/año * 15,26 MJ/Kg$$

$$PE = 525.135.665,6 MJ/año$$

✓ Para el arroz

$$PE = 0,8 * 152.442 t/año$$

$$PE = 121.953,6 t/año$$

$$PE = 121.953,6 t/año * 15,54 MJ/Kg$$

$$PE = 121.953.600 Kg/año * 15,54 MJ/Kg$$

$$PE = 1.895.158.944 MJ/año$$

✓ **Para el maíz**

$$PE = 0,672 * 47.752 \text{ t/año}$$

$$PE = 32.089,344 \text{ t/año}$$

$$PE = 32.089,344 \text{ t/año} * 15,13 \text{ MJ/Kg}$$

$$PE = 32.089.344 \text{ Kg/año} * 15,13 \text{ MJ/Kg}$$

$$PE = 485.511.774,72 \text{ MJ/año}$$

### **Anexo 3. Cálculos de la energía eléctrica producida por cada tecnología de aprovechamiento de la biomasa de los residuos agrícolas**

- Potencial energético (kWh) \* Porcentaje de eficiencia del ORC = energía eléctrica (kWh)
- Potencial energético (kWh) \* Porcentaje de eficiencia del ciclo Rankine = energía eléctrica (kWh)
- Potencial energético (kWh) \* Porcentaje de eficiencia de gasificación = energía eléctrica (kWh)

El potencial energético de cada cultivo debe estar en función de kWh, es por eso por lo que se convierte el PE (MJ) a (kWh); con la relación de 1 MJ es igual a 0.277778 kWh.

#### **Ciclo Rankine orgánico ORC**

✓ **Para la yuca**

$$525.135.665,6 \text{ MJ} * 10,78 = \textit{energía eléctrica}$$

$$525.135.665,6 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{kWh}{1MJ} = 145.871.134,919 \text{ kWh}$$

$$145.871.134,919 \text{ kWh} * 10,78 = \mathbf{1.572.490.834,426 \text{ kWh}}$$

✓ **Para el arroz**

$$1.895.158.944 \text{ MJ} * 10,78 = \text{energía eléctrica}$$

$$1.895.158.944 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{kWh}{1MJ} = 526.433.461,146 \text{ kWh}$$

$$526.433.461,146 \text{ kWh} * 10,78 = \mathbf{5.674.952.711,153 \text{ kWh}}$$

✓ **Para el maíz**

$$485.511.774,72 \text{ MJ} * 10,78 = \text{energía eléctrica}$$

$$485.511.774,72 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{kWh}{1MJ} = 134.864.489,758 \text{ kWh}$$

$$134.864.489,758 \text{ kWh} * 10,78 = \mathbf{1.453.839.199,591 \text{ kWh}}$$

**Ciclo Rankine**

✓ **Para la yuca**

$$525.135.665,6 \text{ MJ} * 17,78 = \text{energía eléctrica}$$

$$525.135.665,6 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{kWh}{1MJ} = 145.871.134,919 \text{ kWh}$$

$$145.871.134,919 \text{ kWh} * 17,78 = \mathbf{2.593.588.778,859 \text{ kWh}}$$

✓ **Para el arroz**

$$1.895.158.944 \text{ MJ} * 17,78 = \text{energía eléctrica}$$

$$1.895.158.944 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{\text{kWh}}{1\text{MJ}} = 526.433.461,146 \text{ kWh}$$

$$526.433.461,146 \text{ kWh} * 17,78 = \mathbf{9.359.986.939,175 \text{ kWh}}$$

✓ **Para el maíz**

$$485.511.774,72 \text{ MJ} * 17,78 = \text{energía eléctrica}$$

$$485.511.774,72 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{\text{kWh}}{1\text{MJ}} = 134.864.489,758 \text{ kWh}$$

$$134.864.489,758 \text{ kWh} * 17,78 = \mathbf{2.397.890.627,897 \text{ kWh}}$$

**Gasificación**

✓ **Para la yuca**

$$525.135.665,6 \text{ MJ} * 14 = \text{energía eléctrica}$$

$$525.135.665,6 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{\text{kWh}}{1\text{MJ}} = 145.871.134,919 \text{ kWh}$$

$$145.871.134,919 \text{ kWh} * 14 = \mathbf{2.042.195.888,866 \text{ kWh}}$$

✓ **Para el arroz**

$$1.895.158.944 \text{ MJ} * 14 = \text{energía eléctrica}$$

$$1.895.158.944 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{\text{kWh}}{1\text{MJ}} = 526.433.461,146 \text{ kWh}$$

$$526.433.461,146 \text{ kWh} * 14 = \mathbf{7.370.068.456,044 \text{ kWh}}$$

✓ **Para el maíz**

$$485.511.774,72 \text{ MJ} * 14 = \text{energía eléctrica}$$

$$485.511.774,72 \text{ MJ} * 0,277778 \frac{\text{kWh}}{1\text{MJ}} = 134.864.489,758 \text{ kWh}$$

$$134.864.489,758 \text{ kWh} * 14 = \mathbf{1.888.102.856,612 \text{ kWh}}$$

**Anexo 4. Formato censo a granjas en el municipio de Buenavista**

**Sucre**

**Tabla 16.** *Formato censo a granjas en el municipio de Buenavista Sucre*

Censo - Granjas en el Municipio de Buenavista Sucre				
#	Nombre de la granja	Número de vacas	Número de hectáreas dedicada a la ganadería	Nombre del propietario

Fuente: autor

**Anexo 5. Cálculos del aumento del 37% en el número de vacas y producción de estiércol para cada granja**

$$\text{Valor} + ((\text{Porcentaje a incrementar}/100) * \text{Valor}) = \text{Aumento de porcentaje}$$

**Jerusalén**

$$16 + ((37/100) * 16) = 22 \text{ vacas}$$

$$22 \text{ vacas} = 220 \text{ kg de estiércol al día}$$

**Marquetalia**

$$9 + ((37/100) * 9) = 13 \text{ vacas}$$

13 vacas = 130 kg de estiércol al día

### **La Palestina**

$$11 + ((37/100) * 11) = 16 \text{ vacas}$$

16 vacas = 160 kg de estiércol al día

### **Villa Rosa**

$$18 + ((37/100) * 18) = 25 \text{ vacas}$$

25 vacas = 250 kg de estiércol al día

### **Rancho Pando**

$$13 + ((37/100) * 13) = 18 \text{ vacas}$$

18 vacas = 180 kg de estiércol al día

## **Anexo 6. Cálculos del volumen de los digestores para cada granja**

(Total mezcla (L/día) \* Tiempo (días)) \* 1m<sup>3</sup> / 1000 L = Volumen del digestor

(m<sup>3</sup>)

### **Jerusalén**

$$(440 \text{ L/día}) * (35 \text{ días}) * 1\text{m}^3 / 1000 \text{ L} = 15,4 \text{ m}^3$$

### **Marquetalia**

$$(260 \text{ L/día}) * (35 \text{ días}) * 1\text{m}^3 / 1000 \text{ L} = 9,1 \text{ m}^3$$

### **La Palestina**

$$(320 \text{ L/día}) * (35 \text{ días}) * 1\text{m}^3 / 1000 \text{ L} = 11,2 \text{ m}^3$$

### **Villa Rosa**

$$(500 \text{ L/día}) * (35 \text{ días}) * 1\text{m}^3 / 1000 \text{ L} = 17,5 \text{ m}^3$$

### **Rancho Pando**

$$(380 \text{ L/día}) * (35 \text{ días}) * 1\text{m}^3 / 1000 \text{ L} = 13,3 \text{ m}^3$$

## **Anexo 7. Cálculo de la producción de biogás para cada granja**

Volumen del digestor (tMF) \* relación de biogás producido por tonelada de materia fresca (m<sup>3</sup>/tMF) = biogás producido por cada granja (m<sup>3</sup>)

1000 litros de materia fresca = 1 tonelada de materia fresca = 1 m<sup>3</sup> de materia fresca.

### **Jerusalén**

$$15,4 \text{ tMF} * 81 \text{ m}^3/\text{tMF} = 1247,4 \text{ m}^3$$

### **Marquetalia**

$$9,1 \text{ tMF} * 81 \text{ m}^3/\text{tMF} = 737,1 \text{ m}^3$$

### **La Palestina**

$$11,2 \text{ tMF} * 81 \text{ m}^3/\text{tMF} = 907,2 \text{ m}^3$$

### **Villa Rosa**

$$17,5 \text{ tMF} * 81 \text{ m}^3/\text{tMF} = 1417,5 \text{ m}^3$$

### **Rancho Pando**

$$13,3 \text{ tMF} * 81 \text{ m}^3/\text{tMF} = 1077,3 \text{ m}^3$$

### Anexo 8. Gases presentes en el biogás

**Imagen 9.** Gases presentes en el biogás

Componente	Concentración
Metano (CH <sub>4</sub> )	50-75 %(vol)
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25-45 %(vol)
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	2-7 %(vol)
ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	20-20.000 ppm
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	< 2 %(vol)
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	< 2 %(vol)
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	< 1 %(vol)

Fuente: REMBIO

### Anexo 9. Calculo de la energía eléctrica producida por cada granja

Volumen del digester (tMF) \* relación de energía eléctrica producida por tonelada de materia fresca (kWh/ tMF) = energía eléctrica producida por cada granja (kWh)

#### Jerusalén

$$15,4 \text{ tMF} * 194 \text{ kWh/ tMF} = 2987,6 \text{ kWh}$$

#### Marquetalia

$$9,1 \text{ tMF} * 194 \text{ kWh/ tMF} = 1765,4 \text{ kWh}$$

#### La Palestina

$$11,2 \text{ tMF} * 194 \text{ kWh/ tMF} = 2172,8 \text{ kWh}$$

**Villa Rosa**

$$17,5 \text{ tMF} * 194 \text{ kWh/ tMF} = 3395 \text{ kWh}$$

**Rancho Pando**

$$13,3 \text{ tMF} * 194 \text{ kWh/ tMF} = 2580,2 \text{ kWh}$$

**Anexo 10. Cálculo de las emisiones de CO2 mitigadas**

Energía eléctrica (kWh) \* producción de CO2 (t CO2/kWh) = CO2 que no se emite (t CO2)

$$181 \text{ gr de CO2 emitido por cada kWh} = 0,000181 \text{ t de CO2 emitido por cada kWh}$$

**❖ Residuos agrícolas****✓ Para la yuca****Ciclo Rankine orgánico**

$$1.572.490.834,426 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO2/kWh} = 284.620,841 \text{ t CO2}$$

**Ciclo Rankine**

$$2.593.588.778,859 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO2/kWh} = 469.439,568 \text{ t CO2}$$

**Gasificación**

$$2.042.195.888,866 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO2/kWh} = 369.637,455 \text{ t CO2}$$

**✓ Para el arroz****Ciclo Rankine orgánico**

$$5.674.952.711,153 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO2/kWh} = 1.027.166,440 \text{ t CO2}$$

**Ciclo Rankine**

$$9.359.986.939,175 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 1.694.157,635 \text{ t CO}_2$$

**Gasificación**

$$7.370.068.456,044 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 1.333.982,390 \text{ t CO}_2$$

**✓ Para el maíz****Ciclo Rankine orgánico**

$$1.453.839.199,591 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 263.144,895 \text{ t CO}_2$$

**Ciclo Rankine**

$$2.397.890.627,897 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 434.018,203 \text{ t CO}_2$$

**Gasificación**

$$1.888.102.856,612 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 341.746,617 \text{ t CO}_2$$

**❖ Residuos ganaderos****Jerusalén**

$$2987,6 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 0,540 \text{ t CO}_2$$

**Marquetalia**

$$1765,4 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 0,319 \text{ t CO}_2$$

**La Palestina**

$$2172,8 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 0,393 \text{ t CO}_2$$

**Villa Rosa**

$$3395 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 0,614 \text{ t CO}_2$$

**Rancho Pando**

$$2580,2 \text{ kWh} * 0.000181 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = 0,467 \text{ t CO}_2$$