



**Viabilidad de generación de Biogás en la finca Buenos Aires, Ciudad Bolívar, por medio de  
Biodigestión Anaerobia a partir de la pulpa del café**

Helga López Quirama

Miguel Ángel Marmolejo González

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Eficiencia Energética

Asesor

Andres Adolfo Amell Arrieta, Ingeniero mecánico, Magíster (MSc) en Economía Energética

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Eficiencia Energética

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

<b>Cita</b>	(López Helga & Marmolejo Miguel Ángel, 2024)
<b>Referencia</b>	López Helga & Marmolejo Miguel Ángel. (2024). <i>Viabilidad de generación de Biogás en la finca Buenos Aires, Ciudad Bolívar, por medio de Biodigestión Anaerobia a partir de la pulpa del café</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Especialización en Eficiencia Energética, Cohorte II.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

El presente documento lo dedicamos a quienes consideramos las personas más importantes en nuestras vidas; a nuestros padres y a nuestros hijos, por su amor, su acompañamiento en este proceso, su paciencia cuando no teníamos tiempo para ellos al cumplir las responsabilidades académicas. De igual manera a nuestras familias por brindarnos su apoyo incondicional en el logro de esta meta.

## **Agradecimientos**

Agradecemos a los docentes de la especialización y en general a la Universidad de Antioquia, por habernos permitido crecer en nuestras carreras con nuevo conocimiento, de manera muy especial, al profesor MSc. Andrés Adolfo Amell Arrieta, nuestro asesor en esta monografía quien nos ha guiado con todo su conocimiento y sabiduría.

## Tabla de contenido

Resumen .....	8
Abstract .....	9
Introducción .....	10
1 Planteamiento del problema .....	11
1.1 Glosario .....	11
1.2 Antecedentes .....	14
2 Justificación.....	26
3 Objetivos .....	28
3.1 Objetivo general .....	28
3.2 Objetivos específicos.....	28
4 Marco teórico .....	29
5 Metodología .....	46
6 Resultados .....	46
6.1 Producción de Biogás con la pulpa de café.....	46
6.2 Valoración del potencial de recuperación del CO <sub>2</sub> .....	53
7 Discusión.....	55
8 Conclusiones .....	56
9 Barreras identificadas.....	57
10 Recomendaciones.....	59
11 Referencias.....	60

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Principales actividades económicas en las subregiones de Antioquia .....	33
<b>Tabla 2</b> Tipos de beneficiaderos.....	41
<b>Tabla 3</b> Poder calorífico fuentes de biomasa.....	44
<b>Tabla 4</b> Distribución de subproductos de café .....	47
<b>Tabla 5</b> Cantidad de Biogás generado .....	47
<b>Tabla 6</b> Poder calorífico de productos/insumos .....	48
<b>Tabla 7</b> Sustancias tratamiento del Biogás.....	53

## Lista de figuras

Figura 1 - Fuentes primarias de energía .....	29
Figura 2 - Departamento de Antioquia.....	32
Figura 3 - Biomasa Residual Agrícola .....	34
Figura 4 - Producción de Biogás a partir de la pulpa de café.....	35
Figura 5 - La cereza de café .....	36
Figura 6 - Cisco de café.....	36
Figura 7 - Trilladora de café en Salgar Antioquia.....	37
Figura 8 - Finca Buenos Aires.....	38
Figura 9 - Finca Buenos Aires Beneficiadero1 .....	38
Figura 10 - Finca Buenos Aires Beneficiadero2 .....	38
Figura 11 - Finca Buenos Aires Beneficiadero3 .....	39
Figura 12 - Finca Buenos Aires Despulpadora .....	39
Figura 13 - Finca Buenos Aires Beneficiadero4 .....	40
Figura 14 - Grano de café.....	40
Figura 15 - Disposición de la pulpa .....	43
Figura 16 - Pulpa de café.....	43
Figura 17 - Carbón mineral finca Buenos Aires .....	45
Figura 18 - Flujo de Procesos.....	46
Figura 19. Esquema de operación secadora de café.....	48
Figura 20 - Secadora de café alimentada con Biogás.....	49
Figura 21 - Diagrama Sankey Combustibles-Secadora.....	52
Figura 22. Quemador BG450-2 120 para biogás .....	52
Figura 23 - CO <sub>2</sub> en las plantas.....	54

## Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>BMP</b>	Potencial bioquímico del metano [L/kg]
<b>DQO</b>	Demanda química de Oxígeno
<b>DBO</b>	Demanda biológica de Oxígeno
<b>ICAPBHC</b>	Índice de Calidad Ambiental en el Proceso de Beneficio Húmedo del Café
<b>IMAPBHC</b>	Índice de Manejo del Agua en el Proceso de Beneficio Húmedo del Café
<b>SST</b>	Sólidos Suspendidos Totales
<b>EPM</b>	Empresas Públicas de Medellín
<b>MSc</b>	Maestría en Ciencias (Master of Science)
<b>PCI</b>	Poder calorífico inferior [kJ/kg]
<b>PCS</b>	Poder calorífico superior [kJ/kg]
<b>Saño</b>	Cantidad de segundos en un año [s]
<b>T</b>	Temperatura [K]
<b>VBio</b>	Volumen específico de biogás [L/kg]
<b><math>\dot{V}</math>Total</b>	Flujo de biogás por segundo [m <sup>3</sup> /s]
<b>VTotal</b>	Volumen biogás [m <sup>3</sup> /año]
<b><math>\dot{W}</math></b>	Potencia [kW]
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## Resumen

En los procesos productivos de las industrias se requiere de energéticos que soporten la demanda de estas. Una buena gestión de los recursos energéticos puede significar la diferencia entre el éxito o el fracaso de una empresa y su proyección en el tiempo.

El abastecimiento de la energía eléctrica o térmica en varias zonas de Colombia aún se ve limitado para aquellas zonas que no están conectadas a los sistemas interconectados o las zonas con redes de distribución de gas. Por lo que el considerar la posibilidad de autoabastecerse debería ser un foco de atención para los empresarios y para las empresas prestadoras de servicios públicos.

Es por eso por lo que en este trabajo se entrega información relativa a un caso en particular donde se ven reflejados elementos comunes a todos los puntos de producción cafetera, dentro de los cuales se busca la posibilidad de dicho autoabastecimiento sumado a la gestión de residuos.

En la mayoría de las fincas cafeteras y en general en todas las zonas cafeteras del país se presenta el problema de la contaminación de aguas, suelos y aire debido a los desechos generados en el proceso de beneficio del café. En el caso de la pulpa de café suele ser arrojada a las fuentes hídricas o abandonada a cielo abierto luego de procesar la café cereza para la obtención del café pergamino.

En este documento se realizó un análisis del proceso de beneficio en la finca Buenos Aires ubicada en el suroeste antioqueño para darle un mejor uso a la pulpa de café como subproducto orgánico para producir biogás por medio de digestión anaerobia.

## **Abstract**

In the productive processes of industries, energy is required to support their demand. Good management of energy resources can mean the difference between the success or failure of a company and its projection over time.

The supply of electrical or thermal energy in several areas of Colombia is still limited for those areas that are not connected to interconnected systems or areas with gas distribution networks. Therefore, considering the possibility of self-sufficiency should be a focus of attention for entrepreneurs and public service providers.

That is why this work provides information related to a particular case where elements common to all coffee production points are reflected, within which the possibility of said self-sufficiency added to waste management is sought.

In most coffee farms and in general in all coffee-growing areas of the country, the problem of water, soil and air pollution occurs due to the waste generated in the coffee processing process. In the case of coffee pulp, it is usually thrown into water sources or abandoned in the open air after processing the coffee cherry to obtain parchment coffee.

In this document, an analysis of the benefit process was carried out at the Buenos Aires farm located in southwest Antioquia to better use the coffee pulp as an organic by-product to produce biogas through anaerobic digestion.

## **Introducción**

Dado el contexto actual del cambio climático a nivel mundial, en el que urge tomar acción para cambiar la forma en que el modelo de desarrollo de la humanidad se fundamenta, que ya no esté basado en la creencia falsa y descuidada de que los recursos son ilimitados, entre ellos la energía requerida para esto, es imperativo que hagamos las reflexiones necesarias y definamos acciones concretas para que, al menos desde una escala pequeña, las cosas se hagan diferente, de manera sostenible en el tiempo.

Es la razón por la que en este trabajo pretende abordar el análisis del uso de residuos agrícolas, en este caso los subproductos obtenidos del beneficio del café, especialmente la pulpa, para producir Biogás a través del proceso de digestión anaerobia. Revisar si dicho residuo contiene el potencial energético suficiente para autoabastecer la demanda energética térmica de una finca de producción de café y establecer si se puede convertir en un modelo liviano, fácilmente replicable. De esta manera lograr que una finca de producción no dependa del carbón como fuente de energía, con sus conocidos impactos al ambiente y la salud, y disminuir la contaminación por Gases Efecto Invernadero (GEI) por disponer los residuos del proceso de manera inadecuada. Adicionalmente se quiere proponer una valoración inicial del potencial de recuperación del CO<sub>2</sub> generado, como residuo adicional del proceso para otros usos en la finca.

## 1 Planteamiento del problema

Puesto que la energía es indispensable en los procesos productivos y todo proceso de intercambio de energía o de transformación genera desechos o desperdicios, ¿es viable implementar en la Finca Buenos Aires una solución de autoabastecimiento de biogás a partir de la biomasa residual que deja el proceso de beneficio del café de tal manera que cubra las necesidades energéticas del secado de café pergamino húmedo a un costo razonable, que sea confiable y sostenible?

### 1.1 Glosario

**Balance de masa:** Comprobación cuantitativa entre productos o masas usadas en la entrada, y los productos y residuos de salida de un proceso.

**Beneficiadero:** Espacio o lugar donde se realiza el beneficio del café.

**Biodigestor:** Recipiente que se carga con residuos orgánicos.

**Biogás:** Es el gas generado por la biodegradación de materia orgánica mediante microorganismos; y está compuesto por metano, dióxido de carbono y pequeñas porciones de hidrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno.

**Biomasa:** Toda materia viva presente en el planeta; incluye el conjunto de componentes orgánicos de origen vegetal y animal procedente de su transformación natural o artificial.

**Biomasa residual:** Subproductos de las transformaciones naturales o industriales de la biomasa.

**Biometanación:** O digestión anaerobia es un proceso biológico que, en ausencia de oxígeno, permite transformar la materia orgánica en biogás.

**Borra:** Subproducto derivado de la comercialización del grano tostado que se obtiene durante la preparación de la bebida.

**Café almendra:** Es básicamente el café pergamino sin su parte externa.

**Café cereza:** Es el fruto del arbusto de café "Cafeto".

**Café pergamino húmedo:** Es el producto del beneficio del grano el cual se obtiene después de quitarle la pulpa, el mucílago y lavarlo.

**Café pergamino seco:** Es el resultado de pasar el "Café pergamino húmedo" por el proceso de secado hasta lograr una humedad del 12% (Así es cómo la mayoría de las fincas venden el café).

**Cenicafé:** Centro Nacional de Investigaciones de Café

**Cisco:** La película que cubre la almendra de café (endospermo).

**Combustión:** Reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía.

**Cosecha Principal:** Periodo en donde los cafetos cosechan en mayor cantidad suele ser entre los meses de septiembre y diciembre.

**Desmucilagadora:** Equipo utilizado en el beneficio del café, por medio del cual se le desprende el mucílago, se lava y se clasifica el grano de café.

**Despulpadora:** Máquina que permite retirar la pulpa de la cereza por medio de presión que ejerce la camisa de la despulpadora.

**Digestión anaerobia:** Proceso por el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.

**Energía:** Capacidad para realizar un trabajo.

**Energía térmica:** O energía calórica es el grado de energía interna contenida en un sistema termodinámico en equilibrio.

**Humedad:** Cantidad de agua presente en cualquier tipo de materia.

**Mucilago:** Capa gelatinosa que recubre la semilla del café al ser despulpado el grano de café.

**Poder Calorífico Inferior (PCI):** Calor desprendido en la combustión completa por unidad de masa de combustible, en base seca y a condiciones normales, dando como productos CO<sub>2</sub>(vapor) y H<sub>2</sub>O(vapor). El PCI corresponde al calor Neto generado en las reacciones de combustión prácticas.

**Poder Calorífico Superior (PCS):** Calor desprendido en la combustión completa por unidad de masa de combustible, en base seca y a condiciones normales; dando como productos CO<sub>2</sub>(vapor) y H<sub>2</sub>O(líquida). El PCS corresponde a un valor de calor “Bruto”, en la cual se ha incluido la energía necesaria para condensar el agua formada.

**Pulpa:** Cáscara del grano de café formada por el exocarpio (epidermis) y parte del mesocarpio.

**Tolva:** Dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados.

**Torrefacción:** Es un tratamiento termoquímico de la biomasa.

**Traviesa:** También llamada como "mitaca" es una cosecha secundaria del café o de menor volumen que suele darse entre los meses de Abril y Junio.

**Trilla:** Proceso de selección mecánica y óptica, en donde el café pergamino se convierte en café Almendra.

**Variable:** Magnitud o combinación de magnitudes físicas indispensables en la descripción de los cambios físicos y químicos de un sistema; por ejemplo, la temperatura, la presión, etc.

## 1.2 Antecedentes

Se consultaron diferentes documentos y experiencias sobre el tema que pudieran ilustrar de mejor manera si se han ejecutado proyectos similares a este y cuáles fueron sus principales aprendizajes.

A continuación, se presentarán varios casos con sus principales aprendizajes:

- ✓ **Huaraya, M. Sancho, T. (2020) Estado del arte sobre la producción de biogás mediante la digestión anaerobia como parte del aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria**

Recuperado de:

[https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3415/Mery\\_Trabajo\\_Bachiller\\_20\\_20.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3415/Mery_Trabajo_Bachiller_20_20.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

Resumen:

Los residuos pecuarios son materiales provenientes de la actividad ganadera (Básicamente estiércol) y son responsables de problemas ambientales, económicos y sociales. Asimismo, se analiza como nuevas alternativas de gestión y valorización de estos residuos de biomasa pecuaria en la generación de biogás. El objetivo de este trabajo de investigación fue, realizar una revisión sobre la producción de biogás mediante la digestión anaerobia como parte del aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria. La digestión anaerobia es un proceso que tiene 4 fases, donde: los residuos pecuarios son digeridos y descompuestos por microorganismos anaerobios bajo condiciones controladas para la producción de biogás. En zonas frías con una cantidad de 20 kg de residuos pecuarios se registra una producción aproximada de 700 a 750 l/día de biogás (0.70 a 0.75 m<sup>3</sup>/día o 0.029 a 0.031 m<sup>3</sup>/hora) y en zonas cálidas se incrementa hasta 900 l/día con una concentración neta de 45 a 55 % de metano, siendo esta última la de mayor capacidad de producción de biogás, sin embargo, cabe señalar que en zonas frías si es posible obtener biogás teniendo en cuenta: el tipo de biodigestor, TRH, tipo de sustrato y pH, asimismo, la temperatura no representa una limitación para este método. En conclusión, esta alternativa aporta diferentes beneficios, reduciendo el impacto ambiental de la actividad ganadera al capturar el metano para emplearlo como combustible de cocina o iluminación en zonas rurales.

## Conclusiones

En conclusión, la digestión anaerobia aporta diferentes beneficios reduciendo el impacto ambiental de la actividad ganadera, al capturar el metano para emplearlo como combustible de cocina o iluminación en zonas rurales, siendo la producción de biogás una alternativa viable que aporta diferentes beneficios sociales, ambientales y económicos. La mayor capacidad de producción de biogás se da en zonas cálidas donde el valor asciende a los 900 l/día de biogás con tan solo 20 Kg de residuos pecuarios, por otro lado, en zonas frías la generación de biogás es entre 700 – 750 l/día aproximadamente, y esta producción se puede mejorar teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: el tipo de biodigestor, TRH, tipo de sustrato y el pH, por lo que, la temperatura no representa una limitación para la aplicación de este método. Finalmente, se recomienda que se realicen más investigaciones sobre la digestión anaeróbica de los residuos pecuarios, con el fin de mejorar su proceso y diseño, para incrementar la eficiencia de esta alternativa.

- ✓ **Ladino, E. D. (2011). Producción de biogás mediante la cogestión anaeróbica de la materia de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización de energía renovable. Universidad Nacional de Colombia, Cundinamarca. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia**

Recuperado de:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7658/edwindariocendalesladino.2011.parte1.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Parte 1)

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7658/edwindariocendalesladino.2011.parte2.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (Parte 2)

Resumen:

En esta investigación se llevó a cabo el montaje de los ensayos de biodegradabilidad anaeróbica de la mezcla homogeneizada de estiércol bovino y residuos cítricos. 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 se 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. Finalmente se 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.

#### Conclusiones:

En la actualidad existen muchos residuos orgánicos biodegradables como los desechos cítricos y el estiércol bovino, sobre los cuales no se realiza un tratamiento eficiente y terminan dispuestos en rellenos sanitarios o en las vertientes hídricas. La digestión anaeróbica es un proceso biotecnológico que presenta potenciales alternativas para la solución de aspectos relevantes de la conservación medio ambiental como el tratamiento efectivo de los residuos biodegradables y la generación de energía renovable. El primer aspecto se evidencia en la recuperación de los nutrientes contenidos en el residuo, los cuales pueden nuevamente aprovecharse mediante la aplicación controlada del fango efluente del sistema de tratamiento anaeróbico, sobre los terrenos cultivables. Por su parte el segundo aspecto subyace de la valorización energética de la fracción de metano contenida en el biogás generado, a través de sistemas de transformación energética como los sistemas de generación combinada de potencia y calor (CHP).

Con base en los resultados obtenidos en este estudio mediante los ensayos de biodegradabilidad anaeróbica se puede inferir que es factible la producción de biogás con un alto contenido de metano a partir de la codigestión anaeróbica de los residuos cítricos y el estiércol bovino.

El aporte de esta investigación se basa en la determinación de la biodegradabilidad anaeróbica de la mezcla de residuos, de acuerdo con un protocolo estandarizado, con lo cual se demuestra la factibilidad que presenta la tecnología de digestión anaeróbica para la generación de energía renovable a partir de estos residuos orgánicos. Este estudio es una primera aproximación al desarrollo de una estrategia óptima tanto para el tratamiento de residuos orgánicos biodegradables

de origen agroindustrial, como para la obtención biocombustibles como bioetanol y biogás a partir de procesos biotecnológicos como la fermentación alcohólica y la digestión anaeróbica.

- ✓ **Díaz, S. Torres, H. (2019) Análisis de viabilidad de la implementación de biodigestores como alternativa energética para familias del área rural.**

Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/1934ec96-4a83-48e1-8b71-d733c34fe5f7/content>

Resumen:

El presente trabajo tiene como razón de ser el análisis de la viabilidad de instalar biodigestores tubulares de bajo costo en poblaciones de áreas rurales, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los residentes de dichos lugares, mejorar su independencia económica al aprovechar el biofertilizante que es un subproducto que en tiempo reciente se ha convertido en una oportunidad de negocio y contribuir a la disminución de la huella de carbono por medio de la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

Análisis de Resultados:

- Los indicadores sociales y ambientales del proyecto son positivos. La instalación de los biodigestores como parte de un proyecto de desarrollo rural permiten una mejora en la calidad de vida de las familias beneficiarias del proyecto, además existe la posibilidad de emprender desarrollos sostenibles en cada uno de los hogares al aprovechar el biofertilizante para su comercialización.
- El costo total del proyecto puede ser reducido si se realiza una construcción directa. Lo cual impulsaría aún más la implantación de biodigestores en los sectores rurales del país.
- Los biodigestores representan una fuente de beneficios económicos, ambientales y sociales. Dentro de los cuales podemos resaltar que el biogás producido, permite satisfacer las necesidades energéticas de la familia, manteniendo así, una reserva dentro del sistema.

- ✓ **Buitrago, L. Rayo, J. Rosado, Y (2019) Viabilidad económica para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, mediante tecnología de biodigestores, para ser usado como combustible en la cocción de alimentos y generación de electricidad, en la Finca las Eusidias ubicada en el municipio de Silvania Cundinamarca.**

Recuperado de:

<https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/bitstream/handle/123456789/1155/BuitragoRodriguez-LuzMarly-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Resumen:

Este proyecto pretende evaluar la viabilidad económica para producción de biogás mediante la implementación de un biodigestor a partir de las excretas que genera el ganado bovino en la Finca las Eusidias ubicada en el municipio de Silvania Cundinamarca, para ser usado como combustible en la cocción de alimentos y generación de electricidad. Se realizó un diagnóstico de la finca, un censo del ganado y se calculó el total de excretas que se generan al día. Con base en esta información y a través de fuentes externas se obtuvo información de los tipos de biodigestores disponibles en el mercado y así se estableció cuál sería la planta de biogás más apropiada para ser instalada. La viabilidad económica se determinó realizando el cálculo de indicadores financieros como la tasa interna de retorno y el valor presente neto a cada una de las cotizaciones que se generaron, dando como resultado que la inversión inicial se recupera lentamente y a una tasa de retorno superior a la recomendada en el mercado al momento de calcular los indicadores. Por tanto, económicamente no es viable invertir en un biodigestor.

Estado del Arte:

“En las últimas décadas el uso de la tecnología de la digestión anaeróbica se ha difundido ampliamente en los países europeos debido a las herramientas legislativas desarrolladas para incrementar la producción de biogás en los sectores agropecuarios. Un desarrollo notable se ha suscitado en Alemania en los últimos años, debido a que las entidades gubernamentales están comprometidas con las políticas de protección ambiental e iniciativas orientadas hacia el reemplazo

de los combustibles fósiles por combustibles de origen renovable como el biogás”. (Ladino, 2011, pág. 7, citado en Buitrago, L. Rayo, J. Rosado, Y, 2019 p.14).

“En Colombia particularmente no existen instalaciones para la generación masiva de energía a partir de biogás y los escasos sistemas de tratamiento se desarrollan a escala de pequeñas granjas por iniciativa de los propietarios minoristas y fundaciones de cooperación internacional” (Ladino, 2011, pág. 7). Adicionalmente los propietarios de pequeñas y grandes fincas desconocen la existencia de los biodigestores, no reciben asesoría o capacitación adecuada y no saben quién pueda realizar los mantenimientos.

Conclusión:

Al calcular indicadores financieros para la toma de decisiones de inversión como el VNP y la TIR a cada cotización, los resultados fueron negativos en los tres casos. La recuperación de la inversión es superior a cinco años y la tasa de retorno sobrepasa a la DTF usada al momento de calcular cada indicador. Económicamente no es viable invertir en un biodigestor para la Finca las Eusidias. Esto porque sólo el 60% del biogás generado puede ser aprovechado y alcanza sólo para la cocción de alimentos. Si se aumenta el número de reses, aumenta la producción de excretas y por tanto de biogás, que puede ser usado no sólo en la cocina, sino para el alumbrado de la finca o el funcionamiento de duchas eléctricas, neveras y otros artefactos propios de una finca de tipo familiar.

- ✓ **Herrera, H. (2021) Evaluación técnica y económica de la producción de biometano a partir de residuos sólidos urbanos orgánicos para ser utilizado en el sistema integrado de transporte público de Bogotá (SITP), mediante el tratamiento de información secundaria y el uso de herramientas de evaluación multicriterio.**

Recuperado de:

<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/28733/Trabajo%20de%20grado%20HHH%20Biogas%20para%20SITP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## Resumen:

El trabajo consistió en realizar una propuesta para evaluar técnica y económicamente la producción de biometano a partir de FORSU para ser utilizado en el sistema integrado de transporte público de Bogotá (SITP), mediante el tratamiento de información secundaria y el uso de herramientas de evaluación multicriterio de Digestión Anaerobia de residuos sólidos urbanos. Se busca que la propuesta metodológica sirva para futuros proyectos de DA considerando diversas fuentes de biomasa residual.

## Marco Regulatorio:

Ley 1715 de 2014 (SENADO, 2014): Su expedición “tiene por objetivo promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional... 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 el capítulo III se establecieron los criterios e incentivos a la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía para promover la entrada de estos.

## Antecedentes internacionales:

El informe de Mercado mundial de biometano: “El gas verde se globaliza” (CEDIGAZ, 2019) referencia el apoyo al biometano como combustible complementario al Gas Natural y reporta la instalación de más de 1.000 plantas de producción de biometano operando en treinta y cuatro países, con un exponencial crecimiento en la producción mundial de biometano, alcanzando los tres mil millones de metros cúbicos en (3 bcm). En Europa, el uso de biometano se está extendiendo por todo el continente y su producción ascendió a casi 2 bcm. Estados Unidos es ahora líder en el uso de biometano como combustible para vehículos, lo cual ha logrado incrementando su producción y fomentado la expedición de regulación federal y estatal para biocombustibles. Recientemente China e India han adoptado tecnologías de mejora del biogás y se han fijado ambiciosos objetivos de producción de biometano por lo cual figuran como grandes mercados emergentes. En América Central y del Sur, Brasil está tomando medidas reglamentarias para aprovechar su enorme potencial.

#### Conclusión:

En síntesis, los resultados de la evaluación económica indican que el proyecto es viable, de acuerdo con la etapa de prefactibilidad, pues genera beneficios ambientales y sociales, y significativos ahorros en los costos por tratamiento y disposición final de los RSU con el objetivo propuesto.

- ✓ **García, A. Gómez, J. (2016) Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia**

Recuperado de: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/667/1/6112733-2016-2-IQ.pdf>

#### Resumen:

La presente investigación surge del interés en el aprovechamiento y caracterización de la biomasa residual principalmente residuos orgánicos, evaluando sus características químicas, fisicoquímicas y microbiológicas para darle una adecuada utilización mediante el proceso de digestión anaerobia. La primera revisión bibliográfica específica se llevó a cabo para determinar la estabilidad de los residuos a lo largo del año en la central de abastos de Bogotá siendo la plaza de mercado más grande de Colombia, y de acuerdo a esto se seleccionaron los residuos que presentaron mayor porcentaje de macro y micronutrientes dentro de los cuales se encuentran tanto vegetales como frutas; para lo cual fueron formuladas tres mezclas; una para vegetales, otra para frutas y la mezcla control con estiércol y agua. Se evaluaron variables como: la temperatura, la humedad, el pH, tiempo de retención, entre otras, que influyen directamente en la producción del biogás. También se realizó un diagnóstico y acondicionamiento de los digestores disponibles a escala piloto en instalaciones de la central de abastos.

#### Conclusiones:

A partir del análisis estadístico elaborado (ANOVA) y el resultado de la cromatografía de gases, el mejor sustrato para implementarse en la producción de biogás es la mezcla compuesta por

vegetales, presentando un tiempo de retención de 50 días para las tres primeras fases y un porcentaje de metano de 69,5%, garantizando una formulación adecuada entre los residuos, así como el control y estabilidad de pH, la temperatura óptima para cada fase, y sin que se presente inhibición de los microorganismos.

- ✓ **Fonseca, W. Gómez, S. (2013) Estudio de la viabilidad en la producción de compost y biogás a partir de residuos de la cadena de restaurantes WOK.**

Recuperado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/569ae709-9ff6-4027-8ea7-4f34b510fded/content>

Resumen:

La degradación bacteriana de residuos orgánicos es un tema de sumo interés a nivel industrial y científico, pues la metabolización de estos desechos generalmente produce compuestos de un alto valor agregado. Existen dos clases principales de degradación: la aerobia, y la anaerobia. En este estudio se busca evaluar los dos procesos más representativos de degradación aerobia y anaerobia, estudiando la posibilidad de la producción industrial de compost y biogás a partir de los residuos orgánicos característicos de los restaurantes Wok®.

Conclusiones:

(...) en cuanto a los resultados de la digestión anaerobia, resulta evidente que un análisis por medio de cromatografía de gases es necesario, ya que el error relativo porcentual verdadero de la medición por infrarrojo es de 12% para el sistema Batch, y va 10 15 20 25 0 10 20 30 40 50 Temperatura [°C] Tiempo [día] T amb 42 desde 97% hasta 300% en el sistema contracorriente. Por esta razón, es recomendable aumentar la cantidad de reactores de dicho experimento y realizar el análisis cromatográfico. Sin embargo, gracias al sistema en Batch es posible decir que los residuos de WOK® no tienen una composición óptima para una conversión adecuada de metano, pues el contenido de cadenas lipídicas y ácidos grasos es pobre, mientras que el contenido de azúcares simples produce un alto grado de ácidos carboxílicos y sus sales derivadas. Adicional a esto, la

preparación de la mezcla inicial con un coctel rico en bacterias metanogénicas podría optimizar la producción de metano y aumentar la eficiencia del proceso.

- ✓ **Cadavid, L. Bolaños, I. (2015) Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía renovable en una ciudad colombiana.**

Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1470/147043932004.pdf>

Resumen:

El potencial bioquímico de metano de residuos de frutas y verduras y de los residuos de poda de una ciudad colombiana intermedia (Palmira, Colombia), se estudió con el fin de analizar su potencial para producir energía renovable. En esta investigación todas las muestras fueron tomadas de forma representativa y en fresco. El potencial bioquímico de metano final de los residuos frutas y verduras fue de 0,710 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ kg SV adicionado, el cual es 2 veces mayor al obtenido para los residuos de poda. Después de 60 días se observó una remoción de sólidos volátiles de 48% y 44% para los residuos de frutas y verduras y de residuos de poda, respectivamente. Además, para los residuos de poda se encontró una remoción importante de celulosa, baja para la hemicelulosa y muy pobre para la lignina. Si se sometieran a digestión anaerobia la totalidad de los residuos de frutas y verduras y de poda que se produce en la ciudad de Palmira al año, sería posible producir 5.489 MWh de energía térmica o 3.295 MWh de energía eléctrica. Los resultados muestran que la digestión anaerobia podría ser una alternativa viable y sostenible para el manejo y disposición de los residuos de frutas y verduras y los de poda, en los municipios colombianos, con la posibilidad adicional de producir energía renovable para cocinar, iluminación o como combustible para vehículos.

Conclusiones:

Se estudió el potencial para producir energía renovable en forma de metano a partir de residuos de frutas y verduras y de poda de zonas verdes, para el municipio de Palmira (Colombia). Se observó que diferencias en la composición química de los residuos orgánicos producen diferencias importantes en el potencial de metano de estos. Dado que el rendimiento de metano de ambos residuos evaluados está por encima de 0.3 m<sup>3</sup>/kg SV adicionado, pueden considerarse como buenos sustratos para la producción comercial de metano.

El presente estudio muestra que la digestión anaerobia, le ofrece la oportunidad al municipio de Palmira de, manejar de una forma ambientalmente segura sus residuos orgánicos y además, obtener beneficios económicos a través de la producción de energía renovable. Modelo que podría ser replicado en otros municipios del país.

- ✓ (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia et al., 1974) **Cómo producir gas combustible con pulpa de café**

Recuperado de: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/749/1/bot003.pdf>

Resumen:

La producción de biogás a partir de pulpa de café se viene investigando en Colombia, como mínimo desde 1974, año en el cual la Federación Nacional de Cafeteros a través de su Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe, publicó este manual que aunque corto en extensión y de un lenguaje bastante sencillo, contiene la información suficiente y necesaria para construir pequeños proyectos de aprovechamiento de biomasa residual que al ser transformada por procesos de reacciones químicas, se convierte en nuevos productos útiles para ser usados en el mismo sitio de producción, tales como, abonos, fertilizantes, combustibles e incluso, yendo más allá en el procesamiento, obtener productos como alcohol, miel, levaduras, aceites, plásticos y otros.

El libro explica de manera muy práctica los principios de producción del biogás, cómo construir la planta de aprovechamiento y su funcionamiento, qué cantidades de materia prima se requieren y

de que tipo, la duración del proceso de producción del biogás, frecuencia de cargas, usos y rendimientos. A este respecto se destaca que el proceso de construcción planteado es sencillo de implementar y con materiales de consecución local.

#### Conclusiones:

Llama la atención que, al revisar este libro con más de 40 años de haber sido producido por expertos en el beneficio del café, se encuentren los mismos argumentos, que hoy continúan vigentes, para obtener la energía requerida de manera autónoma e independiente. Además, con la identificación de grandes ventajas de realizarlo, que son muy similares a las mencionadas en textos actuales. Esto es particularmente interesante puesto que sólo hasta hace relativamente poco, el tema de la producción de biogás o biometano a partir de fuentes renovables ha venido ganando espacio en el contexto político y económico de Colombia.

Siendo este país uno donde las comunidades alejadas de los sistemas de distribución de gas y transmisión de energía son numerosas y dependientes de los recursos que puedan conseguir, la posibilidad de eliminar o minimizar esta dependencia debería ser aprovechada y replicada a niveles mucho mayores, incluso generando nuevas experiencias de uso.

## 2 Justificación

Las limitaciones de acceso a servicios públicos esenciales en las diferentes subregiones de Antioquia y por ende, al bienestar de las personas y la sociedad, a la calidad de vida y a las posibilidades de desarrollo de estas, se convierte en factor determinante que ahonda la brecha de inequidad entre estas poblaciones y las ubicadas en los centros urbanos.

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. a través de su Vicepresidencia Gas actualmente realiza la prestación del servicio de gas por red a través de redes de distribución, transporte de gas comprimido o Gas Natural Licuado, a 108 poblaciones por fuera del Valle de Aburrá, entre municipios, corregimientos y veredas.

Sin embargo, se tiene aún mucho trabajo que hacer para lograr que en zonas apartadas puedan disfrutar de contar con un energético confiable, económico y sostenible, que facilite sus procesos y la satisfacción de sus necesidades energéticas, y que bajo el modelo de la prestación del servicio de gas por red o por Gas Natural Comprimido, los análisis de viabilidad técnica y financiera no han mostrado un resultado positivo debido a las altas inversiones que se requeriría llevar a cabo en obras de infraestructura y transporte del Gas Natural Comprimido (GNC) o Licuado (GNL). El hecho de tener que LLEVAR el gas natural hasta allí a través de la tecnología que sea, implica costos inviables cuando se compara con los consumos potenciales.

Esto hace que la condición de aislamiento y su dependencia de ayudas e inversiones externas, la precariedad de las fuentes de energía usadas, poco o lento desarrollo de los sectores económicos y las consecuencias que estos generan en materia ambiental, económica y demás, se perpetúen y agudicen en el tiempo.

Si a esto se le suma el cambio climático, del cual estamos siendo testigos, dadas las drásticas alteraciones del entorno y equilibrio naturales, evidenciados en los desastres con trágicos resultados tanto para la vida humana como para las demás formas de vida, así como la escases creciente de recursos, nos hace reflexionar sobre cómo desde nuestro que hacer y los recursos que tenemos al alcance, entre ellos el conocimiento que como estudiantes de esta Especialización estamos adquiriendo, podemos aportar para minimizar los impactos negativos

de un modelo de desarrollo y producción dependiente de energéticos de fuente fósil y totalmente devastador en términos de consumos y generación de desperdicio.

Es nuestro interés en este trabajo presentar un análisis de la viabilidad de un proyecto de producción de biogás de pequeña escala, a partir de biomasa proveniente de residuos de origen agrícola, específicamente de la pulpa como subproducto del proceso de beneficio del café en el que confluyen las ventajas de lograr el autoabastecimiento de un energético de fuente renovable, la economía circular al aprovechar sus residuos para minimizar los efectos contaminantes de una mala disposición, obtener como subproducto fertilizantes ricos en nutrientes, y de ser posible en una etapa posterior, implementar esta solución no solo para el consumo propio sino para el entorno cercano. También analizar a futuro la captura de Dióxido de carbono biogénico como otro paso en la senda de la descarbonización.

## **3 Objetivos**

### **3.1 Objetivo general**

Analizar las capacidades energéticas de la pulpa de café para producir Biogás por medio de digestión anaerobia y utilizar ese biogás en el proceso de secado del beneficiadero en la finca Buenos Aires.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el potencial energético de la pulpa de café como fuente para producir biogás.
- Proponer el uso de los subproductos del café como mecanismo de autoabastecimiento de energía en forma de biogás para una finca cafetera.
- Calcular las cantidades de biomasa residual necesarias para lograr satisfacer la demanda energética del proceso de secado de café.
- Hacer una valoración preliminar el potencial de recuperación del CO<sub>2</sub>.

#### 4 Marco teórico

El motor principal de la dinámica de los ecosistemas es la energía solar, la cual, de acuerdo con la Primera Ley de la Termodinámica, nunca se destruye, siempre se transforma. No toda la energía solar entra al ecosistema, una parte es absorbida y reflejada por las capas atmosféricas. La energía solar es almacenada por las plantas mediante el proceso de fotosíntesis y fluye a lo largo de la cadena trófica siendo finalmente almacenada en la biomasa residual.

Las fuentes energéticas se clasifican en función de su procedencia, en recursos renovables y no renovables. En el primer grupo se destacan la energía hidráulica, la solar, la eólica, la energía de la biomasa y la geotérmica. Estas fuentes se caracterizan por ser inagotables. Las fuentes no renovables se encuentran limitadas y sus reservas disminuyen a medida que se consumen; por ejemplo, el Carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Figura 1).

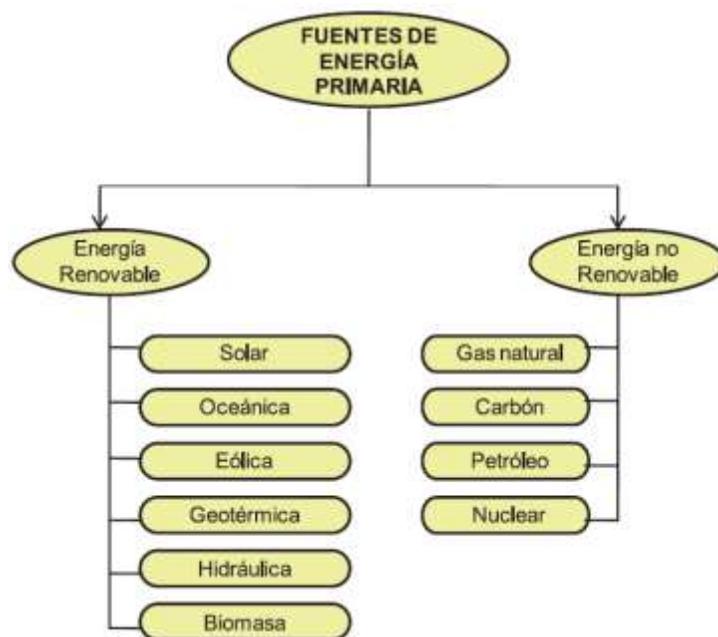


Figura 1 - Fuentes primarias de energía

Fuente: *Atlas del potencial Energético de la biomasa residual en Colombia* (Ministerio de Minas y Energía et al., 2010)

De las anteriores, la biomasa como producto residual, hace referencia a la materia orgánica de origen vegetal o animal que se utiliza como fuente de energía. Como ya se mencionó es una forma de energía renovable, ya que proviene de materiales biológicos que pueden ser reemplazados a medida que se cultivan o se producen más. Estos materiales orgánicos pueden incluir residuos agrícolas, desechos de alimentos, madera, residuos forestales, estiércol, algas y otros materiales biodegradables.

La biomasa suele utilizarse para generar energía en diversas formas, como:

**Combustión:** Se quema biomasa para producir calor, que se puede usar para generar electricidad o proporcionar calefacción y agua caliente en aplicaciones residenciales e industriales. Calor directo.

**Biodiesel y bioetanol:** Se producen combustibles líquidos a partir de cultivos como maíz, caña de azúcar o aceites vegetales, los cuales se pueden utilizar en vehículos y maquinaria.

**Biogás:** Se obtiene mediante la fermentación anaeróbica de materia orgánica, como estiércol y residuos de alimentos, y se puede utilizar para generar electricidad o como combustible en aplicaciones específicas.

**Bioenergía de segunda generación:** Se refiere a tecnologías más avanzadas que utilizan residuos de biomasa, como paja, cáscaras de arroz o residuos forestales, para producir biocombustibles y energía.

La biomasa es una alternativa a los combustibles fósiles y puede contribuir a reducir la dependencia de las fuentes de energía no renovables, así como a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales asociados con la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, es importante asegurar que la producción y uso de biomasa sean sostenibles, para evitar la deforestación y la competencia con la producción de alimentos.

Colombia gradualmente se ha venido vinculando a las definiciones y compromisos políticos que se han dado a nivel mundial, con respecto a la descarbonización a través del uso de Fuentes de

Energía Renovables. Como ejemplo de algunos pasos que el país ha dado en esa línea, se tiene en el año 2018 el impulso a la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) que invita a repensar el modelo de desarrollo teniendo como consigna “producir conservando y conservar produciendo”, dentro de la cual se priorizan los siguientes flujos de mayor importancia en el país:

1. Flujo de materiales industriales y productos de consumo masivo.
2. Flujos de Materiales de envases y empaques.
3. Flujos de Biomasa.
4. Fuentes y flujos de energía.
5. Flujo del agua.
6. Flujos de Materiales de construcción.

Dentro del numeral 3, el proceso de digestión anaerobia juega un papel fundamental. (Universidad Nacional de Colombia & Centro de Desarrollo Industrial Tecsol, 2018)

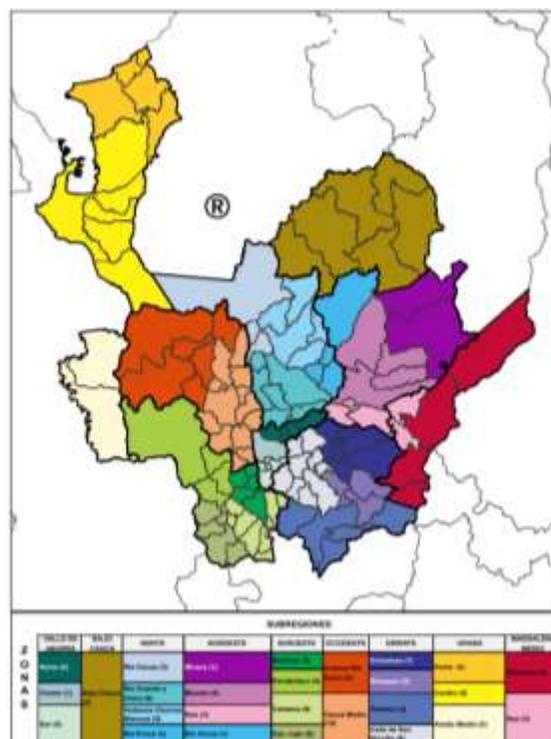
Además, el gobierno colombiano del período 2018-2022 se comprometió con la reducción del 51% de GEI para el año 2030. Esto solo para citar algunas pocas referencias a los compromisos que ha adquirido el país.

Bajo este contexto, y teniendo en cuenta que Colombia es un país que tiene un gran potencial agrícola, y en particular en el departamento de Antioquia, con las actividades productivas de sus subregiones, se debe cuando menos, verificar las posibilidades de aprovechamiento de dicho potencial para la generación de energía a partir de la biomasa de esta fuente y por eso, en este documento se pretende consignar unos elementos mínimos de análisis sobre estas posibilidades, que inicialmente permitirían llegar hasta la producción de biogás con miras a que, en etapas posteriores, y contando con apoyo para el desarrollo, se pueda llegar a la producción de biometano y dióxido de carbono a partir de este mismo biogás para tener un mayor alcance de uso y de producción de energía.

Con esto como meta, producir biogás, se considera que la biomasa residual a partir de la agricultura se convierte en un potencial importante de análisis dado que está disponible en los campos y su aplicabilidad no se ha divulgado suficientemente.

En gran parte de las zonas no interconectadas (ZNI) no se cuenta con acceso al servicio de gas natural ni energía eléctrica. Se estima que cerca de 2 millones de habitantes viven con necesidades insatisfechas superior al 77% y alrededor de 1,6 millones de familias aún cocinan con leña dando como resultado 5,8 millones de tCO<sub>2</sub>eq por uso exclusivo de leña (Consortio estrategia rural sostenible et al., 2019). Es por lo que se presentan a continuación varios aspectos que se tuvieron en cuenta para delimitar el foco del análisis.

El Departamento de Antioquia tiene la siguiente distribución en subzonas geográficas:



*Figura 2 - Departamento de Antioquia*

*Fuente:* (Ministerio de Minas y Energía et al., 2010)

En la siguiente tabla se presenta una breve descripción de las principales actividades económicas en cada subregión y algunas características adicionales que servirán para delimitar la zona de posible aplicación de un proyecto de biomasa.

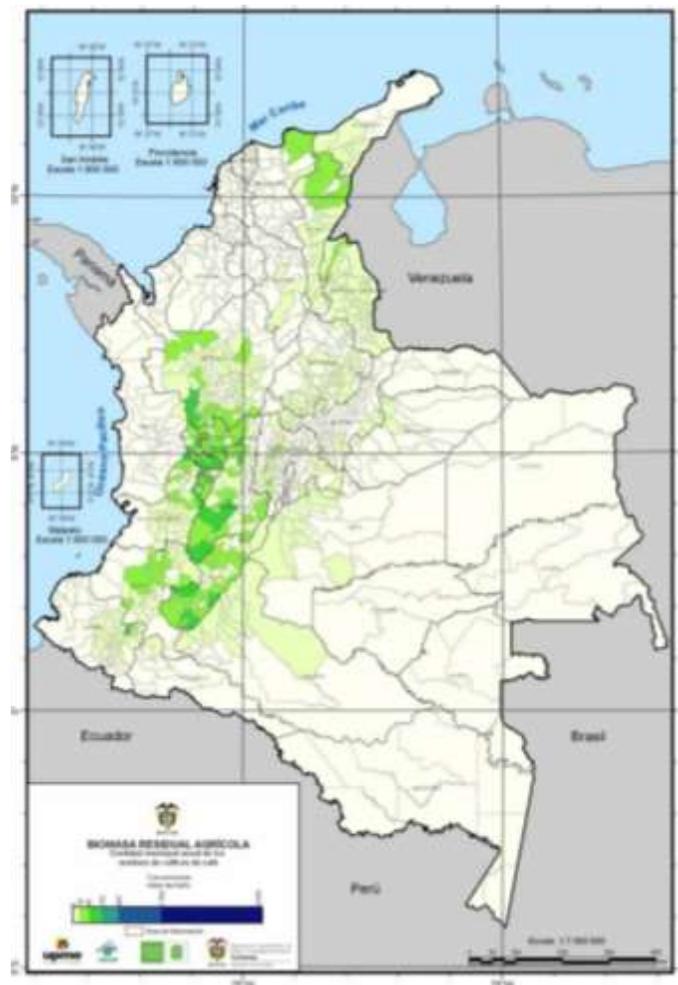
**Tabla 1**  
*Principales actividades económicas en las subregiones de Antioquia*

SUBREGIÓN	ACTIVIDADES ECONÓMICAS	SEÑALES DE AFECTACIÓN
Bajo Cauca	Ecoturismo, producción agrícola, pecuaria, agroforestal, forestal y acuícola	Tasa de reciclaje baja: 2,5% Conflictos ambientales asociados a minería de oro, malas prácticas agropecuarias, ganadería extensiva y cultivos de uso ilícito. Conflicto armado por disputa del territorio
Magdalena Medio	El sector agropecuario tiene muy bajo aporte al PIB subregional, 2,76%. Los principales productos agrícolas que se producen incluyen frutas, yuca, maíz y arroz. Sin embargo, su mayor actividad se da en la explotación de minerales no metálicos como hidrocarburos, calizas y mármoles y la ganadería en menor escala.	Vías deficientes y en mal estado, lo que implica dificultades para la integración y el transporte entre las áreas rurales y las cabeceras municipales, afectando los esquemas de abastecimiento de los municipios.
Suroeste	Producción de: café, aguacate común, aguacate Hass, cacao, caña panelera, cítricos, banano criollo, granadilla, mandarina, plátano en asocio, naranja, frijol, maíz tradicional, tomate y yuca	Tasa de reciclaje más alta de Antioquia: 34%. Existencia de múltiples organizaciones en defensa del territorio por asuntos ambientales, especialmente ante la minería a gran escala.
Urabá	Los principales productos agropecuarios de esta subregión son: banano (tipo exportación) 33%, cacao, caucho, coco, palma de aceite, plátano, yuca, ñame, ají, arroz tecnificado, maíz (tradicional) y ganado bovino.	Tasa de reciclaje muy baja: 0,1%. Limitada proporción de vías pavimentadas respecto al total en el departamento. Nueve municipios hacen parte de las Zonas Más Afectadas por el Conflicto (ZOMAC)
Norte	Los sectores con mayor participación en la economía son la agricultura, la manufactura, especialmente de maquilas, el comercio y la construcción. Sus principales productos agrícolas son: papa, frutas de clima frío, caña panelera y café.	La dependencia de mercados externos, especialmente centrales de abasto del Valle de Aburrá
Occidente	Tiene potencial económico en comercio, hotelería, restaurantes, producción de café, caña panelera, aguacate, banano criollo, lulo, naranja, plátano, mamoncillo, tomate chonto, maíz tradicional y ganadería.	Vías secundarias y terciarias están en regular y mal estado, situación que afecta los esquemas de abastecimiento, incrementando los costos logísticos y en invierno se limita la operación de transporte.
Oriente	Despensa de alimentos regional de hortalizas, verduras y legumbres. Aporta cerca del 60% de la producción departamental incluyendo, hortalizas, papa, frijol, maíz, frutales, plátano, café, flores y leche	Alta vocación agrícola orientada a cultivos de flores y otros cultivos de exportación, situación que influye sobre la seguridad alimentaria de la subregión, ya que se incrementa el reemplazo de cultivos tradicionales como papa, frijol y maíz por esos cultivos.
Nordeste	Los principales productos agropecuarios son: ganado bovino de doble propósito y los cultivos de caña panelera, café, cacao, plátano, frijol, arroz y maíz tradicional.	Comunidades con alta dependencia de recursos externos y bajo sentido de pertenencia en los territorios, bajo relevo generacional, así como limitado trabajo asociativo. Se presentan pocas vías terciarias y secundarias. Los caminos veredales siguen siendo decisivos para el acercamiento a las carreteras y a las cabeceras.

*Nota. Adaptado de (Patricia et al., 2019)*

Al revisar el peso que las actividades agrícolas tienen en el total del peso del sector económico, encontramos que las subregiones de mayor potencial son en su orden: Suroeste, Urabá, Norte, Occidente y al revisar sus tasas de reciclaje, lo cual da una señal de la importancia que tiene en la subregión las prácticas de cuidado del ambiente, consideramos que, para iniciar, este análisis se puede enfocar en la subregión Suroeste.

Tal como se muestra en este mapa tomado del Atlas de Biomasa, en dicha subregión para el año 2019 se producía un total de 120 mil toneladas de café al año y se producían aproximadamente 2000 ton/año de residuos de estos cultivos, lo cual hace que la zona sea de interés para proyectos como este.



*Figura 3 - Biomasa Residual Agrícola*

*Fuente:* (Ministerio de Minas y Energía et al., 2010)

Cómo se puede observar en la Figura 4, se presenta el flujo de residuos típicos de un proceso de beneficio y transformación en la industria del café:



*Figura 4 - Producción de Biogás a partir de la pulpa de café*

*Fuente: (Wojciech Czekala, 2023)*

Una vez seleccionada la subregión, se encontraron diferentes puntos de interés para la recolección de información y validación de datos, sin embargo, se presentaron dificultades para lograr el acceso a esta información, posiblemente por temor de sus dueños de entregar datos que tal vez consideren estratégicos para sus negocios.

Se presentan a continuación los apartes de conversaciones sostenidas con diferentes representantes del sector:

#### 1. Mauricio Álvarez – Cooperativa de Caficultores de Occidente:

La entidad como su nombre lo dice, actúa en subregión occidente, realizando procesos de postcosecha.

El proceso realizado consiste en retirar todas las capas de la cereza hasta llegar al punto deseado, la almendra, como se puede detallar en la imagen a continuación.



*Figura 5 - La cereza de café*

*Fuente:* (<https://blog.deproximidad.com/cafe-cereza-fermentacion>, 2020)

De acuerdo con la experiencia se puede decir que, en un grano, el 40% es pulpa, el 20% es mucílago (mieles) y el 40% restante es la almendra en sí.

El cisco es muy buen combustible, pero como calor directo, para ser usado, por ejemplo, en el secado de la almendra.



*Figura 6 - Cisco de café*

En las regiones normalmente el proceso que sigue, trillar el grano, no lo hace el pequeño ni mediano caficultor porque el equipo, la trilladora, es bastante costoso. Después de este paso se separa por tamaños los granos, se seca y se muele. La pulpa resultante es usada en algunos casos como fertilizante regándola directamente sobre el cultivo a cielo abierto con las emisiones que esto

genera. A continuación, en la Figura 7 se puede apreciar las características de una trilladora de café.



*Figura 7 - Trilladora de café en Salgar Antioquia*

Un proyecto de generación de energía térmica para el autoabastecimiento y además atención de demanda de entorno cercano, podría funcionar si se diseña en una planta o central de beneficio a la cual llegue la producción de pulpa y demás residuos, de las fincas cercanas, es decir, toda la materia prima acopiada en este sitio. Un proyecto de este tipo entre otros beneficios también podría permitir que se exima al productor de la tasa retributiva, es decir, el impuesto que la Autoridad Ambiental le cobraría por la contaminación que genera en el proceso.

Una experiencia diferente se presenta en la finca Buenos Aires (Ver: Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, y Figura 13), ubicada en el departamento de Antioquia, Municipio de Ciudad Bolívar, Corregimiento Farallones del Citará en el Suroeste Antioqueño, la cual existe hace más de 100 años según su propietario actual, quien es la tercera generación desde que sus ancestros le compraron al dueño inicial. En la actualidad es propiedad de Carlos Esteban Londoño y su esposa, quienes se dedican al cultivo y beneficio del café como actividad principal. Su proceso de beneficio se puede considerar como de tipo convencional 3 de acuerdo con la clasificación dada por Cenicafé en la **Tabla 2**.



*Figura 8 - Finca Buenos Aires*



*Figura 9 - Finca Buenos Aires Beneficiadero1*



*Figura 10 - Finca Buenos Aires Beneficiadero2*



*Figura 11 - Finca Buenos Aires Beneficiadero3*



*Figura 12 - Finca Buenos Aires Despulpadora*



*Figura 13 - Finca Buenos Aires Beneficiadero4*



*Figura 14 - Grano de café*

**Tabla 2**  
Tipos de beneficiaderos

<b>Tipo de Beneficiadero</b>	<b>Subtipo</b>	<b>Características</b>
<b>Convencional</b>	<b>Convencional 1</b>	Consumo de agua mayor a 10 L.kg-1 cps, sin manejo de subproductos.0 IMAPBHC = 0,000. ICAPBHC = 0,000.
	<b>Convencional 2</b>	Consumo de agua mayor a 10 L.kg-1 cps, sin manejo de subproductos y con planta de tratamiento de aguas. IMAPBHC = 0,000. ICAPBHC = 0,200.
	<b>Convencional 3</b>	Consumo de agua mayor a 10 L.kg-1 cps, con manejo de subproductos. IMAPBHC = 0,008. ICAPBHC = 0,300.
	<b>Convencional 4</b>	Consumo de agua mayor a 10 L.kg-1 cps, con manejo de subproductos y planta de tratamiento de aguas residuales. IMAPBHC = 0,008 ICAPBHC = 0,500
	<b>En transición con reducción de agua</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 cps, sin manejo de subproductos. IMAPBHC = Entre 0,433 y 0,550 ICAPBHC = 0,001
<b>Ecológico</b>	<b>Ecológico 1</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 de cps, con manejo de subproductos (pulpa). IMAPBHC = Entre 0,825 y 0,875. ICAPBHC = Entre 0,612 y 0,620.
	<b>Ecológico 2</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 de cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago). IMAPBHC = Entre 0,825 y 0,875. ICAPBHC = Entre 0,712 y 0,720.
	<b>Ecológico 3</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 de cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago). IMAPBHC = Entre 0,875 y 0,993. ICAPBHC = Entre 0,712 y 0,720.
	<b>Ecológico 4</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 de cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago) y reúso o tratamiento de las aguas residuales generadas. IMAPBHC = Entre 0,825 y 0,875. ICAPBHC = Entre 0,812 y 1,00.

	<b>Ecológico 5</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 de cps, con manejo de subproductos (pulpa e insolubles de mucílago) y reúso o tratamiento de las aguas residuales generadas. IMAPBHC = Entre 0,875 y 0,993 ICAPBHC = Entre 0,812 y 1,00
<b>Ecológico sin Vertimientos</b>	<b>Ecológico 6</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 de cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago, aguas residuales) y reúso de las aguas residuales sin generación de vertimientos. IMAPBHC = Entre 0,825 y 0,875. ICAPBHC = 1,00
	<b>Ecológico 7</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 de cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago, aguas residuales) y reúso de las aguas residuales sin generación de vertimientos. IMAPBHC = Entre 0,875 y 0,990 ICAPBHC = 1,00
	<b>Ecológico 8</b>	Consumo de agua menor a 10 L.kg-1 de cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago, aguas residuales) y reúso de las aguas residuales sin generación de vertimientos. IMAPBHC = 0,99 ICAPBHC = 1,00

*Fuente.* (Cenicafé, 2015)

Lo anterior implica que al ser un beneficiadero convencional 3 su consumo de agua es elevado (30 litros/kg) y tienen los siguientes manejos de subproductos:

**Pulpa:** La utilizan generalmente cómo abono para otros cultivos (Ver: Figura 15 y Figura 16 en la página siguiente).

**Mucílago:** lo disponen directamente a aguas de escorrentía y a corrientes cercanas

**Agua:** la disponen directamente a corrientes de agua cercana.



*Figura 15 - Disposición de la pulpa*



*Figura 16 - Pulpa de café*

De acuerdo con lo que expone el Atlas del potencial energético de la biomasa, la pulpa de café tiene un PCI de 4.259 Kcal/kg. (Ver **Tabla 3** a continuación).

**Tabla 3**  
*Poder calorífico fuentes de biomasa*

Sector	Fuente de biomasa	Tipo residuos	PCI [Kcal/kg]	
Agrícola	Palma de aceite	Cusco	3.988	
		Fibra	4.274	
		Raquis	4.021	
	Caña de azúcar	Rac	3.684	
		Bagazo	4.456	
	Caña para panela	Bagazo	4.456	
		Hojas secas	4.007	
		Rac	3.684	
	Café	Pupa	4.259	
		Cisco	4.430	
		Tafes	4.384	
	Maíz	Rastrojo	3.429	
		Tusa	3.390	
		Capacho	3.815	
		Hojas secas	4.274	
		Amarillo	Alamo	3.113
			Cascarilla	3.603
		Banano	Raquis	1.809
			Vástago	2.032
			Rechazo	2.488
Plátano		Raquis	1.808	
	Vástagos	2.032		
Pecuario	Avispa	Ponedoras	2.248	
		Engorda	3.645	
	Bovino	Leche	2.801	
		Doble propósito	3.680	
		Carne	3.783	
Porcino	Teñificado	6.049		
	No teñificado	4.183		
RSOU	Plaza mercado	Sólido orgánico	3.772	
	Centro acopio	Sólido orgánico	3.772	
	Podá	Sólido orgánico	3.772	

*Fuente* (Ministerio de Minas y Energía et al., 2010)

Al validar a través de la visita y las entrevistas realizadas sobre este potencial se encuentra que por las dificultades de costos, espacio y cantidad de materia prima disponible, para un pequeño o mediano caficultor un proyecto de este tipo sería inviable.

Es de anotar que en Colombia se dan dos temporadas de recolección, una que es la travesía de marzo a abril, y otra que es la cosecha de octubre a diciembre. La producción se ve impactada directamente por el clima, los pisos térmicos y las latitudes, según los cuales, en una misma zona puede llegar a pasar que no se haya producido lo suficiente. Adicionalmente entre el período de siembra y beneficio deben pasar hasta 2 años para obtener granos maduros de buen tamaño y con el nivel de producción esperado.

Este productor realiza el proceso de recolección, despulpado, centrifugado, desmucilaginado, decantación, secado y con esto finalmente a la parte del proceso que le interesa que es, obtener la almendra con cisco , comúnmente conocido como el pergamino seco.

De acuerdo con su experiencia, se tiene que de 600 kg de cereza se puede obtener 125 kg de café pergamino seco, es decir, 1 carga con un valor aproximado de \$1'300.000. Los demás subproductos corresponden a 475 kg entre pulpa y melaza.

Algunos de ellos riegan esta pulpa como fertilizante en otro tipo de cultivos o como sustrato para cultivos de lombriz californiana roja para la producción de humus.

La demanda normal de energía en equipos que tienen este tipo de lugares está representada en hornos y motores.

El autoabastecimiento de la energía dependerá entonces de la cantidad de materia prima de que se disponga en todo el año, que, si no se tiene variedad de cultivos, sólo será el café, lo cual como se verá más adelante se convertirá en una barrera para este tipo de proyectos.

Esta finca, como muchas otras, usa como energético para el proceso del secado, carbón mineral cuyo costo es de \$33.000/saco de 45 kg, ejemplo de ese carbón se puede apreciar en la Figura 17.



*Figura 17 - Carbón mineral finca Buenos Aires*

## 5 Metodología

El enfoque de este documento es de tipo mixto, esto es, cuantitativo y cualitativo; cuantitativo ya que se tuvieron en cuenta la medición de variables como: Kilogramos de café producidos, poder calorífico inferior, litros (Lts) y metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de biogás, entre otros y cualitativo ya que se hizo uso de diversas observaciones en sitio para conocer desde el propio proceso del beneficio del café hasta entrevistas con personal del sector caficultor.

## 6 Resultados

### 6.1 Producción de Biogás con la pulpa de café

Ya que el objetivo es producir Biogás para ser aprovechado en el proceso de secado del café (Proceso que se detalla en la Figura 18) antes de ser comercializado como café pergamino seco debemos tener en cuenta la siguiente información:

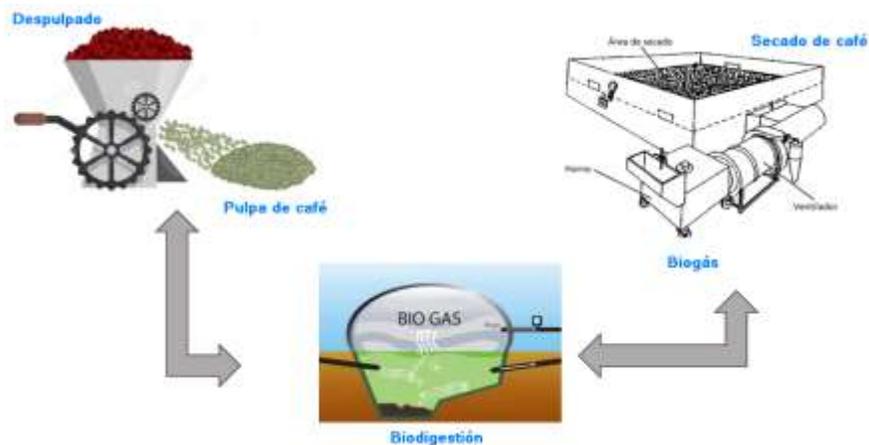


Figura 18 - Flujo de Procesos

- La finca “Buenos Aires” procesa 650Kg diarios de café cereza.
- De acuerdo con el estado del arte se producen 0.025m<sup>3</sup> (25Lts) de Biogás por cada Kg de Pulpa de café. Fuente Cenicafé (Cenicafé, 2010).
- El horno secador consume 2,8 kilos de Carbón mineral por cada @roba de café (12,5 Kg). (Cenicafé, 2009)
- La temperatura de secado debe estar entre 45 y 50 grados centígrados.

En la **Tabla 4** se presenta la distribución de subproductos de café en la finca que es la siguiente:

**Tabla 4**

*Distribución de subproductos de café*

Subproducto	% del total	Kg/día	Kg/mes
Pulpa de café	43,6%	283,4	8502
Mucilago de café	14,9%	96,85	2905,2
Café Pergamino húmedo	58,5%	380,25	11.407,5

De los datos anteriores tenemos las siguientes cantidades de Biogás producido con la pulpa disponible en la finca (Que es el insumo principal):

**Tabla 5**

*Cantidad de Biogás generado*

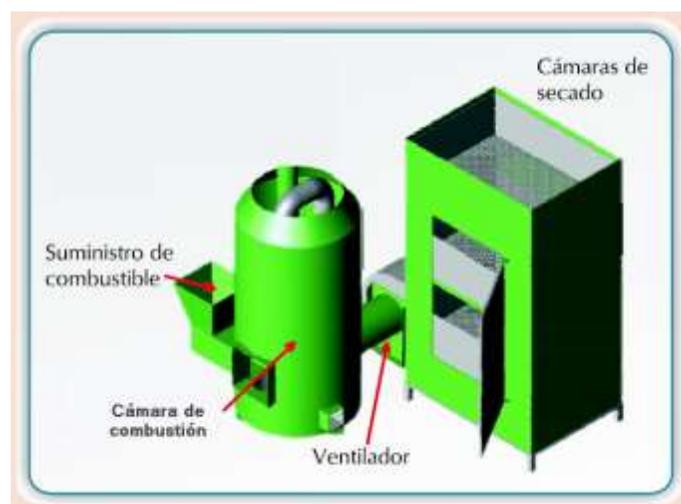
Biogás lts (m <sup>3</sup> /día)	Biogás lts (m <sup>3</sup> /mes)
283,4 kg x 25 lts/kg = 7.085 lts (≈ 7,1 m <sup>3</sup> )	212.550 lts (≈ 212,55 m <sup>3</sup> )

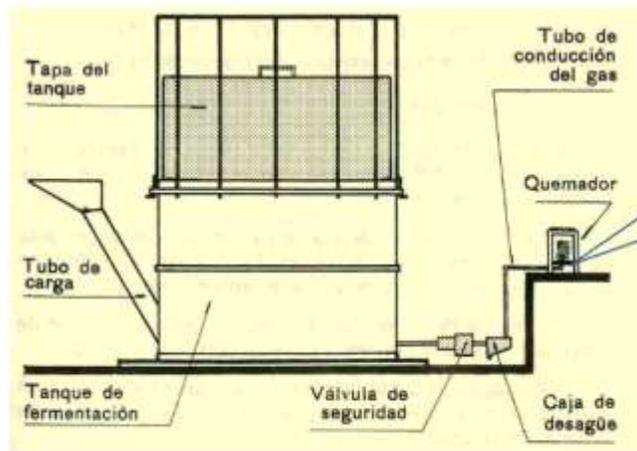
De acuerdo con el estado del arte (Cenicafé, 2009) tenemos las siguientes características energéticas de los insumos y/o productos implicados en los procesos (**Tabla 6** a continuación):

**Tabla 6***Poder calorífico de productos/insumos*

Proceso	Dispositivo/máquina	Producto/Insumo	Poder Calorífico (PCI)
<b>Beneficio de café</b>	Despulpadora	Pulpa de café	0,54 MJ/Kg = 129 Kcal/Kg
<b>Biodigestión</b>	Digestor Anaerobia	Biogás	21,46 KJ/L = 21,46 MJ/m <sup>3</sup> = 5129 Kcal/ m <sup>3</sup>
<b>Secado mecánico de café</b>	Secadora de café	Carbón	33.440 KJ/Kg = 33,44 MJ/Kg

Además de los datos previamente mencionados, se conoce que la secadora consume 2,8 kilos de carbón mineral por cada @roba de café (12,5 Kg). El equipo utilizado actualmente consta de un tanque para almacenamiento de carbón conectado a un tornillo sinfín que alimenta la cámara de combustión, allí se genera la reacción de carbón con el aire generando un volumen de gases calientes que es aspirado por el ventilador y los envía como tal a la cámara de secado, en esta el café está distribuido en diferentes paneles de madera con perforaciones, es así como los gases de combustión transfieren calor por convección a los granos de café eliminando la humedad, posteriormente los gases son expulsados a la atmósfera. A continuación, en la Figura 19 y Figura 20 se presenta un esquema de operación de la secadora de café.

*Figura 19. Esquema de operación secadora de café.*



Planta de producción de biogás (Biodigestor)



Secadora de café alimentada con Biogás

Figura 20 - Secadora de café alimentada con Biogás

### Eficiencia estimada del proceso de secado

De acuerdo con los datos presentados anteriormente, el consumo actual de la secadora es de 0,22 de kilogramos de carbón por cada kilogramo de café, si se considera un carbón con un poder calorífico de 33,44 MJ/Kg, esto equivale a un consumo específico de 7,49 MJ/Kg.

Para estimar la energía teórica del proceso de secado se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Temperatura ambiente: 25 °C
- Temperatura máxima de calentamiento: 50 °C
- Humedad de entrada granos al secador: 50,0 %
- Humedad de salida granos del secador: 11,0 %
- Calor específico de los granos de café: 1,93 KJ/Kg°C
- Calor específico del agua: 4,18 KJ/Kg°C
- Calor latente de vaporización @ 50 °C: 2.382 KJ/Kg

La energía para calentar los granos y el agua que estos contienen se estimará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Energía = masa * Calor específico * (Temp_{final} - Temp_{inicial})$$

La energía para evaporar el agua de los granos de café se estimará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Energía = masa * Calor latente vaporización$$

Al utilizar estas 2 ecuaciones se obtiene que el consumo específico para secar un (1) kilogramo de café es 1,01 MJ/Kg.

Al comparar el consumo actual de la secadora con el consumo teórico del proceso se obtiene la siguiente eficiencia:

$$\eta = \frac{E_{requerida}}{E_{consumida}} = \frac{1,01}{7,49} = 13,5 \%$$

### **Consumo de energía en el día**

Teniendo como referencia una producción diaria de 380,25 Kg de café, la energía consumida en el día en el proceso de secado se estima a continuación:

$$Energía_{día} = Consumo específico secadora * producción de café diaria$$

$$Energía_{día} = 7,49 \frac{MJ}{kg} * 380,25 \frac{Kg}{día} = 2.848 \frac{MJ}{día}$$

### **Equivalencia de energía en Biogás:**

Se tiene un potencial de generación de biogás vía digestión anaerobia, por el residuo de pulpa en el beneficiadero de la finca de 7,1 m<sup>3</sup> por día, biogás con un poder calorífico de 21,46 MJ/m<sup>3</sup>.

Antes de estimar el porcentaje de energía equivalente que pueden aportar estos 7,1 m<sup>3</sup> de biogás al proceso de secado, se hace necesario estimar el cambio de eficiencia del sistema cuando opera con biogás en vez de carbón. Para esto, utilizando como referencia la tesis titulada “Análisis técnico del potencial de reducción de inquemados en la caldera 4 del sistema de generación de la central

de energía, vapor y aire de la empresa Coltejer S.A ubicada en el municipio de Itagüí, Antioquia” (González Argel, 2021), se identifica que en los sistemas de combustión se tienen altas pérdidas de energía debido a la presencia de inquemados en las cenizas, a punto tal que los valores máximos registrados en este documentos para los años comprendidos entre 2017 y 2020 promediando un 31,6 %. En general entre muchas otras ventajas de los sistemas de combustión con gas, es que no existe un gran porcentaje de inquemados en los gases de combustión, por lo tanto, para efectos prácticos en este trabajo se considerará que la eficiencia del proceso de secado operando con biogás es del **45,0 %**.

Considerando lo anterior, es posible determinar la energía útil consumida en el día por el proceso de secado actual.

$$Energía\ útil_{día} = Energía_{día} * eficiencia$$

$$Energía\ útil_{día} = 2.848 \frac{MJ}{día} * 13,5\% = 384,5 \frac{MJ}{día}$$

Posteriormente se estima la energía útil que podrían aportar al proceso los 7,1 m<sup>3</sup> de biogás disponibles cada día.

$$Energía\ útil_{día}(biogas) = 7,1 \frac{m^3}{día} * 21,46 \frac{MJ}{m^3} * 45\%$$

$$Energía\ útil_{día}(biogas) = 68,6 \frac{MJ}{día}$$

Finalmente se determina que el biogás disponible puede aportar el **17,8 %** de la energía requerida, lo que equivale a disminución en el consumo de carbón de 15 Kg de carbón, considerando el que consumo diario actual es de 85 Kg.



*Figura 21 - Diagrama Sankey Combustibles-Secadora*

Respecto a la operación del sistema de secado de manera dual con carbón y biogás (Ver esquema en las Figuras 19 y 20 más atrás), en este trabajo no se espera llegar a niveles de detalle respecto a su configuración, pero de manera general se plantea instalar un sistema de combustión de biogás adicional al ya existente, este aportará la energía calculada anteriormente y el sistema de combustión de carbón suministrará el faltante. Respecto al sistema de combustión de biogás una buena opción puede ser utilizar un quemador compacto para este tipo de combustible, estos se caracterizan por su bajo costo y facilidad en la operación, en la Figura 22 se muestra como referencia un equipo comercial para esta aplicación.



*Figura 22. Quemador BG450-2 120 para biogás*

*Fuente (www.heattec-webshop.com, 2023)*

## 6.2 Valoración del potencial de recuperación del CO2

El biogás generado en el proceso de la biodigestión anaerobia es un gas compuesto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en proporciones variables, para nuestro caso de estudio y de acuerdo con lo señalado por (Cenicafé, 2010) tenemos las siguientes proporciones:

- 60% de Metano (CH<sub>4</sub>)
- 30% de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)
- 10% otros gases (Como hidrógeno (H<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), Siloxanos, Ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y vapor de agua.

En función del uso que se quiera dar al Biogás, se suele “Purificar” eliminando una o varias de esas sustancias, a continuación, vemos un resumen de sustancias a eliminar o no según el uso final que se quiera dar al biogás.

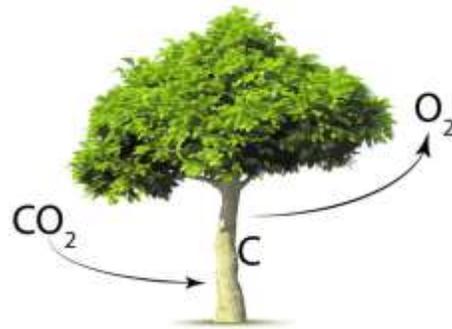
**Tabla 7**  
*Sustancias tratamiento del Biogás*

	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	Agua	Siloxanos	Compuestos halogenados
Caldera de vapor	✓	✗	✗	✓✓	✗
Motores de cogeneración	✓✓	✗	✓✓	✓✓	✓✓
Microturbinas	✓	✗	✓✓	✓✓	✓✓
Producción de H <sub>2</sub> /Metanol	✓✓	✗	✓✓	✓✓	✓✓
Combustible para vehículos	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Inyección en la red de gas natural	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
✗ Eliminación no necesaria    ✓ Eliminación recomendable    ✓✓ Eliminación necesaria					

*Fuente* (Enviro Solutions, 2023)

Existen diferentes técnicas que se pueden utilizar para un tratamiento más conveniente del biogás de manera que éste se adecúe a las condiciones necesarias para su uso posterior, en el caso del Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) se suele utilizar la técnica de “Contralavado con agua a presión” la cual consiste en Absorción en agua que se basa en la diferencia de polaridad. Tanto el  $\text{CO}_2$  como el Ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) quedan retenidos mientras que el metano no, debido a las diferencias de polaridad entre las dos primeras moléculas y la de metano, que es bastante apolar. La solubilidad del  $\text{CO}_2$  en agua depende de la presión, de la temperatura y del pH. Para acabar de eliminar completamente el  $\text{CO}_2$ , esta etapa puede ser complementada con una precipitación con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  del  $\text{H}_2\text{S}$  y del  $\text{CO}_2$ , obteniendo  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaS}$ .

Así pues, con el  $\text{CO}_2$  recuperado mediante el proceso anterior se puede reutilizar inyectándolo en los mismos cafetales de la finca para ayudar su proceso de fotosíntesis y mejorando por ende su crecimiento y productividad.



*Figura 23 -  $\text{CO}_2$  en las plantas*

## 7 Discusión

Después de analizar los resultados obtenidos, vemos que si es viable implementar una solución de autoabastecimiento de biogás a partir de la biomasa residual que deja el proceso de beneficio del café en la Finca Buenos Aires, sin embargo las cantidades de Biogás producido no cubren en su totalidad las necesidades energéticas del proceso de secado de café y por esto se deberían considerar otras alternativas de biomasa complementaria para alimentar el biodigestor y así aumentar los metros cúbicos de biogás diario producidos. Será necesario para esto, realizar lo que se conoce como el diseño de la dieta para los microorganismos, de manera que se mejore el poder calorífico y se garantice la disponibilidad en cualquier época del año.

Por otro lado, las tecnologías a usar para el montaje de una planta de aprovechamiento de la biomasa para producción de biogás pueden ser de origen internacional o nacional. En el primer caso se podrán encontrar modelos de plantas, por ejemplo, para un caudal de 50 m<sup>3</sup>/h por el orden de USD700 a USD1'000, sin contar con producción de biometano sino solo biogás. Mientras que una fabricación local podrá llegar a ser más asequible.

Es de tener en cuenta que hasta el momento sólo se ha hablado de producción de biogás cuyo uso se limitará al proceso de secado del café. Esto implicará tener hornos y elementos del sistema, resistentes a los elementos químicos que no alcanzan a ser removidos en el proceso preliminar de filtrado.

## 8 Conclusiones

El Biogás es una interesante y viable alternativa para aprovechar de una mejor manera la pulpa como residuo del proceso de beneficio de café.

Se identificó que la pulpa es una biomasa con mejor potencial energético que el mucilago de café.

Con las cantidades de pulpa que genera la finca en el proceso de beneficio, se logra aportar el 5,3% de energía que requiere la secadora de café.

Implementar procesos de recuperación del CO<sub>2</sub> generado permite optimizar la implementación de proyectos de este tipo mejorando la calidad de los cafetales y aportando al mejoramiento del medio ambiente.

Se encontraron las siguientes como principales ventajas y barreras para el desarrollo de este tipo de proyectos:

- El autoabastecimiento del recurso energético necesario para suplir la demanda en el proceso de secado de café y en el calentamiento de los biodigestores, si no en un 100% por lo menos una parte de esta. Esto significa en fincas productoras de café dejar de comprar, por ejemplo, carbón cuyo costo en la zona visitada, Farallones del Citará, es de \$33.000 saco de 45 kg, con las implicaciones que esto tiene en términos económicos, no solo la compra sino el transporte al sitio de uso, contaminación al ambiente, afectaciones a la salud de quien lo manipula, extracción en la fuente y ocupación de espacio para el almacenamiento.
- Evitar emitir o reducir Gases de efecto invernadero (GEI) en diferentes etapas de la cadena de valor de la poscosecha del café.
- Evitar derrames de lixiviados a corrientes de agua.
- Producción de bioinsumos agrícolas, fertilizantes.
- En desarrollos futuros, producción de energías a partir del uso de dióxido de carbono.
- Aplicabilidad para acceder a beneficios tributarios, créditos por compensación de CO<sub>2</sub>

## **9 Barreras identificadas**

- Costos de la implementación del proyecto, limpieza y enriquecimiento del biogás.
- Intermittencia en la producción de la fuente de la biomasa por ciclos de las cosechas, condiciones climáticas, lo cual obliga a diseñar, a partir de pruebas de laboratorio, una mezcla ideal de tipos de biomásas que permita garantizar una producción permanente y suficiente para satisfacer la demanda en las magnitudes esperadas.
- Fortalecer las políticas que ayuden a la promoción del biogás y el biometano frente a otros combustibles.
- Dificultades en el acceso a financiación por falta de conocimiento de este tipo de proyectos por parte de los bancos.
- Identificación y manejo de los riesgos asociados a una planta de producción de biogás.
- Dificultades y demoras por parte de la Autoridad Ambiental competente para la obtención de permisos para construcción de un proyecto de este tipo.
- Calidad de aire y ruido, tipos de residuos generados y disposición adecuada de estos, uso y calidad del agua, emisiones.
- Normas de seguridad y salud en el trabajo para manipulación de residuos.
- Características físicas y químicas de la biomasa de cultivos de café que pueden alterar las condiciones RUT del gas metano para combustión en sector residencial y comercial según normatividad vigente y los costos derivados de su respectivo tratamiento para llevarlo a condiciones deseables.
- Geografía de las zonas: la zona del suroeste se caracteriza por tener una topografía bastante variada entre pendientes y valles, sobre todo la primera. Además, sus vías, secundarias y terciarias, a pesar de que se han hecho o están haciendo proyectos de vías 4G, siguen siendo precarias, de altas pendientes e inseguras por deslizamientos. Esto puede hacer difícil el transporte inicial de los residuos hasta el sitio de aprovechamiento, así como de algunos equipos requeridos en el proyecto se puede requerir gran extensión de terreno, condiciones de viento específicas.

- Procesos de conversión de biogás a biometano térmicos y biológicos requeridos y sus costos. Eficiencias.

Escala del proyecto a implementar. Redes de distribución locales requeridas y sus costos.

- Uso actual de la biomasa: abono agrícola de excelentes calidades nutricionales a 0 costo, no gastos de transporte ni disposición final, lo cual puede hacer que los dueños de estos residuos no se interesen mucho en el proceso si dejan de percibir los beneficios económicos de no tener que comprar tantos abonos, ni los gastos de transporte que se generarían para disponer adecuadamente de ellos.
- Composición química y estequiométrica del residuo con el fin de confirmar su potencial de generación de metano, es decir, su contenido energético.
- Según pruebas realizadas en el laboratorio, mediante la codigestión de biomosas se puede potencializar la producción de biogás, lo que lleva a inferir la posibilidad de realizar mezclas con las diferentes biomosas generadas en las regiones para obtener mejores rendimientos, tanto en el biogás como en las características del biodigestato, mejorando su calidad de tal manera que facilite su comercialización.

## 10 Recomendaciones

Ya que se realizó un análisis de disposición de la pulpa como biomasa residual para generar Biogás por medio de digestión anaerobia y satisfacer así otras necesidades energéticas de la finca, a continuación, se dejan algunas recomendaciones para tener en cuenta:

- Para tener un suministro constante de Biogás y por las limitantes de 2 cosechas al año (Travesía y Cosecha principal), se debe complementar el biodigestor con otro tipo de Biomasa (Pej. Porcinaza, Gallinaza, entre otras).
- Similar al punto anterior, para satisfacer la demanda energética del proceso de sacado de café, se propone incluir otro tipo de biomasa al proceso de tal manera que complemente y ayude a la generación de mayor cantidad de biogás
- Sacar adelante este tipo de iniciativas permite aprovechar los incentivos tributarios que el gobierno nacional tiene a disposición para proyectos de eficiencia energética.
- Se debe incluir la recuperación del CO<sub>2</sub> generado en el proceso.

## 11 Referencias

- Cenicafé. (2009). *Aprovechamiento Eficiente de la Energía en el Secado Mecánico del Café*.  
<https://doi.org/10.38141/10779/0380>
- Cenicafé. (2010). *Fondo Nacional del Café Los Subproductos del Café: Fuente de Energía Renovable*. <https://doi.org/10.38141/10779/0393>
- Cenicafé. (2015). *Beneficio del café en Colombia*.
- Enviro Solutions, S. L. (2023). *Tratamiento del biogás*.  
<https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-del-biogas/>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Cenicafé, & Hernán Calle V. (1974). *Cómo producir gas combustible con pulpa de café*.
- González Argel. (2021).  
[https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18498/6/GonzalezDiana\\_2021\\_AnalisisReduccionInquemados.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18498/6/GonzalezDiana_2021_AnalisisReduccionInquemados.pdf)
- <https://blog.deproximidad.com/cafe-cereza-fermentacion>. (2020). *El café. La cereza. La fermentación*.
- Ministerio de Minas y Energía, UPME, Ideam, & Universidad Industrial de Santander. (2010). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*.
- Patricia, A., Osorio, L., Marcela, D., & Escudero, R. (2019). *Perfiles socioeconómicos de Antioquia*. [www.camaramedellin.com.co](http://www.camaramedellin.com.co)
- Universidad Nacional de Colombia, & Centro de Desarrollo Industrial Tecsol. (2018). *Estimación del Potencial de Conversión a Biogás de la Biomasa en Colombia y su Aprovechamiento Informe Final Equipo Interdisciplinario Conformado por los Grupos de Investigación Colciencias*.
- Wojciech Czekala, A. Ł. P. (2023). Waste to energy: biogas potential of waste from coffee production and consumption. *ScienceDirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544223009982>
- [www.heattec-webshop.com](http://www.heattec-webshop.com). (2023, diciembre 14). <https://www.heattec-webshop.com/bentone-biogas-burner-bg450-2-120-500-kw>.