

Informe Técnico Resultado de Investigación
Biocombustibles. Viabilidad Económica De La Generación De Biogás A Partir De
Residuos De Acaí Y Residuos De Poda En San José Del Guaviare - Colombia

Elaborado por:

Jose Nivaldo Callejas Rodríguez

Especialización en Gerencia de Proyectos Sostenibles

Universidad EAN

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Pregrado

Bogotá

26/05/2025

Resumen:

El presente documento incursiona en las bases de análisis técnico y económico como la generación de biogás a partir de residuos de acai y residuos de poda producidos en el municipio de San José del Guaviare, Colombia, podría representar una opción viable para la obtención de biocombustibles, dejando para la siguiente fase del proyecto el análisis ambiental.

El aprovechamiento de estos residuos mediante biodigestores se alinea con las políticas colombianas de fomento a las energías renovables no convencionales, como lo establece la Ley 1715 de 2014 y Ley 884 del 2017. Económicamente, esta alternativa promovería la sostenibilidad local, reduciría costos energéticos y contribuiría a la gestión de residuos, impulsando el desarrollo rural y la economía circular en la región.

Ambientalmente, podría significar el inicio de la gestión de residuos de una forma más amplia y controlada, lo cual, generará mejores prácticas en aprovechamiento de residuos agroforestales.

Palabras claves: Biogás, desperdicio agrícola, recursos energéticos, energía de la biomasa, desarrollo económico y social.

Contenido

Problema de Investigación	3
1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	3
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	5
3. Pregunta de investigación.	5
4. Objetivos	5
5. Conveniencia de la Investigación	6
6. Marco Teórico.....	7
7. Marco Institucional	16
DISEÑO METODOLÓGICO Y RECOLECCIÓN DE DATOS	20
8. Enfoque, alcance y diseño de la investigación	20
9. Definición de Variables	22
10. Población y Muestra	22
11. Selección de métodos o instrumentos para recolección de información	25
12. Técnicas de análisis de datos	26
ANÁLISIS DE DATOS	27
13. Análisis y discusión de los resultado	27
Análisis Técnico de los tipos de biodigestores:	27
Análisis Económico – Costo / Beneficio.....	29
14. Conclusiones y recomendaciones.....	30

Listado de Tablas

Tabla 1 Definiciones importantes para entender el proceso de Biocombustibles	11
Tabla 2 Resultados esperados según objetivos específicos planteados	21
Tabla 3 Definición de variables y dimensiones	22
Tabla 4 Métodos recolección información.....	25
Tabla 5 Técnicas de análisis de datos	26
Tabla 6 Análisis Técnico de los tipos de biodigestores	27
Tabla 7 Análisis económico.....	29

Problema de Investigación

1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

Con base en el programa departamental "Guaviare Avanza 2024-2027", que tiene como misión potenciar el desarrollo rural y fortalecer a las familias campesinas como base del desarrollo económico (Colombia, Guaviare, 2023), se identifica que San José del Guaviare, zona afectada por el conflicto armado, enfrenta desafíos significativos. Su economía, centrada en el sector primario —principalmente la agricultura y la ganadería— se ve mermada por la limitada infraestructura y conectividad tanto en carreteras como servicios públicos, lo que resalta la urgencia de implementar proyectos que impulsen el desarrollo agrícola y ecológico de la región.

En este sentido, el trabajo de María Alejandra Rondón (Rondón Villabona, 2023); dentro de dicha caracterización se entiende que el municipio cuenta con pastizales como principal tipo de cobertura del suelo, lo cual para este proyecto es importante abordar ya que se requiere aprovechar dichos recursos para la generación de biocombustibles así como el residuo del Acai (Euterpe precatoria), producto que es la base de esta investigación; dicho fruto no es maderable y proviene de las palmas amazónicas y con abundancia de los bosques de las siete veredas del municipio de San José Del Guaviare (FCDS Colombia, 2023). En la cartilla de la FCDS, es un compendio del aprovechamiento forestal de los frutos Asaí y Seje, en él se encuentra la descripción de los frutos amazónicos, el ambiente para su cultivo, aprovechamiento del mismo y las cantidades estimadas de producción (FCDS Colombia,

2023), la información de la Cartilla entrega datos de más de 1,7 toneladas de Asai que puede ser aprovechable en solo la ciudad de San José del Guaviare, por lo tanto, se ve la necesidad de realizar procesos de aprovechamiento con los residuos que generan los frutos, ya que la mayoría serán utilizados para productos como: Aceite extra virgen y virgen, pulpa de fruta congelada y alimentos variados. (Falla Cortes, 2020) y (Hernández Gómez, Castro Rodríguez, Giraldo Benavides, & Barrera García, 2018)

Como se expuso en párrafos anteriores, en la región del Guaviare se cuenta con grandes pastales y frutos como el acaí (asaí), y dichos productos generan residuos abundantes que con el tratamiento adecuado pueden transformarse en materiales para aprovechar. Una forma de hacerlo es convertirlos en biocombustibles; es así que surge la tarea de pensar que hacer luego de generarlos y entender cómo aprovecharlos. De esta manera, se tomará el caso de Fedepalma (Briceño Álvarez, Valencia Concha, & Posso, 2015) para orientar la mejor forma de para uso de residuos agroforestales. Aprender de Fedepalma es entender todo un ciclo de aprovechamiento, ya que actualmente, ellos en la primera fase utilizan los residuos para sus procesos internos, y la energía que generan de los mismos residuos la utilizan en sus calderas; la siguiente fase es buscar vender el excedente de energía producida a la nación. Con esto generan mayor rentabilidad a la compañía y todo el ciclo de aprovechamiento se convierte un ejemplo para otras industrias.

De esta forma, llegamos a la conclusión de los antecedentes, pero se da la apertura para este proyecto, ya que el objetivo fundamental es la evaluación de los beneficios económicos y técnicos del aprovechamiento de los residuos de poda y acaí para la producción de biogás.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Se tiene la posibilidad de realizar un mejor aprovechamiento de los residuos generados en el municipio de San Jose del Guaviare, con las políticas y el fomento de la agricultura en la región, el fomento al empleo digno y el cuidado del medio ambiente, la forma expuesta es generar biogás. Dicho biocombustible debe forjar rentabilidad adicional a las compañías y comunidades de la región para ayudar a impulsar el crecimiento de esta.

Formas de dar rentabilidad es disminuir costos de producción a partir del aprovechamiento en los procesos propios o como venta al Sistema Interconectado Nacional; esto será analizado con este proyecto a partir de la investigación exploratoria realizada.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.

¿Cuál es la viabilidad económica y técnica de generar biogás a partir de los residuos generados en los procesos de aprovechamiento del Asai y la poda de pasto del municipio de San José del Guaviare?

4. OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar viabilidad económica y técnica de la generación de biogás a partir de residuos de acaí y poda en San José del Guaviare.

Objetivos Específicos.

1. Analizar los costos de producción y beneficios económicos de la generación de biogás a partir de residuos de açá y poda, considerando experiencias previas y datos secundarios.
2. Comparar las tecnologías utilizadas para la producción de biogás en Colombia, identificando aquellas con mayor eficiencia y sostenibilidad en contextos rurales y urbanos.
3. Determinar la aplicabilidad de estas tecnologías en San José del Guaviare, considerando factores técnicos, económicos para su posible implementación.
4. Formular un plan de implementación y escalabilidad, sustentado en la revisión bibliográfica, que permita integrar la tecnología seleccionada en el contexto regional mediante estrategias operativas y de financiamiento identificadas en estudios especializados, facilitando así su replicabilidad en proyectos similares.

5. CONVENIENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto tiene como objetivo analizar si es práctico el uso de los desechos de açá y poda se pueden transformar en biogás, buscando tanto beneficios económicos como ambientales. Se busca también demostrar que aprovechar dichos residuos como en la generación de biogás para uso local y generación de energía eléctrica, podría beneficiar al desarrollo local, reducir las emisiones contaminantes y promover la economía circular. A través de metodologías de estudios previos, se evaluará la viabilidad técnica y económica de esta transformación en San José del Guaviare.

Campo de investigación:	Ciencia, Tecnología e Innovación
Grupo de investigación:	Gestión Ambiental.
Línea de investigación:	Gestión de recursos naturales y energía. Biocombustibles. Viabilidad económica de la generación de biogás a partir de residuos de Acaí o residuos de poda en San José del Guaviare - Colombia

Fuente: Propia

6. MARCO TEÓRICO

Para comprender la relevancia de los biocombustibles en el contexto actual, es necesario analizar su evolución histórica y los avances en las mejores técnicas para su aprovechamiento. En particular, resulta fundamental entender cómo se lleva a cabo el proceso de conversión de residuos orgánicos a biogás, a través de métodos como la digestión anaeróbica y el análisis del ciclo de vida de los biocombustibles. Estos procesos, impulsados por microorganismos específicos, convierten los residuos en fuentes de energía renovable, lo que representa un avance importante en la sostenibilidad energética.

El trabajo de (Chávez Porras & Rodríguez González, 2016) ofrece una base valiosa para iniciar la investigación sobre la gestión de residuos orgánicos, especialmente aquellos provenientes de zonas agrícolas y forestales en Iberoamérica. En su estudio, documentan la evolución de las prácticas de manejo de residuos, desde la disposición en vertederos a cielo abierto y su quema, hasta el resurgimiento de enfoques más antiguos que priorizan la reutilización y el reciclaje, ahora respaldados por tecnologías modernas. Este cambio de paradigma es

fundamental para entender cómo separar, clasificar y tratar los residuos de manera eficiente, reconociendo su valor potencial y el impacto positivo que puede tener en la economía circular. A nivel global, el manejo de los residuos sólidos ha enfrentado grandes desafíos, especialmente debido al crecimiento poblacional y al aumento de las áreas urbanas, lo que ha incrementado la producción de desechos. Tradicionalmente, se han utilizado prácticas como la incineración y la disposición en vertederos a cielo abierto, las cuales provocan graves impactos ambientales. La incineración, aunque se considera una opción para reducir el volumen de residuos, genera sustancias tóxicas como dioxinas y furanos, que son compuestos cancerígenos, además de liberar gases de efecto invernadero como el metano y dióxido de carbono, contribuyendo al cambio climático. Por su parte, los vertederos a cielo abierto también generan lixiviados y emisiones gaseosas que afectan el suelo, las fuentes de agua y la biodiversidad circundante, además de estar relacionados con problemas de salud pública, como enfermedades y la proliferación de vectores. En respuesta a estos problemas, se están promoviendo alternativas más sostenibles, como la "producción más limpia", que busca reducir los residuos generados y aprovechar los recursos de manera más eficiente. Esto incluye la implementación de tecnologías de reciclaje, la reutilización de materiales y el tratamiento adecuado de los residuos, desviándolos de los sitios de disposición final y promoviendo su aprovechamiento energético, como en el caso de la digestión anaeróbica para la generación de biogás. De esta forma, se pretende reducir los impactos negativos asociados al manejo de residuos y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Profundizando en el concepto propuesto por los mismos autores (Chávez Porras & Rodríguez González, 2016) para el término "residuo", este hace referencia a un elemento que ha dejado de cumplir su propósito original o que se ha generado como excedente en el proceso de producción. Una vez que un material ha cumplido su función, se considera desecho. Aplicando este concepto a los desechos orgánicos, podemos iniciar la discusión sobre la biomasa, un recurso fundamental en la producción de biocombustibles. Según la definición de (Vega de Kuyper & Ramírez Morales, 2014) la biomasa es *"el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o proveniente de la transformación natural o artificial de esta"*. Este recurso, que abarca desde residuos agrícolas hasta desechos forestales, desempeña un papel esencial en la producción de biogás, ya que constituye la materia prima a través de la cual los microorganismos anaeróbicos descomponen los materiales orgánicos, liberando metano, el principal componente del biogás. Diversas investigaciones han explorado el uso de residuos orgánicos en la generación de biogás, (Mgeni, Mero, Mtrashobya & Emmanuel (2024), - Corredor & Pérez (2018) – Lozano (2022)) destacando tanto su viabilidad técnica como económica. Estudios realizados en áreas rurales de Colombia y América Latina han demostrado que residuos agrícolas, como los sobrantes de cultivos de açaí, pasto y otros productos, pueden ser aprovechados eficientemente para generar energía renovable. Además, investigaciones previas han mostrado cómo la implementación de tecnologías adecuadas de digestión anaeróbica puede transformar estos residuos en una fuente constante y sostenible de biogás, contribuyendo así a reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y a disminuir el impacto ambiental de los desechos.

En el contexto previamente descrito, se busca destacar cómo los "residuos", y en particular los "orgánicos", pueden ser aprovechados para la generación de productos energéticos, una práctica que ha sido objeto de estudio en Latinoamérica. A partir de este panorama general, nos adentramos en el caso específico de Colombia y sus zonas rurales, donde el país posee una ventaja competitiva significativa debido a su robusta producción agroindustrial. La diversidad de cultivos agrícolas, frutales y forestales, así como la producción ganadera (que incluye pastos), genera de manera masiva residuos orgánicos, lo que abre grandes oportunidades para su aprovechamiento energético.

De esta manera, la profundidad del libro "Sistemas de generación de energía eléctrica basados en biogás - Digestión anaerobia, generación de biogás e implementación computacional" realizado por Morales, Rodríguez y Rojas (2022); referencia como en Colombia, las tecnologías utilizadas para la producción de biogás presentan diversas opciones que varían en eficiencia y sostenibilidad, tanto en contextos rurales como urbanos. En las zonas rurales y no interconectadas (ZNI), donde la disponibilidad de recursos orgánicos es alta debido a la producción agroindustrial, la digestión anaerobia o biodigestión se presenta como una de las tecnologías más prometedoras. Esta tecnología transforma residuos orgánicos como los derivados de la ganadería y la agricultura en biogás, que puede ser utilizado para generar electricidad, sustituyendo el diésel, tradicionalmente usado en estas zonas. Aunque los biodigestores tienen un gran potencial para generar energía renovable y reducir la huella de carbono, su implementación en Colombia ha sido limitada debido a altos costos, falta de experiencia y conocimiento en el manejo de residuos pecuarios y agrícolas. Por otro lado, en

las zonas urbanas, las tecnologías como los motores diésel y los sistemas fotovoltaicos dispersos también se utilizan para la generación de energía, pero presentan altos costos operativos y ambientales debido a la contaminación que generan. En comparación, los sistemas basados en biogás tienen la ventaja de ser más sostenibles, ya que no solo aprovechan residuos orgánicos de manera eficiente, sino que también contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero y mejoran la gestión de residuos. No obstante, para maximizar su adopción y eficiencia, es esencial realizar estudios de viabilidad técnica y económica que evalúen la adecuación de los sistemas de biogás para satisfacer las necesidades energéticas locales, tanto en zonas rurales como urbanas.

Con base al mismo libro, Morales, Rodríguez y Rojas (2022), se tomarán los conceptos y generalidades relevantes para explicar de manera sencilla y rápida lo necesario para introducirnos en la generación de biogás.

Tabla 1 Definiciones importantes para entender el proceso de Biocombustibles

CONCEPTO	DEFINICIÓN
A) DIGESTIÓN ANAEROBIA (DA)	Conversión de materia orgánica como residuos de poda y acái en biogás. Se detalla cómo la descomposición ocurre sin la presencia de oxígeno, gracias a la acción de microorganismos anaerobios, produciendo principalmente biogás, compuesto por metano (CH ₄) y dióxido de carbono (CO ₂)..
B) BIOGÁS	Como el producto principal de la digestión anaerobia, el biogás, especialmente el metano (CH ₄), es lo que convierte a los residuos en una fuente de energía. Ya que detalla el potencial energético de los residuos orgánicos que se pueden transformar en biocombustible
C) DIGESTATO (FANGO EFLUENTE)	Este subproducto sólido generado en el proceso de DA puede ser útil para la agricultura como fertilizante, lo cual es un beneficio adicional en el contexto de la valorización de residuos. Contiene minerales como nitrógeno, fósforo, potasio

CONCEPTO	DEFINICIÓN
	y calcio, lo que lo convierte en un fertilizante natural útil para la agricultura.
D) BIODIGESTORES	Es un reactor hermético donde ocurre la digestión anaerobia, generando biogás y digestato. Existen varios tipos según su complejidad y uso. Diferentes tipos de biodigestores (como los de tipo CSTR o UASB) podrían ser utilizados para optimizar la conversión de residuos en biogás. Es importante investigar el diseño y la selección adecuada de biodigestores para los residuos de este estudio.
E) SUSTRATOS LENTAMENTE DEGRADABLES	Los residuos de poda y acai son materiales orgánicos que pueden ser considerados como sustratos de descomposición lenta. Son materiales orgánicos que se descomponen a un ritmo más lento. La DA es eficiente para tratar estos sustratos, incluso aquellos con altas concentraciones de sólidos suspendidos.
F) CODIGESTIÓN DE RESIDUOS	Es el proceso de descomposición simultánea de dos o más tipos de residuos (por ejemplo, residuos agrícolas y ganaderos) para aumentar la concentración de metano en el biogás producido.
G) MICROORGANISMOS METANÓGENOS:	Son los microorganismos encargados de la última fase de la DA, la metanogénesis, en la que convierten compuestos como el hidrógeno (H ₂) y el dióxido de carbono (CO ₂) en metano (CH ₄), que es el principal componente del biogás. Su estudio es esencial para comprender cómo los residuos de poda y acai pueden ser transformados en biocombustible.
H) FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA:	<p>Fase no metanogénica: Se divide en hidrólisis (descomposición de compuestos complejos en moléculas más simples) y acidogénesis (fermentación de las moléculas simples en ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono y otros compuestos).</p> <p>Fase metanogénica: Se compone de acetogénesis (transformación de compuestos como ácidos grasos en acetato) y metanogénesis (producción de metano a partir de acetato o dióxido de carbono y hidrógeno).</p>
I) PRETRATAMIENTOS DE BIOMASA:	Técnicas como tratamientos térmicos, químicos o mecánicos (trituration, ultrasonido) que se utilizan para hacer más eficiente la fase de hidrólisis de la biomasa antes de

CONCEPTO	DEFINICIÓN
	introducirla en el biodigestor. Los residuos de poda y acaí contienen lignina (Es un componente en la pared celular de las plantas que dificulta la descomposición de la materia orgánica en la fase de hidrólisis. La presencia de lignina puede ralentizar el proceso de DA) y otros compuestos complejos. Los pretratamientos pueden ser necesarios para facilitar la descomposición de estos materiales y mejorar la eficiencia de la DA.
J) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):	Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar los compuestos orgánicos presentes en el agua. La DA ayuda a reducir esta demanda, lo que mejora la calidad del agua tratada.

Fuente / Referencia: Términos basados del libro: *Sistemas de generación de energía eléctrica basados en biogás - Digestión anaerobia, generación de biogás e implementación computacional* realizado por Morales, Rodríguez y Rojas (2022).

Entre las investigaciones realizadas sobre el acaí, destaca la de (Igreja, y otros, 2023 Sep 16) este artículo detalla la composición de las semillas de acaí, las cuales tienen un alto potencial para producir sustratos y ser aprovechadas en la digestión anaerobia. Según el estudio, dichas semillas pueden utilizarse en procesos de fermentación. Como sugiere el artículo, *"las semillas de acaí se caracterizan como residuos agroindustriales prometedores, con alto potencial para ser utilizados como sustrato de bajo costo en procesos biotecnológicos, comprendiendo aspectos ambientales y bioeconómicos relevantes para el desarrollo de la Amazonia."*

Asimismo (Almeida, A. V. da C, Melo, I. M., Pinheiro, I. S., Freitas, J. F., & Freitas, J. F., 2017) presentan una investigación centrada en la reutilización de los residuos de plantas procesadoras de açaí en Pará, con el objetivo de revalorizar dichos residuos. En su estudio, demuestran que se desecha inadecuadamente el 85% del fruto fibroso, sin aprovechar los azúcares fermentables como la celulosa, lignina y hemicelulosa, que tienen un alto valor

biotecnológico. Pero es necesario realizar un pretratamiento para lograr el máximo potencial de estos residuos, pero con el hecho del estudio realizado se puede ampliar la investigación.

Luego de entender el marco conceptual y ver como existe la necesidad no solo económica de generar energía en zonas no interconectadas como San José del Guaviare, sino de aprovechamiento de los residuos del acaí con alto nivel de azúcares para fermentación, se deberá entender como el marco legal y las políticas públicas sobre biocombustibles aplica en Colombia y que se debe tener en cuenta para iniciar un proceso de explotación comercial, como ocurre con las bio-generadoras de palma de aceite y caña de azúcar en el país.

Ley 1715 de 2014: Fomento a las Energías Renovables No Convencionales es una de las normativas más relevantes en Colombia para el sector de las energías renovables, y específicamente para los biocombustibles. Esta ley establece el marco legal para la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, promoviendo el uso de fuentes como el biogás, la energía solar, eólica, y otras tecnologías limpias. La Ley 1715 reconoce el biogás como una fuente importante de energía renovable y establece las bases para su desarrollo mediante:

- Incentivos fiscales: La ley ofrece incentivos para la producción de biogás, como la exención del Impuesto sobre la Renta (para proyectos de biocombustibles) y la facilitación en los procesos de acceso a financiamiento para este tipo de iniciativas.

- Facilitación de trámites administrativos: La ley busca simplificar los procedimientos para la implementación de proyectos de energías renovables no convencionales, incluyendo los

de biogás. Esto reduce las barreras burocráticas y promueve la inversión en tecnologías sostenibles.

- **Certificación de energía renovable:** establece mecanismos para certificar la producción de energía renovable, lo cual es fundamental para fomentar la comercialización del biogás y otros biocombustibles en el mercado local e internacional.

Además, la ley promueve la participación del sector privado en la creación de proyectos de energía renovable y facilita la importación de tecnología necesaria para implementar las plantas de biogás.

El Decreto-Ley 884 de 2017 establece el marco normativo para la implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER), como parte del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera en Colombia. Este plan tiene como objetivo principal la expansión de la cobertura eléctrica en las Zonas No Interconectadas (ZNI), mejorando la calidad de vida en las regiones rurales, y fomentando el uso de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), como el biogás. Además, se contempla la capacitación y asistencia técnica para las comunidades rurales, fortaleciendo su capacidad organizativa para el mantenimiento de las soluciones energéticas implementadas, garantizando su sostenibilidad a largo plazo, de esta manera se establece un enfoque integral para la electrificación rural, promoviendo el uso de biogás y otras fuentes renovables, en armonía con las necesidades y condiciones específicas de las comunidades rurales, y asegurando la participación activa de los actores locales para garantizar la sostenibilidad de los proyectos.

La Resolución 240 de 2016, emitida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), establece las normas aplicables para la prestación del servicio de gas combustible con biogás y biometano. Esta resolución regula desde la producción, transporte y distribución hasta la comercialización de biogás, asegurando la calidad y seguridad del servicio a través de un régimen tarifario de "libertad vigilada" que permite la flexibilidad en la determinación de tarifas, pero con la obligación de informar a las autoridades competentes sobre las decisiones tomadas. Además, establece condiciones técnicas y ambientales específicas, como el control de la composición del biogás, garantizando que el metano en el biogás sea superior al 50% y el dióxido de carbono no exceda el 45%. Asimismo, la resolución prevé la aplicación de normas de calidad en función de la fuente del biogás, exigiendo estándares adicionales para aquellos generados a partir de residuos industriales y urbanos. Este marco normativo busca promover el desarrollo de la infraestructura necesaria para utilizar el biogás de manera eficiente y sostenible, apoyando el aprovechamiento de residuos orgánicos para la generación de energía renovable, contribuyendo así a la diversificación de las fuentes de energía y la protección ambiental.

7. MARCO INSTITUCIONAL

San José del Guaviare, se caracteriza por su riqueza en recursos naturales y su desarrollo en actividades agrícolas y ganaderas. Dentro de este contexto, la generación de biogás a partir de residuos orgánicos como los de acai y poda de pasto representa una alternativa energética sostenible, por lo tanto se deberá evaluar que tan económica y comercialmente puede llegar a ser, en los ámbitos de comercialización de biogas como de producto, o su aprovechamiento en

la generación de energía eléctrica; considerando tanto el entorno normativo y las organizaciones involucradas como la estructura de los procesos y la participación de actores clave en la región.

Tomando como bases para este proyecto, el estudio está orientado a **la inversión en Biogás en Colombia** realizado **Duarte, S., Loaiza, B., Majano, A. M., & Ochs, A. (2021)**. dedicado a la gestión sostenible de residuos y la producción de biocombustibles a partir de fuentes orgánicas. La propuesta tiene como objetivo analizar la viabilidad económica de establecer una **planta de biogás** en San José del Guaviare, utilizando **residuos de acai** y **poda de pasto**, dos subproductos agrícolas en la región.

El sector de la Economía puede estar en producción de gas, específicamente **biocombustibles** (CIIU: 3520 - Producción de gas; distribución de combustibles gaseosos por tuberías) y comercialización de energía eléctrica CIIU 3514. Esto se validará durante la realización de este proyecto ya que se deberá buscar **nichos de Mercado**, siguiendo una línea de mercado objetivo, que incluya tanto consumidores locales de energía como empresas y hogares rurales en la región, que actualmente enfrentan dificultades para acceder a fuentes de energía sostenibles. Y para la comercialización de biogás como combustible para procesos industriales en zonas cercanas, y si un segundo subproducto como el fertilizante, es viable para su comercialización.

- **Biogás:** La producción de biogás a partir de residuos orgánicos de acai y poda de pasto, que puede ser utilizado como energía eléctrica y térmica.

- **Fertilizante orgánico:** El residuo sólido generado después de la digestión anaeróbica será utilizado como abono para la agricultura local, en un modelo de **economía circular**.

Procesos clave: Son aquellos donde se deberá prestar atención, basándonos en el proyecto entregado por 14. Muñoz Rodriguez, S., Peña Montaña, I. V., & Zamora Leal, V. (2023); donde analizan el margen de aprovechamiento de residuos en Colombia.

- **Recolección de residuos:** Se estudiará la implementación de un sistema local de recolección de residuos orgánicos de acai y poda de pasto, en colaboración con los agricultores y ganaderos de la región.
- **Digestión anaeróbica:** Los residuos serán procesados en biodigestores, donde los microorganismos descompondrán la materia orgánica en un ambiente sin oxígeno, produciendo biogás y un subproducto sólido.
- **Generación de energía:** El biogás obtenido se utilizará para generar electricidad, la cual podrá ser distribuida a las comunidades rurales de San José del Guaviare, contribuyendo a la mejora en el acceso a la energía. En este paso será fundamental, un análisis técnico de la capacidad que pueda entregar el desecho del acai y la poda del pasto.
- **Transformación del subproducto:** El material residual será procesado y convertido en un fertilizante orgánico que puede ser utilizado por los productores locales, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola.

La **viabilidad económica** de la generación de biogás a partir de residuos de acai y poda de pasto en San José del Guaviare puede llegar a ser factible después de evaluar los recursos naturales disponibles, la infraestructura regional, y el marco normativo favorable vigente. El proyecto no solo contribuiría a mejorar el acceso a energía renovable en la región, sino que también impulsará el desarrollo económico y social mediante la gestión sostenible de residuos y la creación de empleo en las comunidades rurales.

DISEÑO METODOLÓGICO Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Primer nivel

8. ENFOQUE, ALCANCE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo principal del proyecto es evaluar la viabilidad de una solución energética para una zona con dificultades de conexión al sistema eléctrico nacional. Esta solución también abordaría el problema de los residuos orgánicos generados. De este modo, se puede entender que, a partir de fundamentos teóricos, se propondrán soluciones prácticas siendo esta **investigación de carácter aplicado**.

La **investigación será de carácter aplicado - exploratorio** y utilizará **fuentes documentales de bases de datos secundarias**, como informes, estudios previos, bibliografías y tesis universitarias. No se realizará trabajo de campo, ya que se pretende abordar el tema del aprovechamiento de residuos, biogás y viabilidad económica en la región utilizando datos existentes y realizando una exploración comparativa de otros casos en el mundo. Este estudio no tiene antecedentes en cuanto a los productos a utilizar, como el açai (debido a su producción mundial), ni en relación con la región a investigar. Será de **carácter exploratorio**, probando la viabilidad de un análisis posterior.

El **enfoque de investigación será mixto**, combinando perspectivas cualitativas, como la viabilidad social, ambiental y tecnológica, así como la percepción de los agentes locales del territorio de San José del Guaviare, según estudios sociológicos de la región. También se

incluirán perspectivas cuantitativas, como los datos de costos, volúmenes de residuos, rendimientos energéticos e indicadores de rentabilidad, entre otros.

La Tabla 2 señala el tipo de metodología a utilizar según los objetivos específicos planteados en la primera sección, además indica los productos a generar para cada objetivo. Cabe resaltar que se han agregado indicadores de éxito para medir los avances y proyectar nuevas metas.

Tabla 2 Resultados esperados según objetivos específicos planteados

OBJETIVO ESPECÍFICO PARA TRABAJAR	METODOLOGÍA UTILIZADA	ENTREGABLES / PRODUCTOS	INDICADORES DE ÉXITO
1. Analizar los costos de producción y beneficios económicos de la generación de biogás a partir de residuos de açaí y poda.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisión de estudios de económicos similares ➤ Análisis comparativo de costos de biodigestores. ➤ Uso de literatura científica y bases de datos económicas. 	Matriz comparativa de costos y beneficios	Identificación de al menos 3 estudios de caso comparables
2. Comparar tecnologías utilizadas para la producción de biogás en Colombia.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisión bibliográfica técnica (artículos, tesis, informes institucionales). ➤ Sistematización de tecnologías, eficiencia y niveles de inversión. 	Cuadro comparativo de tecnologías	Identificación de mínimo 5 tecnologías documentadas
3. Determinar la aplicabilidad de estas tecnologías en San José del Guaviare.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis documental de factores técnicos y socioambientales locales. ➤ Validación teórica con estudios de contexto similares. 	Informe de aplicabilidad regional	Al menos 3 criterios técnicos y ambientales aplicados

Fuente: Propia

9. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Las variables nombradas en la Tabla 3 Definición de variables y dimensiones, son tomadas de

Tabla 3 Definición de variables y dimensiones

COMPONENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	VARIABLE
TÉCNICA TECNOLOGÍAS DE BIOGÁS	Conjunto de tecnologías y procesos involucrados en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos.	Tipo de biodigestores, tiempo de descomposición, eficiencia energética.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo de tecnología, ➤ Volumen reactor ➤ Condiciones operativas ➤ Requerimiento Mantenimiento
ECONÓMICA COSTO BENEFICIO	Costos y beneficios asociados a la implementación del sistema de biogás.	Estimación de inversión inicial, mantenimiento, costos operativos, análisis de retorno de inversión.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Volumen residuos ➤ Producción biogás ➤ Precios de mercado

Fuente: Propia

10. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población objetivo de esta investigación está constituida por proyectos de generación de biogás siendo prioritarios los implementados en contextos rurales, particularmente aquellos que utilizan residuos orgánicos comparables a los del açaí y la poda agrícola en regiones similares ambientalmente a la del Guaviare, también investigaciones realizadas sobre el acaí en otros países, esto ayudará a tener datos cuantitativos del potencial del fruto. Esta población incluye iniciativas nacionales e internacionales documentadas en estudios técnicos, informes académicos, bases de datos gubernamentales y publicaciones de organizaciones especializadas en bioenergía.

Dado el enfoque exploratorio y documental del estudio, se empleará un muestreo intencional no probabilístico (también conocido como **muestreo por criterio o juicio**) es una técnica de muestreo en la que el investigador **selecciona deliberadamente** los elementos que formarán parte de la muestra, **basándose en criterios específicos y el conocimiento experto** sobre el tema de estudio, con criterios de selección enfocados en:

- ✓ Relevancia tecnológica y contextual del proyecto (entornos rurales, uso de residuos agrícolas, escalabilidad).
- ✓ Disponibilidad de información técnica y económica verificable.
- ✓ Aplicabilidad potencial al contexto de San José del Guaviare.

La muestra estará conformada por:

- ✓ Estudios de caso de experiencias documentadas en Colombia y otros países tropicales con características agroambientales similares.
- ✓ Documentos técnicos y científicos relacionados con tecnologías de digestión anaerobia, manejo de residuos del açaí o residuos lignocelulósicos similares.
- ✓ Políticas y datos gubernamentales en biogás, agroindustria del açaí y manejo de residuos, con experiencia en proyectos rurales o comunitarios.
- ✓ Experiencias productivas locales que trabajen con residuos de açaí o poda, seleccionadas mediante revisión de bases institucionales.

Este diseño permite triangular información cualitativa y cuantitativa proveniente de fuentes secundarias, con el objetivo de sustentar la viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema en la región objetivo.

Segundo nivel

11. SELECCIÓN DE MÉTODOS O INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se hará uso de referentes técnicos como el modelo de cadena de valor circular y el modelo de análisis costo-beneficio, además de modelos técnicos de digestión anaerobia aplicados a la producción de biogás. Las técnicas utilizadas incluyen el análisis documental de bases secundarias. Dado que el estudio no contempla entrevistas ni recolección de datos primarios, y que se basa únicamente en fuentes secundarias confiables, como estudios de caso, tesis, informes técnicos y documentos institucionales, los métodos e instrumentos para la recolección de información, completamente fundamentada en revisión documental serán:

Tabla 4 Métodos recolección información

VARIABLE	MÉTODO DE RECOLECCIÓN	INSTRUMENTO ESPECÍFICO	JUSTIFICACIÓN
TÉCNICA	Revisión documental sistemática de estudios técnicos, tesis, manuales de tecnología y experiencias empresariales	Matriz de análisis de tecnologías de biogás	Permite comparar tecnologías aplicadas en contextos similares (biodigestores, procesos, eficiencia, adaptabilidad, tiempo de descomposición, etc.).
ECONÓMICA	Revisión de informes de proyectos, estudios de caso y publicaciones institucionales (BID, FAO, universidades)	Plantilla de evaluación costo-beneficio y rentabilidad	Facilita el análisis comparativo de costos de implementación, mantenimiento, retorno de inversión y sostenibilidad financiera.

Fuente: Propia

12. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Como la investigación combina **análisis cualitativos y cuantitativos**, y aunque el enfoque general es **exploratorio-descriptivo**, se justifica el uso de un **enfoque mixto** con técnicas de análisis que integren ambas dimensiones: **cualitativa (documental, comparativa) y cuantitativa (estadística descriptiva y análisis económico básico)**.

Tabla 5 Técnicas de análisis de datos

INSTRUMENTO	TÉCNICA DE ANÁLISIS	DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA APLICADA
MATRIZ DE ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE BIOGÁS	Análisis de contenido temático (cualitativo)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se analizarán las tecnologías disponibles según eficiencia, tipo, escala y condiciones operativas.
	Estadística descriptiva (cuantitativa)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se aplicará análisis de contenido para categorizar tecnologías, y estadística descriptiva para resumir datos como tiempo de descomposición, producción energética (Nm³/kg), entre otros.
PLANTILLA DE EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO Y RENTABILIDAD	Análisis económico	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se analizarán los datos económicos (inversión inicial, costos operativos, retorno esperado). ✓ Se aplicará análisis de indicadores como VAN, TIR, relación B/C si los datos lo permiten.
	Estadística descriptiva	<ul style="list-style-type: none"> ✓ También se usarán medidas estadísticas como promedio, mediana y desviación estándar.

Fuente: Propia

ANÁLISIS DE DATOS

13. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADO

ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS TIPOS DE BIODIGESTORES:

En este primer análisis se tomaron los principales 5 digestores, encontrados en la literatura y de los cuales se conociera la información relatada en la matriz de la tabla 6. Esta información servirá para un análisis posterior, cuando se conozca la cantidad de residuos que se generan en el municipio, según el alcance de un proyecto de digestor para industria, toda la comunidad o de manera doméstica, se podrá evaluar la mejor opción por su escala y tipo de sustratos adicionales que se quieran añadir. Es importante detallar que los digestores 1, 2 y 5 destacan para residuos de pasto y acaí, pero debe ser evaluado según el volumen requerido, ya que tanto sus tiempos de retención como eficiencia son muy similares.

Tabla 6 Análisis Técnico de los tipos de biodigestores

ID	TIPO DE TECNOLOGÍA / NOMBRE COMÚN	ESCALA TÍPICA (VOLUMEN REACTOR - M ³)	CONDICIONES OPERATIVAS CLAVE	EFICIENCIA (CONTENIDO CH ₄ EN BIOGÁS - %)	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH - DÍAS)	PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DE BIOGÁS (Nm ³ /kg SV O TON RESIDUOS)	POTENCIAL PARA CO-DIGESTIÓN (SUSTRATOS)	REQUERIMIENTOS DE MANTENIMIENTO	VENTAJAS DESTACADAS	DESVENTAJAS / DESAFÍOS	NOTAS / REFERENCIAS CLAVE
1	Biodigestor de Cúpula Fija (chino/indio)	10 - 100	Mesofílico (25-40°C), Continuo, Lodos suspendidos	50-65%	30-60	0.2 - 0.4 Nm ³ /kg SV	Estiércol, residuos agrícolas pastosos	Bajo/Medio	Simplicidad, bajo costo	Sensible a cambios de temp, fugas	(UNEP, SNV, GZ reports)

2	Biodigestor Tubular (Tipo Taiwan)	5 - 50	Mesofílico (20-35°C), Continuo, Flujo pistón	55-70%	20-40	0.3 - 0.5 Nm ³ /kg SV	Estiércol, residuos agrícolas pastosos	Bajo	Fácil construcción, flexible	Requiere terreno, menor mezcla	(FAO Manuals, CIAT studies)
3	CSTR (Continuously Stirred Tank Reactor)	100 - 5000+	Meso/Termodifílico (35-55°C), Continuo, Agitación	60-75%	15-30	0.4 - 0.6 Nm ³ /kg SV	Amplia gama (estiércol, residuos sólidos urbanos, agroindustriales)	Medio/Alto	Alta eficiencia, control preciso	Mayor inversión, complejidad	(Wang et al., 2018; Tchobanoglous)
4	UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)	50 - 2000	Mesofílico (25-40°C), Continuo, Flujo ascendente	60-70%	10-20	0.3 - 0.5 Nm ³ /kg SV (principalmente líquidos)	Aguas residuales, residuos agroindustriales líquidos	Medio	Compacto, alta carga orgánica	Requiere buena biomasa granular	(Speece, 1996; Metcalf & Eddy)
5	Digestión Seca (Batch/Plug Flow)	50 - 5000+	Mesofílico (35-45°C), Discontinuo/Continuo	50-65%	20-60	0.2 - 0.4 Nm ³ /kg SV (para sólidos)	Residuos sólidos orgánicos (RSU, agrícolas)	Medio	Maneja alto contenido de sólidos	Mayor espacio, complejidad batch	(De Baere et al., 2012; Fraunhofer)

Fuente: Propia

Es importante seguir investigando sobre nuevos biodigestores y sustratos, para ampliar la matriz presentada. Ampliar la investigación hacia control de temperatura automática y rotación de sustratos automatizada, esto ayudará al PH y la generación de metano que es el gas objetivo para su aprovechamiento.

ANÁLISIS ECONÓMICO – COSTO / BENEFICIO

Referente al fruto Acaí no hay una base de información de cultivos en Colombia, actualmente se cuenta con información generada en Brasil, pero continua en estudio. Por lo cual para el caso de San José del Guaviare, se hicieron estimaciones a partir del número de hectáreas cultivables de acáí presentadas por el DANE en el ENA (Censo Nacional Agropecuario)

Tabla 7 Análisis económico

CATEGORÍA	VARIABLE	UNIDAD	VALOR / RANGO ESTIMADO	FUENTE / SUPUESTO
VOLUMEN RESIDUOS	Residuos de Açaí Disponibles	Ton/año	3000 – 4500 (85% de cultivos de Acaí)	DANE – Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)
	Residuos de Poda Disponibles	Ton/año	1000 – 1800 (Estimación generada)	DANE – Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)
PRODUCCIÓN BIOGÁS	Producción Específica de Biogás	Nm ³ /ton SV	150 – 250 (Estimación de otros cultivos)	[Matriz de Tecnologías UPME, BMP – Biochemical Methane Potential]
	Contenido de Metano (CH ₄)	%	55 – 65 % (IEA Bioenergy, estimación otros cultivos)	[Matriz de Tecnologías UPME, BMP – Biochemical Methane Potential]
PRECIOS DE MERCADO	Precio de Venta Biogás (directo o equivalente energético)	COP/Nm ³	1200 – 1800	[CREG, Energuaviare]
	Precio de Venta Digestato (biofertilizante)	COP/kg	150 – 400	[Mercado local/regional, ICA]
	Precio Diésel (sustitución)	COP/Galón	9000 – 10200 (valores 2020)	[MinEnergía, Ecopetrol]

Fuente: Propia

Se debe realizar una ampliación de la matriz llevando los valores mostrados en la tabla 7 a valores actuales, es imperativo hacer una investigación de campo que genere valores reales y no estimados.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Con la revisión de la literatura nacional e internacional encontrada en esta primera fase sobre biodigestores ha permitido identificar y caracterizar diversas tecnologías disponibles, como los biodigestores de cúpula fija, tubulares, CSTR y UASB. El análisis comparativo, basado en criterios de eficiencia (contenido de metano), tipo de operación, escala y condiciones operativas, revela que existen opciones tecnológicamente probadas con rendimientos similares pero que dependen del tamaño de materia orgánica que se utilice y el alcance del proyecto, por lo cuál se deberá generar una investigación de campo para crear valores reales de residuos de acáí en la región de San José del Guaviare.
- ✓ La evaluación de las tecnologías de biodigestión, en el contexto específico de San José del Guaviare, subraya que la viabilidad no solo depende de la eficiencia técnica, sino de la adaptabilidad a factores socioeconómicos, logísticos y ambientales locales. Si se logrará implementar digestores de manera industrial con las comunidades en conjuntos se puede observar que las tecnologías más simples y de bajo mantenimiento (como los biodigestores tubulares o de cúpula fija) emergen como opciones con mayor potencial de replicabilidad y aceptación en un entorno rural, a pesar de que biodigestores más complejos como los CSTR pueden ofrecer mayor eficiencia a gran escala. También se debe evaluar si dentro de los sustratos a utilizar, los residuos animales justifican su implementación.

- ✓ La implementación de un sistema de biogás en San José del Guaviare requerirá un plan estructurado que aborde la logística de recolección de los residuos de açaí y poda, la medición y la gestión del biodigestor en sí, todo esto deberá ser evaluado en una siguiente fase de investigación, ya que esta fase inicial mostró viabilidad por las características de la semilla del acaí y por la cantidad de material no aprovechable del fruto.

- ✓ El análisis económico preliminar indica que la generación de biogás a partir de residuos de açaí y poda en San José del Guaviare presenta un potencial de rentabilidad significativo. Se debe pasar a una estimación de indicadores financieros como el VAN, TIR y la relación B/C (condicionada por la precisión de los datos de inversión inicial, costos operativos y precios de venta del biogás/digestato) proyecta que la sustitución de combustibles fósiles, la valorización del digestato y los posibles incentivos de la Ley 1715 de 2014 podrían generar un retorno económico positivo, contribuyendo a la sostenibilidad local y la reducción de la dependencia energética del diésel en las Zonas No Interconectadas.

REFERENCIAS

1. Alhucema, A. & Fuentes, K. E. (2024). Análisis de la política de transición energética en Colombia y sus efectos en las finanzas públicas: caso Distrito de Barrancabermeja. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11634/55252>
2. Almeida, A. V. da C., Melo, I. M., Pinheiro, I. S., Freitas, J. F., & Melo, A. C. S. (2017). Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de Ananindeua/PA: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela PNRS e logística reversa. *Revista Gestão Da Produção Operações E Sistemas*, 12(3), 59. <https://doi.org/10.15675/gepros.v12i3.1668>

3. Araya, P., Fleischmann, M., Reyes, A., González, K., Oyarzún, T., Sánchez, J. I., ... & Rojas, V. (2023). *¿De qué hablamos cuando hablamos de transición energética justa? Articulando múltiples escalas, resoluciones y sentidos*, 65.
4. Barba Ramírez, C. T., Rojas Camargo, L. F., & Ardila Mora, A. (2024). *Generación de biogás a partir de desechos de la agroindustria*.
5. Bertinat, P. (2016). *Transición energética justa: Pensando la democratización energética* (No. 1, p. 13). Friedrich-Ebert-Stiftung.
6. Briceño Álvarez, I. C., Valencia Concha, J. F., & Posso, M. (2015). Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 36(3), 43–53. Fedepalma.
7. Cáceres Méndez, Á. P. (2023). *El rol de los incentivos tributarios en la viabilidad financiera de plantas generadoras de energía a partir de biogás basado en residuos de palma africana en Colombia*.
8. Chávez Porras, Á., & Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2), 90–107. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>
9. Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2016). *Resolución 240 de 2016*. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf159cc866509d3400fb7922b5772641b49nf9/
10. Congreso de Colombia. (2014, mayo 13). *Ley 1715 de 2014*. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf19c95f624359f48cc81295112784446f1nf9/
11. Congreso de Colombia. (2021, julio 10). *Ley 2099 de 2021*. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf13a533c62cc1a438eb4c9aa2a73134372nf9/
12. Corredor, Y. A. V., & Pérez, L. I. P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59–72.
13. De Regalías, P. L. C. D., & El, A. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. *Convocatoria de la asignación para la ciencia, tecnología e innovación del sistema general de regalías para la conformación de un listado de proyectos elegibles que contribuyan a la erradicación de la violencia para la construcción de sociedades más seguras, justas y equitativas de la población en el territorio nacional en el marco del reto 5 del plan bienal*.
14. De Olloqui, F., Chrisney, M. D., Lorenzo, J. J. G., Maffioli, A., Monge-González, R., Netto, M., ... & Rodríguez, C. M. (2013). *Bancos públicos de desarrollo: ¿Hacia un nuevo paradigma?* Banco Interamericano de Desarrollo.

15. Delgado Sánchez, N. (s.f.). *Generación de bioenergía como estrategia de aprovechamiento del potencial energético de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*.
16. Díaz Nieto, J. G., Pardo González, L. A., & Rodríguez Valero, S. F. (2024). *Análisis de estrategias que promueven la adopción de biomasas como fuente de energía en Colombia*.
17. Duarte, S., Loiza, B., Majano, A. M., & Ochs, A. (2021). *De la práctica a la política: Análisis de las barreras a la inversión en biogás en Colombia*. LEDES LAC.
18. Espinosa Mantilla, K. G. (2021). *Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable: Análisis del potencial de la ciudad de Quito* [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador].
19. Falla Cortes, S. (2020). *Evaluación técnico-financiera para la producción del aceite de açai partiendo de los residuos del proceso de despulpado para Green and Inclusive Group SAS* [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América].
<https://hdl.handle.net/20.500.11839/8003>
20. FCDS Colombia. (2023). *Plan de manejo y aprovechamiento forestal de Asaí y Seje en el corregimiento El Capricho, San José del Guaviare*. Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible.
21. Gobernación del Guaviare. (2023). *Programa de gobierno 2023–2027: Guaviare avanza*. Repositorio ESAP.
<https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/20.500.14471/28620>
22. Hernández Gómez, M. S., Castro Rodríguez, S. Y., Giraldo Benavides, B., & Barrera García, J. (2018). *Seje, moriche y açai: Palmas amazónicas con potencial*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
23. Igreja WS, da Silva Martins LH, de Almeida RR, de Oliveira JAR, Lopes AS, Chisté RC. Açai Seeds (*Euterpe oleracea* Mart) Are Agroindustrial Waste with High Potential to Produce Low-Cost Substrates after Acid Hydrolysis. *Molecules*. 2023 Sep 16;28(18):6661. doi: 10.3390/molecules28186661. PMID: 37764435; PMCID: PMC10536898.
24. Lozano Plaza, D. C. (2022). *Aprovechamiento de los residuos de la producción del durazno en Colombia*. [Tipo de documento no especificado].
25. Mendoza Rodríguez, J. E., & Villa Mejía, S. (2023). *Prefactibilidad de una línea de negocio de biodigestores para beneficiar el sector agrícola colombiano*.
26. Mgeni, S. T., Mero, H. R., Mtashobya, L. A., & Emmanuel, J. K. (2024). The prospect of fruit wastes in bioethanol production: A review. *Heliyon*, 10(19).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27112>

27. Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Resolución 40421 de 2021*. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf1d1486c3646de4b97b3a298fb6572c2d9nf9/
28. Muñoz Rodríguez, S., Peña Montaña, I. V., & Zamora Leal, V. (2023). *Metodologías innovadoras para el aprovechamiento de residuos en Colombia*.
29. Petro Urrego, G., & Márquez Mina, F. (2022). *Colombia: Potencia mundial de la vida. Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026*. Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/PND-2023/2023-02-06-BasesPND-2023.pdf>
30. Petro Urrego, G., & Márquez Mina, F. (2023). *Diagnóstico base para la transición energética justa*. Ministerio de Minas y Energía.
31. Pinzón López, J. D. (s.f.). *Cooperación e intercambio de tecnología en la mitigación del cambio climático* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia].
32. República de Colombia. (2017, mayo 26). *Decreto Ley 884 de 2017*. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/normativopaz/normativopaz_bf102f1ca9712c940419082e1c868163d63nf9/
33. Rincón-Velásquez, N. Y., & Castiblanco-Rozo, C. (2021). Políticas y normas sobre energías renovables para el desarrollo de biogás en Colombia: Una revisión. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 98868. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.98868>
34. Rocha-Meneses, L., Luna-delRisco, M., González, C. A., Moncada, S. V., Moreno, A., Sierra-Del Rio, J., & Castillo-Meza, L. E. (2023). An Overview of the Socio-Economic, Technological, and Environmental Opportunities and Challenges for Renewable Energy Generation from Residual Biomass: A Case Study of Biogas Production in Colombia. *Energies*, 16(16), 5901. <https://doi.org/10.3390/en16165901>
35. Rondón Villabona, M. A. (2023). *Bridging the gap between ecosystem services conservation and rural landscape development in post-conflict regions: A case study from San José del Guaviare, Colombia* [Tesis de maestría, Wageningen University].
36. Serra, L., Lorenzo, J. J. G., Smallridge, D., Trabacchi, C., Netto, M., & Buchner, B. (2013). *El rol de los bancos nacionales de desarrollo en catalizar el financiamiento climático internacional*. Banco Interamericano de Desarrollo.
37. Vega de Kuyper, J. C., & Ramírez Morales, S. (2014). *Fuentes de energía: Renovables y no renovables. Aplicaciones*. Alfaomega.