

**ENERGÍAS RENOVABLES EN LA CAFICULTURA COLOMBIANA: ESTRATEGIAS PARA LA  
SOSTENIBILIDAD Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**PRESENTADO A:**

**ELIZABETH LEON VELASQUEZ**

**ELABORADO POR:**

**NAILEA DEL ROSARIO IBARRA CUADRADO**

**JOHAN CAMILO DUQUE ROJAS**

**YOMARY PAOLA VELANDIA BLANCO**

**LAURA JIMENA SALAS SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD EAN**

**ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE PROYECTOS**

**SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN DE POSTGRADO**

**BOGOTÁ**

**NOVIEMBRE/2024**

## **Tabla de Contenido**

<b>Resumen .....</b>	<b>4</b>
<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>6</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>6</b>
<b>Objetivos específicos. ....</b>	<b>6</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>7</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>8</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>18</b>
<b>Enfoque, alcance y diseño de la investigación.....</b>	<b>18</b>
<b>Análisis Documental .....</b>	<b>19</b>
<b>Selección de métodos o instrumentos para recolección de información .....</b>	<b>25</b>
<b>Técnicas de análisis de datos.....</b>	<b>26</b>
<b>Diagnóstico del estado actual de la caficultura, en el departamento del Huila.....</b>	<b>27</b>
<b>Estrategias de Incorporación de energías renovables en la caficultura en el Huila .....</b>	<b>28</b>
<b>Validación las estrategias propuestas por expertos .....</b>	<b>30</b>
<b>Análisis y discusión de los resultados.....</b>	<b>30</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>34</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>36</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>38</b>
<b>Referencias/ Bibliografía.....</b>	<b>39</b>

## **Índice de Tablas**

Tabla 1. técnicas de análisis de datos. Fuente: Propia .....	27
Tabla 2. Expertos entrevistados. Fuente: propia .....	30

## **Índice de Ilustraciones**

Ilustración 1. Diversificación de entradas y salidas en el proceso de digestión anaeróbica. (Barajas J ,2021) .....	19
--	----

## **Resumen**

La caficultura colombiana, especialmente en el departamento del Huila, enfrenta una creciente demanda por adoptar prácticas más sostenibles en respuesta a los desafíos del cambio climático. Actualmente, el sector depende en gran medida de fuentes de energía convencionales, lo que incrementa los costos de producción y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este proyecto de investigación tiene como objetivo proponer estrategias de incorporación de energías renovables en la caficultura del Huila para mejorar la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética. A través de un enfoque cualitativo, se realizará un diagnóstico del estado actual del uso de energía en la caficultura, seguido de la formulación de estrategias que se validarán mediante consultas con expertos en energías renovables y en el sector cafetero. Se espera que los resultados contribuyan a la reducción de la huella de carbono de la caficultura, mejoren su viabilidad económica a largo plazo y promuevan un modelo energético más sostenible para el sector agrícola en Colombia.

## **Palabras clave**

Eficiencia energética, agricultura, sostenibilidad ambiental, caficultura colombiana, energías renovables, transición energética.

## **Planteamiento del Problema**

La caficultura en Colombia es una actividad económica de gran relevancia, tanto a nivel nacional como internacional. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos en términos de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética. La producción de café tradicionalmente ha dependido de fuentes de energía convencionales, lo que no solo incrementa los costos operativos, sino que también contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. Esto

contrasta con la creciente demanda global de prácticas agrícolas sostenibles y la necesidad de mitigar el impacto ambiental del sector. Además, la variabilidad en los costos energéticos y la dependencia de fuentes no renovables amenazan la estabilidad económica de los caficultores, especialmente en un contexto de cambio climático y fluctuaciones de mercado. Por lo tanto, es crucial investigar y desarrollar estrategias que integren energías renovables en la caficultura colombiana. Implementar soluciones energéticas sostenibles no solo tiene el potencial de reducir las emisiones y costos asociados, sino que también puede mejorar la resiliencia económica del sector cafetalero, asegurando su viabilidad y contribuyendo a un futuro más sostenible y ecológico para la industria.

El sector caficultor es una actividad económica de gran importancia para Colombia, representando una significativa fuente de ingresos y empleo para el país. Uno de los principales problemas es la dependencia histórica de la caficultura colombiana en fuentes de energía convencionales y la electricidad generada con recursos no renovables. En los últimos años, Colombia ha aumentado las tarifas de energía eléctrica, sumado a la baja calidad de suministro en las zonas rurales, lo que dificulta la planificación económica de los caficultores, especialmente los pequeños productores, quienes son los más vulnerables a las fluctuaciones del mercado y a las condiciones climáticas adversas. Estos factores crean un círculo vicioso donde la inestabilidad económica impide la inversión en tecnologías más limpias y eficientes, perpetuando la dependencia de modelos energéticos insostenibles. La implementación de energías renovables, como la solar, eólica y biomasa, podría transformar la caficultura colombiana al reducir los costos operativos, disminuir las emisiones de GEI y mejorar la resiliencia económica y ambiental del sector. No obstante, esta transición no está exenta de desafíos, como la falta de infraestructura,

acceso limitado a financiamiento, y la necesidad de capacitar a los caficultores en el uso de nuevas tecnologías.

Al mismo tiempo, hay una creciente demanda por parte de consumidores, reguladores y mercados internacionales para que la producción de café se sume a los principios de sostenibilidad. Los compradores de café en todo el mundo están cada vez más interesados en productos de alta calidad y producidos de manera ambiental y socialmente responsable. Por lo tanto, el problema central de la caficultura colombiana es la necesidad de cambiar hacia un modelo energético más amigable con el medio ambiente que pueda cumplir con las demandas globales de sostenibilidad, además de fortalecer la competitividad y viabilidad económica del sector. ¿Qué estrategias de energías renovables se pueden proponer a la caficultura con el fin de mejorar la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética?

## **Objetivos**

### **Objetivo general.**

Proponer estrategias para incorporar energías renovables a la caficultura colombiana con el fin de mejorar la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética del sector.

### **Objetivos específicos.**

- Diagnosticar el estado actual de la caficultura, en el departamento del Huila.
- Establecer estrategias de incorporación de energías renovables para la población de estudio.
- Validar por consultas de expertos las estrategias propuestas

## **Justificación**

El proyecto de investigación titulado *"Energías Renovables en la Caficultura Colombiana: Estrategias para la Sostenibilidad y la Eficiencia Energética"* responde a la necesidad de mejorar la sostenibilidad y competitividad del sector caficultor en Colombia. La caficultura no solo es una de las actividades económicas más importantes del país, generando empleo e ingresos para miles de familias, sino que también enfrenta serios desafíos derivados de su dependencia en fuentes de energía convencionales. Esta dependencia incrementa los costos operativos y contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), lo que resulta insostenible en un contexto de cambio climático y fluctuaciones del mercado energético.

A medida que la demanda global por productos agrícolas sostenibles crece, se vuelve indispensable que el sector caficultor adopte prácticas energéticas más limpias y eficientes. La transición hacia energías renovables, como la solar, eólica y biomasa, puede reducir significativamente los costos operativos y las emisiones de GEI, y mejora la resiliencia económica de los caficultores, especialmente los pequeños productores, más vulnerables a las fluctuaciones de precios y las condiciones climáticas adversas.

Este proyecto es de particular relevancia para el departamento del Huila, una de las principales regiones productoras de café en Colombia, donde la calidad del suministro energético y los costos elevados de la energía afectan directamente la rentabilidad de los caficultores. La investigación no solo busca diagnosticar el estado actual del uso energético en la caficultura, sino también establecer estrategias viables y sostenibles que integren energías renovables, tomando en cuenta las barreras actuales, como la falta de infraestructura, financiamiento y capacitación.

**Grupo de investigación:** INDIVOS

## **Línea de Investigación:** Energías renovables y eficiencia energética

### **Marco Teórico**

La historia del café en Colombia es tan rica y profunda como el sabor del grano que produce. Desde su introducción por los jesuitas en el siglo XVIII, el café ha tejido una narrativa de transformación económica y social en el país. La exportación de los primeros sacos desde Cúcuta en 1835 marcó el comienzo de una era que vería al café convertirse en un pilar de la economía colombiana. (FNC 2024) Con aproximadamente el 15% del PIB agrícola atribuido a este cultivo, y al rededor del 1% del PIB total del país, el café no solo es una fuente vital de ingresos, sino también un símbolo de la identidad nacional colombiana. (MinAgricultura 2020)

Colombia actualmente es el segundo exportador mundial de café, un testimonio de la calidad y la dedicación de los caficultores colombianos. Los 22 de los 32 departamentos del país que participan en la producción del café reflejan la extensión de su influencia en la geografía nacional. Pero más allá de las estadísticas económicas, el café ha sido un agente de cambio social. Ha contribuido al desarrollo de comunidades rurales, proporcionando no solo empleo sino también una vía para la estabilidad y el progreso. (FNC 2024).

El impacto del café en la reducción de la desigualdad y la mitigación de la violencia refleja su papel en la construcción de la paz y la cohesión social. A través de los años, el sector cafetero ha trabajado para mejorar las condiciones de vida de los agricultores y sus familiares, promoviendo prácticas sostenibles y responsables, la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) ha sido fundamental en este proceso, proporcionando apoyo técnico, financiero y comercial a los caficultores. Carretero, J. M. M. (2024).

El Huila, con su geografía privilegiada y su gente laboriosa, se ha posicionado como un pilar fundamental en la producción de café en Colombia, superando incluso a regiones tradicionalmente reconocidas por su café como Antioquia y Caldas. Este departamento, en el corazón de la región andina y flanqueado por las imponentes cordilleras Central y Oriental, ha sabido aprovechar sus ricos suelos y su clima ideal para cultivar café y productos agrícolas que sustentan su economía. Con más de 86,000 caficultores y cerca de 149,000 hectáreas dedicadas al cultivo del café, El Huila no solo contribuye significativamente a la economía local, sino que también juega un papel crucial en la economía nacional, aportando una parte sustancial de los ingresos generados por la caficultura en el país. (FNC 2023). Aunque Yaguará y Villa vieja no participan en la producción cafetera por sus condiciones climáticas y geográficas específicas, el resto del departamento se une para mantener su liderazgo y la identidad cultural de sus habitantes.

El compromiso del Huila con la sostenibilidad y la rentabilidad de su café es evidente en la atención que demanda de las autoridades en todos los niveles. La creciente tendencia en el consumo de café tanto a nivel nacional como internacional, junto con las condiciones geográficas y climáticas favorables, confirman la posición del Huila como líder en la producción de este preciado grano. La región se enfrenta al desafío de equilibrar los costos de producción con la necesidad de mantener prácticas sostenibles que aseguren la viabilidad a largo plazo de su industria cafetera. (Gobernación Huila 2024).

En este contexto, este departamento se destaca no solo por su capacidad de producción, sino también por su enfoque en la calidad y la sostenibilidad. La inversión en tecnología, la

investigación en prácticas agrícolas sostenibles y la formación continua de sus caficultores son aspectos clave que permiten mantener su reputación como una región cafetera de primer nivel.

Pitalito, como municipio del Huila, se destaca en este panorama como el principal centro de producción de café a nivel nacional, donde la calidad del grano y la eficiencia en los procesos de cultivo y recolección son ejemplares. La integración de prácticas agrícolas sostenibles y el enfoque en la calidad han posicionado al café de Pitalito no solo en el mercado nacional, sino también en el internacional, donde es altamente valorado. Mora Villalobos, C. (2021).

Ya en este punto y después de realizar un contexto amplio del sector en el que queremos impactar, el fin de este ejercicio académico es poder aportar a la sostenibilidad del cultivo en relación con la coexistencia de la energía eléctrica, mediante prácticas energéticas sostenibles y el uso eficiente del recurso, aportando al desarrollo económico del país, al tiempo que se preserva el medio ambiente para las futuras generaciones.

La industria cafetera colombiana no solo se enfoca en el cultivo y procesamiento del café, sino también en la implementación de prácticas ambientalmente responsables. Por ejemplo, el uso de subproductos del café, como la pulpa y el mucílago, se ha convertido en una fuente de biomasa para generar energía, reduciendo así la dependencia de combustibles fósiles y minimizando el impacto ambiental. Además, el país ha avanzado mucho en la generación de energía eléctrica, predominante en fuentes hídricas, que representan aproximadamente el 80 % de la electricidad producida, seguido por la generación térmica con combustibles fósiles. Latín American Post. (2023).

Tradicionalmente se han destacado el departamento de Antioquia y la zona cafetera (departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío), como los principales centros de cosecha y

producción cafetera. Pero a partir del año 2012, el departamento de Huila se convirtió en el principal productor de café de Colombia, según los datos reportados por la Federación Nacional de Cafeteros. En contraste el Eje Cafetero ha perdido participación en la producción. Para el año 2016, los departamentos de Huila, Antioquia, Tolima, Cauca, Valle del Cauca, Caldas, Risaralda, Santander, Cundinamarca y Nariño representan el 86,1% del área cultivada de café en Colombia. Valenzuela, J. (2020).

Hablar de café en Colombia inmediatamente nos remonta a departamentos como Antioquia, Caldas, Risaralda y Quindío, quienes han sido los protagonistas de la actividad cafetera. Pero en la última década, otros departamentos han tenido un proceso de expansión cafetera que los han catapultado a los primeros lugares incluso desplazando a Antioquia como principal productor de café. Estamos hablando del departamento de Huila, que a partir del año 2012 se ubicó como el primer productor de café a nivel nacional. El nuevo 'Eje Cafetero' se desplazó al suroccidente del país, específicamente a los departamentos del Huila, Tolima, Cauca y Nariño, que han pasado en los últimos 10 años, de tener en conjunto un 34% de la producción nacional, a representar casi el 45% del total. Sobre estos cuatro departamentos en clara tendencia productiva creciente, está fundamentada la nueva potencia cafetera de Colombia. (Comité Departamental de Cafeteros, 2018)

La diversificación de la matriz energética incluye también el desarrollo de energías renovables como la solar y la eólica, aunque en menor medida, estas fuentes están ganando terreno y se espera que su participación aumente en el futuro. Este enfoque en la sostenibilidad es crucial, especialmente considerando los desafíos presentados por fenómenos climáticos como el Niño,

que pueden afectar la disponibilidad de recursos hídricos y, por ende, la generación de energía hidroeléctrica. (ONU 2024).

La infraestructura energética en Colombia se diseña para transportar la electricidad desde las centrales de generación hasta los centros de consumo mediante un sistema de transmisión y distribución eficiente. Este sistema asegura que la energía llegue a los hogares, negocios e industrias, incluyendo las fincas cafeteras, donde la electricidad es esencial para operaciones como el beneficio húmedo del café, que separa el grano de la cereza, es por eso, que de acuerdo con lo manifestado anteriormente, la eficiencia energética en la caficultura es un aspecto crucial que puede influir significativamente, ya que el implementar estas prácticas no solo ayuda a reducir los costos de producción, sino que también contribuye a la conservación del medio ambiente. Mora-Delgado, J. R., Ramírez Martínez, C., & Quirós Madrigal, O. (2007)

La caficultura, siendo una de las principales actividades agrícolas a nivel mundial, tiene un impacto ambiental significativo debido a sus prácticas tradicionales de cultivo y procesamiento. Estas prácticas incluyen la deforestación, el uso intensivo de agua y energía, y la emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la adopción de energías limpias, como la solar, la eólica y la biomasa, ofrece una alternativa para mitigar estos efectos, promoviendo un modelo más sostenible de producción de café.

El proceso tradicional de producción de café contribuye considerablemente al cambio climático y a la degradación del medio ambiente. La deforestación para la creación de plantaciones, el uso de agroquímicos y la alta demanda energética en las etapas de procesamiento (como el secado y tostado) generan una huella ecológica considerable. El uso de

combustibles fósiles para alimentar las instalaciones y el transporte también aumenta la emisión de gases contaminantes. (Bunn, 2015).

En la industria del café, la implementación de tecnologías sostenibles es esencial. El uso de paneles solares no solo reduce los costos energéticos, sino que también disminuye la huella de carbono. Además, el compostaje de la pulpa del café genera un abono orgánico valioso que enriquece el suelo. La captura de energía solar para alimentar maquinaria agrícola y sistemas de riego beneficia tanto a los productores como al medio ambiente. (Gaitán A, 2023)

Las energías limpias representan una oportunidad clave para reducir la huella ecológica de la caficultura. Estas energías, que incluyen la solar, la eólica y la biomasa, permiten disminuir la dependencia de combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso de la producción de café, estas energías pueden aplicarse en distintas fases del proceso, como el secado de granos y el manejo de residuos. (Verbruggen, 2010)

En muchas regiones cafetaleras, la energía solar es abundante y puede utilizarse para alimentar sistemas de riego o secado de granos. La implementación de paneles solares en los secaderos puede disminuir significativamente el uso de leña o gas.

Los residuos de café, como la pulpa, pueden transformarse en biogás o compost. El uso de biogás como combustible reduce la cantidad de residuos generados y, a la vez, proporciona una fuente de energía renovable para procesar el café. (Rodas, 2018)

Aprovechar las energías renovables es clave para preservar los ecosistemas cafeteros. No debemos olvidar la importancia de recolectar y almacenar las aguas de lluvia, un recurso valioso en regiones cafetaleras. Este almacenamiento permite un riego eficiente y una gestión más

inteligente de los recursos hídricos. Finalmente, el almacenamiento de energía en baterías garantiza un suministro continuo de energía durante la noche o en días nublados, optimizando la eficiencia de la operación. Juntos, estos enfoques promueven la sostenibilidad y la calidad del café, beneficiando tanto a los agricultores como al planeta. (Gaitán A, 2023)

El departamento del Huila posee una variedad de recursos naturales que pueden ser aprovechados para la generación de energía limpia, incluyendo energía solar, hidroeléctrica, biomasa, geotérmica y eólica. La correcta implementación de estas fuentes de energía puede ayudar a reducir la dependencia de combustibles fósiles, contribuir a la sostenibilidad y generar beneficios tanto ambientales como económicos para la región.

**Energía Solar:** El Huila, por su ubicación en una región intertropical, presenta altos niveles de radiación solar, lo que lo convierte en un área adecuada para la implementación de paneles solares fotovoltaicos. Este recurso es particularmente valioso en zonas rurales, donde la electrificación convencional es limitada. Las condiciones climáticas estables durante gran parte del año aumentan la eficiencia de la energía solar, permitiendo su aplicación tanto a nivel residencial como industrial. (Herrera, J. 2020).

**Energía Hidroeléctrica:** El Huila alberga importantes fuentes hídricas como el río Magdalena, Betania, y otros afluentes que atraviesan el territorio, lo que lo convierte en un punto clave para la generación de energía hidroeléctrica. Actualmente, el departamento cuenta con proyectos hidroeléctricos en marcha, como la central de Betania, y existen oportunidades para desarrollar centrales hidroeléctricas a pequeña escala en comunidades rurales, las cuales tienen menor impacto ambiental y pueden aprovechar los caudales de los ríos locales. (EPM, 2019).

**Biomasa:** La biomasa se encuentra principalmente en los residuos de cultivos agrícolas como el café, la caña de azúcar, el arroz y el maíz. Estos desechos pueden ser utilizados para generar biogás o para producir energía térmica y eléctrica a través de su combustión controlada. Las plantaciones de caña de azúcar, en particular, generan grandes cantidades de bagazo que puede ser transformado en energía, promoviendo un modelo de economía circular dentro del sector agrícola. (Gutiérrez, A., & Pérez, L, 2018)

**Energía Geotérmica:** Este departamento cuenta con una actividad geotérmica considerable, dado que se encuentra cerca del Volcán Nevado del Huila, el cual representa una fuente potencial de energía geotérmica. Aunque su explotación aún no ha sido desarrollada a gran escala, estudios preliminares han indicado que la zona tiene el potencial para generar energía geotérmica de bajo impacto ambiental, lo que podría diversificar la matriz energética del departamento. (Jaramillo, C., & Gómez, M. 2017).

**Energía Eólica:** Aunque el potencial eólico en Huila no es tan alto como en otras regiones de Colombia, algunas zonas montañosas y corredores de vientos en la región sur del departamento podrían aprovecharse para instalar pequeñas turbinas eólicas. Estas áreas, combinadas con otras fuentes de energía renovable, pueden proporcionar energía limpia para comunidades rurales o integrarse a la red eléctrica nacional. (Ortiz, J. 2019).

**Biogás:** El uso de residuos orgánicos y animales como fuente de biogás es una opción viable en el Huila. Las zonas rurales, que se dedican a la ganadería y la agricultura, generan estiércol y residuos agrícolas que, mediante biodigestores, pueden convertirse en biogás. Este recurso es valioso tanto para la generación de electricidad como para calefacción, proporcionando una fuente de energía renovable en áreas de difícil acceso. (Ramírez, J. A., & Suárez, M. 2020).

Por otra parte, se define las energías renovables como fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales inagotables, como el sol, el viento, el agua y la biomasa. A diferencia de las energías fósiles, estas fuentes de energía no emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero ni contaminantes, por lo que se consideran una opción más sostenible y amigable con el medio ambiente. En el contexto agrícola, y específicamente en la caficultura, la adopción de tecnologías basadas en energías renovables ofrece múltiples beneficios, tanto económicos como ambientales, promoviendo prácticas más sostenibles. El sector ha estado explorando nuevas formas de mejorar su eficiencia energética y reducir su huella ambiental mediante la integración de tecnologías de energía renovable. (FAO, 2013)

Una de las fuentes de energía renovables más aplicables y accesibles en la Caficultura son los Paneles Solares fotovoltaicos convierten la luz solar en electricidad que puede utilizarse para las diversas etapas del procesamiento del café, como el secado de granos, el funcionamiento de maquinaria y la iluminación en las instalaciones de producción. Además, los sistemas solares térmicos pueden emplearse para calentar agua usada en el lavado de los granos de café o en otras actividades productivas. (León, 2018)

En zonas donde las condiciones de viento son favorables, la **energía eólica** puede ser otra opción. Los aerogeneradores convierten la energía cinética del viento en electricidad que puede emplearse en las fincas cafetaleras. Aunque su aplicación puede estar más limitada en regiones con baja intensidad de viento, en áreas montañosas, como algunas zonas cafetaleras, los vientos pueden ser una fuente viable de energía renovable. (García, 2019)

En algunas zonas rurales donde existen recursos hídricos, la energía hidráulica a pequeña escala puede ser implementada. Pequeñas turbinas hidráulicas pueden aprovechar el flujo de

ríos y corrientes para generar electricidad, ofreciendo una fuente de energía renovable para las operaciones de las fincas de café. (CIAT, 2015)

Las fuentes de energía convencionales han sido durante mucho tiempo la base de la operación en las fincas cafetaleras, proporcionando energía para el secado de granos, el funcionamiento de maquinarias y el transporte. Sin embargo, estas fuentes presentan varios inconvenientes económicos.

**Altos costos operativos:** Los precios de los combustibles fósiles son altamente volátiles, dependiendo de factores geopolíticos, disponibilidad y demanda en el mercado global. Esto crea una incertidumbre en los costos energéticos que afecta la rentabilidad de las fincas.

**Impacto ambiental:** Los combustibles fósiles contribuyen al calentamiento global y, en algunos casos, los gobiernos están comenzando a gravar las emisiones de carbono, lo que aumenta los costos de operación para los productores que dependen de estas fuentes de energía.. (IFC, 2018).

**Dependencia externa:** Los caficultores dependen de proveedores externos para el abastecimiento de energía, lo que genera vulnerabilidad ante interrupciones en el suministro o aumentos en los precios. (IFC, 2018)

Uno de los principales beneficios económicos de las energías renovables es la reducción significativa de los costos operativos a largo plazo. A pesar de que la instalación inicial de tecnologías como paneles solares o sistemas de biodigestores puede ser alta, los costos de operación y mantenimiento son mucho más bajos en comparación con las fuentes de energía convencionales. (García, 2020).

La adopción de energías renovables reduce la dependencia de proveedores externos de energía, lo que se traduce en mayor seguridad económica. Los caficultores pueden producir su propia electricidad o biogás, lo que les permite evitar el impacto de las fluctuaciones en los precios de los combustibles fósiles y las interrupciones en el suministro energético. Esto es importante en zonas rurales o aisladas, donde el acceso a la energía es limitado o costoso. (Lutz, 2013)

**Costos energéticos predecibles:** Las energías renovables permiten que los caficultores tengan un mayor control sobre sus costos energéticos, ya que la producción de energía depende de fuentes naturales y no del mercado de combustibles fósiles. Esto facilita la planificación financiera a largo plazo. (Suarez. L, 2020).

## **Metodología**

### **Enfoque, alcance y diseño de la investigación**

Para este proyecto, se propone una metodología cualitativa que permitirá obtener una comprensión profunda del contexto y las necesidades del sector, iniciando con una revisión exhaustiva de estudios previos, informes gubernamentales y de organizaciones no gubernamentales sobre la caficultura en Huila, así como de literatura académica relacionada con el uso de energías renovables en la agricultura.

El diseño de investigación para establecer estrategias de energías renovables en la caficultura en el departamento del Huila debe enfocarse en la recolección y análisis de información que permita comprender las experiencias, opiniones y percepciones de los actores clave involucrados en la caficultura y la posible adopción de energías renovables.

## Análisis Documental

Para este proyecto el enfoque cualitativo se basa en información secundaria, de casos propuestos de energías renovables en la caficultura, como a continuación se detalla en el proyecto “*Modelo circular de aprovechamiento de la biomasa residual de café en Colombia*”, que se basa en el aprovechamiento de los subproductos residuales generados durante el procesamiento del café. Y que ha servido como guía para proponer una de las estrategias para nuestro proyecto.

### Modelo circular basado en el aprovechamiento de la biomasa residual de la producción de café

Para este modelo fue tomado como referencia una finca del eje cafetero colombiano la cual pertenece al 95% de los caficultores de la región. El propósito del modelo es maximizar el aprovechamiento energético del recurso, reduciendo el desperdicio. Este enfoque se enmarca en un proceso ecoeficiente, basado en un modelo circular que contempla el ciclo de vida completo del producto como se puede apreciar en la siguiente figura x:

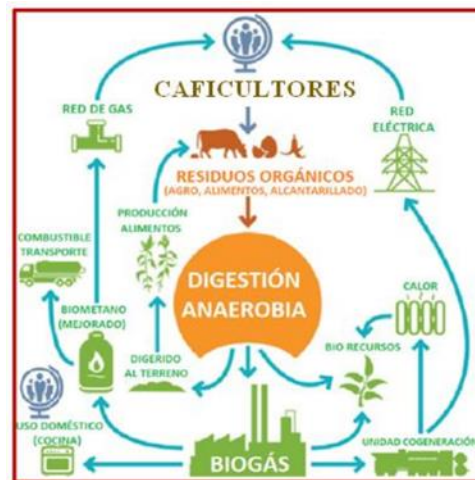


Ilustración 1. Diversificación de entradas y salidas en el proceso de digestión anaeróbica. (Barajas J, 2021)

Entre los beneficios de implementar modelos sostenibles de ciclo cerrado se destaca la generación de energía para autoconsumo, tanto en forma de biogás como de energía eléctrica. Esto reduce la dependencia de combustibles fósiles, ya que el objetivo principal de estos modelos es la autogeneración de energía para satisfacer las propias necesidades de producción.

El aprovechamiento efectivo de este recurso depende fundamentalmente de la adecuada selección previa del residuo para poder dimensionar su potencial. Diversos estudios coinciden en que el biosólido posee un alto valor nutricional, especialmente útil para la fertilización de suelos. Asimismo, el biogás generado puede ser empleado de distintas formas, como combustible para la cocción de alimentos en el hogar o para pequeños procesos industriales, lo que constituye el enfoque principal de este modelo. (Barajas J, 2021)

Según datos publicados por Houbron, Cano, Reyes y Rustrian (2007), “la pulpa de café presenta un contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de 16,5 a 18,3 por ciento, 9,5 a 11,6 por ciento y 17,5 a 20,5 por ciento, respectivamente, lo cual en promedio representa un 30 por ciento de materia orgánica difícilmente disponible para las bacterias bajo las condiciones de un tratamiento anaerobio”. Además, luego de caracterizar las aguas residuales del beneficio del café reportaron que la presencia de cafeína, el pH ácido y su alta fermentabilidad limitan las posibles aplicaciones para su uso en alimentación, riego o transporte de sustrato para un proceso de biotecnología. Esta situación convierte a dichas aguas residuales y a la pulpa de café en un material altamente contaminante de aguas y suelos, aunado a los procesos de fermentación que generan malos olores y proliferación de vectores en el ambiente.

Según el proyecto de trabajo de grado para optar al título de magister en energía y sostenibilidad de estudiantes de la Universidad Pontificia bolivariana, en el que se propuso un modelo circular de aprovechamiento energético proveniente de la biomasa residual de café en Colombia, ya que en la producción del café se generan subproductos tales como: pulpa, cáscara, mieles que ocasionan un aporte en la contaminación orgánica, observable en la concentración de materia suspendida, como también en la generación de olores desagradables, turbidez y pérdida de la calidad del agua y suelo cuando son arrojados directamente a estos ecosistemas,

lo que genera una problemática ambiental. En este proyecto quisieron abordar el aprovechamiento energético de los residuos del café, para la obtención de biogás con miras a satisfacer la demanda energética en lo que a gas se refiere identificando con ello las necesidades energéticas de las fincas del Eje Cafetero (Caldas, Quindío y Risaralda) para sus procesos domésticos internos e industriales y por otro lado el aprovechamiento agrológico de la biomasa (digerida) en dichas fincas. La producción de biogás a partir de biomásas residuales genera una serie de co-beneficios, que van desde el incremento de la producción de bioabonos, a partir del biosólido y su consecuente aporte a la fertilización de suelos, la sustitución de combustibles fósiles como fuente de energía y la reducción de la disposición de biomásas residuales, así como su disposición final en rellenos sanitarios, en el mejor de los casos cuando en éstos se realiza aprovechamiento energético de los residuos mitigando las emisiones de metano a la atmósfera, realizan en conjunto un aporte significativo a la meta de reducción de gases de efecto invernadero. (UPME U. N., 2018).

Al finalizar el proyecto estas fueron las conclusiones: Es necesario que se reconozca el potencial y las diversas oportunidades de mejora a partir del aprovechamiento de la biomasa residual del café como una fuente no convencional de energía renovable de interés nacional y, por ende, se generen iniciativas de promoción de este recurso por medio de su uso eficiente para con ello lograr el aprovechamiento integral de este subproducto agrícola. (Barajas, J. A. 2021.)

La implementación de proyectos de biomasa bajo modelos de ciclo de vida circular tiene un triple beneficio enmarcado en: solución energética renovable que conduzca a una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera, producción sostenible de biogás orientado principalmente a satisfacer las necesidades energéticas primarias y la producción de

cultivos sostenibles mediante el aprovechamiento del biosólido como fuente principal de fertilizante para los cultivos. (Barajas, J. A. 2021).

En diversas investigaciones realizadas en varios países de Latinoamérica, se demostró que resulta factible implementar proyectos de biogás ya que estos no necesitan de una gran inversión en infraestructura y son más fáciles de construir y mantener por comunidades rurales donde la gente no tiene acceso a las fuentes convencionales de energía. (Barajas, J. A. 2021).

la implementación de biodigestor de bajo costo del tipo tubular es un sistema sencillo y práctico que incide positivamente en varios aspectos sobre la vida familiar, económica y productiva de los pequeños y medianos agricultores, sin llegar a ser una solución a todos los problemas de su entorno, eso sí, no deja ser un modelo de aprovechamiento que aporta multitud de significativas mejoras a su actividad. RedBioLAC, 2020.

La implementación de proyectos de biomasa bajo modelos de ciclo de vida circular tiene un triple beneficio enmarcado en: solución energética renovable que conduzca a una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera, producción sostenible de biogás orientado principalmente a satisfacer las necesidades energéticas primarias y la producción de cultivos sostenibles mediante el aprovechamiento del biosólido como fuente principal de fertilizante para los cultivos. (Barajas, J. A. 2021).

### **Energía solar en Colombia**

La energía solar se transforma en la naturaleza en otras formas de energía, como biomasa y energía eólica, pero también se puede transformar a otras formas de energía como calor y electricidad. Las aplicaciones más difundidas en Colombia son el calentamiento de agua -para uso doméstico, industrial y recreacional (calentamiento de agua para piscinas)- y la generación

de electricidad a pequeña escala. Otras aplicaciones menos difundidas son El secado solar de productos agrícolas y la destilación solar de agua de mar u otras aguas no potables. (Rodríguez Murcia, Humberto. 2008).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, mediante el documento “Pasos hacia la Modernización en el Sector Rural: La Energización como Polo Central” FAO (1998), plantea que en Latinoamérica y el Caribe, el sector rural es usuario y productor de energía. Si se tiene en cuenta el concepto de cadena agroempresarial, cada agente económico requiere del uso de energía: la siembra, el regadío, la cosecha, el transporte, hasta que lleguen los productos al usuario final. La energía fotovoltaica favorece la posibilidad de elaborar e instalar sistemas tecnológicos viables que cumplan el requisito de suplir necesidades específicas como iluminación, comunicaciones y medios audiovisuales para escuelas y centros comunales, y refrigeración para medicinas en los centros de salud. Lo anterior facilita la inclusión de los servicios de energía solar en programas de desarrollo sanitarios (promoción de agua potable para consumo), agrícolas (irrigación y micro riegos), educativos y económicos. Por lo tanto, se debe tener alguna forma de energía ambientalmente eficiente que brinde posibilidades de una agricultura sostenible a las comunidades rurales. En este documento la FAO hace un llamado para incentivar las energías renovables como alternativas a mediano y largo plazo, con la intención de disminuir la pobreza y aumentar la calidad de vida de los habitantes en sectores rurales. (Ladino, R. E. 2011)

Entre los recursos renovables se encuentra la energía solar como posible solución energética en sistemas térmicos y fotovoltaicos para el área rural colombiana; sin embargo y siguiendo a Opazo (2004), “el costo de los sistemas solares es alto, pero a medida que se

incrementa su uso, los precios son más competitivos, lo que hace que la energía solar empiece a ser atractiva para soluciones energéticas rurales (Ladino, R. E. 2011)

La energía solar como fuente inagotable es un desafío para la técnica y la ingeniería; al captarla para fines de transformación busca elevar la calidad de vida para los habitantes citadinos y rurales, dejando un ambiente más amigable para las futuras generaciones. La radiación es la emisión de ondas electromagnéticas que se desplazan desde el sol y que llegan a la superficie terrestre en forma de rayos solares, los cuales tienen diferentes longitudes de onda; de acuerdo con Perales (2006) 32 la banda radiante visible es del 47% de la radiación total, los infrarrojos el 46% y los ultravioletas el 7%. De estos, los rayos solares que inciden directamente son los aprovechables mediante el brillo solar - número de horas en el cual el sol brilla en una zona determinada- y es medida través de la irradiancia. La transformación de la radiación electromagnética en electricidad se logra a través de la célula fotovoltaica. Los materiales más utilizados son los semiconductores, siendo el silicio el más difundido en el efecto fotovoltaico. La célula fotovoltaica une dos semiconductores generando un campo eléctrico debido a la difusión de los electrones; esta célula transforma la energía de la radiación solar en corriente eléctrica. Las aplicaciones generales de este tipo de energía en zonas rurales tienen que ver con electrificación rural de viviendas, sistemas de abastecimiento de agua, comunicaciones, centros de salud, iluminación, refrigeración de medicinas y neveras. Es así como "Los sistemas de energía solar fotovoltaica, además de la energía eólica y otras aplicaciones de energía renovable, son la única solución técnicamente viable para suministrar la energía necesaria a las comunidades rurales aisladas" afirma Gustavo Best, Coordinador Principal de Energía de la FAO. "Pequeñas cantidades de energía pueden representar una gran diferencia al mejorar la vida rural,

incrementar la productividad agrícola y crear nuevas oportunidades de ganar ingresos. (Ladino, R. E. 2011)

Según (Ladino, R. E. 2011) al considerar los proyectos fotovoltaicos en zonas rurales colombianas se debe tener en cuenta la inversión inicial, el costo promedio de generación y la recuperación para alcanzar el punto de equilibrio, el cual se alcanza en promedio entre nueve y trece años. Se debe considerar el costo de generación eléctrica contra el costo fotovoltaico. Los insumos fotovoltaicos, aunque sus precios están bajando, todavía no son competitivos frente a otras fuentes de energía. Las fuentes de financiamiento para este tipo de proyectos son muy pobres; los bancos nacionales, las entidades de fomento deberían establecer préstamos blandos y de fácil adquisición para el campesino.

Los sistemas de energía FV pueden ser una estrategia positiva que ayude al desarrollo de las comunidades rurales a las cuales es muy difícil prestar un servicio eficiente de energía eléctrica; este sistema de energía requiere de inversiones que pueden ser asumidas por sectores económicos fuertes como alcaldías municipales, ONGS, cooperación internacional y empresarios. (Ladino, R. E. 2011)

### **Selección de métodos o instrumentos para recolección de información**

Para nuestro proyecto optamos por diseñar el instrumento para la recolección de información, en este caso (Entrevistas), en las que identificaremos las áreas de interés en la investigación, como la sostenibilidad energética, eficiencia, costos y barreras. La entrevista permite obtener información cualitativa, detallada y contextualizada, que es fundamental para diagnosticar el estado actual de la caficultura, proponer estrategias de incorporación de energías renovables y validar dichas estrategias a través de consultas a expertos. Además, su

flexibilidad y capacidad para captar perspectivas profundas aseguran que las soluciones propuestas sean tanto realistas como efectivas. Los expertos pueden proporcionar experiencias y conocimientos especializados que no se podrían captar con otros métodos como encuestas o cuestionarios cerrados. Además, los entrevistados pueden reflexionar sobre las estrategias propuestas, proporcionando retroalimentación específica y sugerencias para mejorarlas, lo que es crucial para la validación de estrategias en este proyecto. (Ver formato de entrevista diseñada en anexos.)

### Técnicas de análisis de datos

Instrumento de Recolección de Datos	Técnica de Análisis	Descripción de la Técnica
Entrevista	Análisis del discurso	Se analiza el lenguaje utilizado por los expertos para entender las percepciones, creencias y actitudes hacia las energías renovables en la caficultura. Esta técnica permite explorar cómo los expertos estructuran su discurso y qué narrativas predominan sobre los beneficios o desafíos de la implementación.
Entrevista	Triangulación de datos	La triangulación se utiliza para comparar y contrastar las respuestas de diferentes expertos, verificando la consistencia de los datos y asegurando la validez de las conclusiones. Se combina la información de diferentes

		entrevistados para construir una visión más robusta sobre las estrategias propuestas.
--	--	---

Tabla 1. técnicas de análisis de datos. Fuente: Propia

### **Diagnóstico del estado actual de la caficultura, en el departamento del Huila.**

La caficultura en el Huila tiene un gran potencial para la sostenibilidad, actualmente lidera la producción a nivel nacional con 16% por encima de departamentos como Antioquia, Caldas, Cauca y Tolima; aunque enfrenta desafíos significativos como la falta de innovación y las extremas condiciones climáticas. Este sector, que abarca una amplia extensión de cafetales con un promedio de 148,090 y 86,227 caficultores según el Sistema de Información Cafetera (SICA 2024) de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), es un motor que dinamiza la economía regional vital que proporciona ingresos directos e indirectos a muchas familias. La alta calidad del café del Huila, reconocida internacionalmente, es un activo valioso. Existen numerosas iniciativas actuales que buscan mejorar la sostenibilidad, como proyectos de reforestación y el uso de fertilizantes orgánicos. No obstante, el cambio climático impone retos adicionales, afectando las precipitaciones y temperaturas, y aumentando la incidencia de plagas y enfermedades, lo que obliga a los caficultores a adaptar sus prácticas.

En cuanto a la eficiencia energética, el Huila muestra un gran potencial para mejorar la sostenibilidad del sector. La implementación de tecnologías energéticamente eficientes, como el uso de energía solar para el secado del café y el aprovechamiento de residuos generados en el proceso de producción, puede reducir costos y mejorar la competitividad. A pesar de estos desafíos, las proyecciones a futuro son alentadoras, con el aumento de la productividad, la adopción de nuevas tecnologías y la expansión a nuevos mercados y/O comercios justos, los

cuales proyectan una caficultura más sostenible, consciente y amigable con el medio ambiente, entornos y comunidades.

### **Estrategias de Incorporación de energías renovables en la caficultura en el Huila**

La caficultura en el Huila depende de recursos energéticos para realizar diversas actividades productivas, desde el riego hasta el procesamiento de los granos. El costo de la energía, así como su impacto ambiental, ha llevado a buscar soluciones más sostenibles. A continuación, se plantean algunas estrategias:

**1. Instalación de Paneles Solares Fotovoltaicos en las fincas cafetaleras:** Permitirá a las fincas generar su propia electricidad a partir de la energía solar, aprovechando el gran potencial solar de esta región. Los paneles solares convierten la radiación solar en energía eléctrica la cual puede ser utilizada para iluminación de instalaciones, operación de sistemas de riego, operación de equipos de procesamiento de café, refrigeración de productos, almacenamiento, entre otros.

La implementación de esta estrategia reducirá significativamente los costos de electricidad en las fincas, las emisiones de gases de efecto invernadero al generar electricidad sin liberar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ni otros gases que contribuyen al calentamiento global, no se producirá contaminantes atmosféricos como óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre u otras partículas que afectan la calidad del aire, disminuirá la dependencia de combustibles fósiles, reduciendo la huella de carbono en las fincas y la contaminación auditiva ya que los paneles solares generan energía de forma silenciosa.

**2. Incorporación de Secadores Solares para el Procesamiento del Café:** El secado del café es una etapa fundamental en la cadena de producción, ya que influye directamente en la calidad final del grano. Implementar secadores solares es una estrategia clave para mejorar la sostenibilidad ambiental del proceso de secado, ya que estos sistemas permiten reducir significativamente las

emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases contaminantes derivados de métodos tradicionales que utilizan combustibles fósiles.

Los secadores solares funcionan captando la energía del sol para deshidratar los granos de café de manera más eficiente. Existen dos tipos principales de secadores solares:

-Secadores Solares Directos: En estos sistemas, los granos de café se colocan directamente en un espacio donde están expuestos al calor captado por una estructura cubierta con materiales transparentes, como invernaderos. La radiación solar entra y calienta el aire, que circula sobre los granos, acelerando el proceso de secado de forma natural. (Cenicafé, 2022).

-Secadores Solares Indirectos: El aire es calentado por un colector solar que no está en contacto directo con los granos. El aire caliente se canaliza hacia una cámara donde se encuentran los granos, lo que permite un secado más controlado. Al evitar la exposición directa al sol, este método reduce el riesgo de secado excesivo o irregular y protege mejor la calidad del café. (Cenicafé, 2022).

Los dos tipos de secadores contribuyen a un proceso de secado más homogéneo y sostenible, lo que no solo mejora la calidad del grano final, sino que también reduce el uso de recursos energéticos no renovables y la huella de carbono en la producción de café.

**3. Aprovechamiento de Biomasa para Generación de Biogás:** Teniendo en cuenta que la caficultura produce grandes cantidades de residuos durante el procesamiento del café, especialmente de la pulpa de café y que estos representan un reto ambiental debido a la contaminación y el mal manejo, se plantea esta estrategia para que estos residuos sean transformados en recursos energéticos mediante digestores de biogás.

Esta tecnología permitirá convertir los residuos orgánicos en energía limpia, mejorando tanto la eficiencia energética como la gestión ambiental de las fincas cafetaleras. El biogás se

produce mediante un proceso biológico en el que microorganismos descomponen material orgánico en ausencia de oxígeno, generando una mezcla de gases, principalmente metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este gas puede ser utilizado como fuente de energía para generar calor o electricidad. Con la implementación de esta estrategia se reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, se gestionan de manera eficiente los residuos y las fincas pueden reducir su dependencia de combustibles fósiles al generar energía de manera local y sostenible.

### Validación las estrategias propuestas por expertos

Encuestado	Nombre	Profesión	Cargo
1	Jesús Manuel Epalza	Microbiólogo, Magister en sistemas energéticos avanzados, Doctor en recursos energéticos renovables	Microbiólogo investigativo- Docente Universitario
2	Carlos Alberto Becerra Lebaza	Ingeniero Agrónomo	Coordinador de extensión Seccional Garzón - Huila. Federación Nacional de Cafeteros (FNC).
3	Alexander Morales Guerrero	Ingeniero Industrial	Administrador de finca caficultora (El café de mi tierra)
4	Valentina Vanegas:	Ingeniera agroindustrial	Consultor en el sector agropecuario, experta en transformación e industrialización sostenible en la cadena de suministro del café

Tabla 2. Expertos entrevistados. Fuente: propia

Ver en anexos el enlace de las respuestas de expertos.

### Análisis y discusión de los resultados

A partir de las respuestas obtenidas en las entrevistas realizadas a expertos en temas energéticos y de caficultura, se puede tener un análisis significativo sobre el estado actual de la

sostenibilidad energética en el sector cafetalero colombiano, específicamente en el departamento del Huila. A continuación, se presentan los análisis correspondientes:

retos en términos de sostenibilidad energética. Se describe un estado escaso en cuanto a la implementación de prácticas energéticas sostenibles, destacando una falta de infraestructura y de apoyo gubernamental en este ámbito. Además, la tradición y el uso de métodos convencionales en las fincas prevalecen, y la falta de capacitación y financiamiento resulta en una baja adopción de tecnologías renovables.

- **Diagnóstico del Estado Actual de la Sostenibilidad Energética en la Caficultura**

Los expertos coinciden en que la caficultura en Colombia enfrenta grandes retos en términos de sostenibilidad energética. Se describe un estado escaso en cuanto a la implementación de prácticas energéticas sostenibles, destacando una falta de infraestructura y de apoyo gubernamental en este ámbito. Además, la tradición y el uso de métodos convencionales en las fincas prevalecen, y la falta de capacitación y financiamiento resulta en una baja adopción de tecnologías renovables.

- **Principales Barreras para la Adopción de Energías Renovables**

La mayoría de los expertos identifican obstáculos financieros como una barrera crítica para la adopción de energías renovables. Los altos costos iniciales de instalación de tecnologías como paneles solares y biodigestores dificultan la transición. También se menciona una barrera cultural, dado que muchos caficultores se resisten al cambio debido a su apego a métodos tradicionales (como el uso de leña en la cocción). Otros factores importantes son la falta de

transferencia de tecnología y la accesibilidad limitada a financiamiento y apoyo técnico en zonas rurales.

- **Familiaridad con Energías Renovables**

Se observa un bajo nivel de familiaridad de los caficultores con las energías renovables, atribuido principalmente a la falta de programas educativos y a la carencia de conocimientos prácticos en la implementación de estas tecnologías. Aunque algunos caficultores están al tanto de opciones como la energía solar y el biogás, el conocimiento sigue siendo teórico, y no existe una clara comprensión de los beneficios y los procesos de instalación y mantenimiento.

- **Fuentes de Energía Renovables Adecuadas para el Sector**

Entre las fuentes de energía renovable que los expertos consideran más viables para el sector caficultor destacan la energía solar y el biogás, debido a su adaptabilidad a las condiciones rurales y su capacidad para reducir costos y emisiones. La energía solar, en particular, se propone para el beneficio del café y las necesidades energéticas en las fincas. Sin embargo, un experto mencionó también la energía mini-hidráulica potencial alternativa. Se reconoce que estas tecnologías requieren un enfoque local y personalizado para su implementación efectiva en distintas regiones.

- **Estrategias para Sensibilizar y Educar a los Caficultores**

Los expertos sugieren que las prácticas de capacitación, como talleres de instalación y mantenimiento, serán las estrategias más efectivas para educar a los caficultores sobre los beneficios de las energías renovables. Además, destacan la importancia de fincas demostrativas o pilotos que permitan observar los resultados en tiempo real y validar la efectividad de las nuevas tecnologías. También se considera necesario el apoyo de federaciones, ONG y entidades

educativas para facilitar estos programas de capacitación y crear redes de apoyo en las comunidades.

- **Validación de la Viabilidad y Sostenibilidad de las Estrategias Propuestas**

En general, los expertos validaron las estrategias propuestas como viables y sostenibles, siempre y cuando se asegure una capacitación adecuada y se brinde apoyo económico para la inversión inicial. Además, se hizo énfasis en la necesidad de adaptar las estrategias a las condiciones de cada región, teniendo en cuenta factores como el acceso a infraestructura y la geografía. La mayoría coincide en que las energías renovables podrían reducir la dependencia de las fincas de fuentes convencionales de energía, contribuyendo a la sostenibilidad del sector.

- **Ajustes y Recomendaciones para Mejorar la Efectividad de las Estrategias**

Como ajustes a las estrategias, los expertos recomiendan una mayor integración de universidades, asociaciones de caficultores y organismos gubernamentales. Además, se sugiere la implementación de incentivos financieros, como créditos de bajo interés, para facilitar la adquisición de tecnologías renovables. Un experto destacó la importancia de adaptar los contenidos de los talleres a las realidades de los caficultores y proporcionar incentivos a corto plazo que generen impacto visible y fomenten la aceptación.

- **Mensajes Finales a Actores Clave**

Finalmente, los expertos enfatizan la necesidad de colaboración entre el gobierno, los productores y las asociaciones para asegurar la transición hacia un futuro sostenible en la caficultura colombiana. La articulación de esfuerzos y la creación de políticas de apoyo en la promoción de energías renovables y prácticas sostenibles se reconocen como claves para el éxito a largo plazo.

## **Conclusiones**

El diagnóstico realizado revela un panorama desafiante para la caficultura en el Huila, donde la dependencia de fuentes de energía convencionales y los elevados costos energéticos afectan significativamente la rentabilidad de los caficultores. La mayoría de los caficultores continúan dependiendo de fuentes de energía convencionales, especialmente electricidad generada a partir de recursos no renovables. Esta dependencia no solo aumenta los costos operativos sino que también contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero. A pesar del potencial de recursos energéticos renovables en la región, como la energía solar y el aprovechamiento de la biomasa, la adopción de estas tecnologías es limitada debido a la falta de infraestructura, conocimiento técnico y financiamiento adecuado. El diagnóstico resalta la necesidad urgente de intervenciones para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad del sector.

Las estrategias propuestas para incorporar energías renovables que son viables y alineadas con las necesidades de los caficultores del Huila, ofrecen múltiples beneficios, como la reducción de costos energéticos, la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora en la eficiencia de los procesos de producción de café. En conjunto, estas estrategias representan un camino viable hacia una caficultura más competitiva y sostenible, demostrando que la inversión en tecnologías renovables no solo es ambientalmente responsable, sino también económicamente ventajosa a largo plazo.

La validación de las estrategias mediante consultas con expertos en energías renovables y en caficultura ha permitido corroborar su viabilidad y potencial impacto positivo en el sector. Los expertos coincidieron en que las soluciones planteadas son adecuadas para las condiciones

específicas del Huila, destacando la energía solar y el biogás como las opciones más prometedoras para reducir costos y mejorar la sostenibilidad. Sin embargo, señalaron la necesidad de superar barreras importantes como la falta de acceso a financiamiento y la capacitación técnica de los caficultores. La aceptación de las propuestas por parte de los expertos respalda la idea de que, con el apoyo adecuado y la correcta implementación, estas estrategias pueden contribuir significativamente a la transición energética del sector caficultor en Colombia, promoviendo un desarrollo agrícola más sostenible.

## **Recomendaciones**

El estado actual de la caficultura en el departamento del Huila es altamente prometedor, con una producción sobresaliente que ha consolidado a la región como líder nacional durante 14 años consecutivos. Para fortalecer y mantener este liderazgo, se recomienda una serie de acciones estratégicas: invertir en tecnologías avanzadas, proporcionar capacitación continua a los caficultores en prácticas sostenibles, participar en ferias internacionales para promover el café huilense, y asegurar que las ganancias beneficien directamente a los productores. Además, es esencial fomentar la adopción de tecnologías de energía renovable, como la energía solar, y capacitar a los caficultores sobre el uso eficiente de la energía eléctrica, lo que no solo reducirá los costos de producción sino también contribuirá a la sostenibilidad ambiental del sector. Estas medidas asegurarán la calidad y sostenibilidad del café huilense a largo plazo, reafirmando su posición destacada en la producción nacional.

Para llevar a cabo las estrategias de incorporación de energías renovables en la caficultura del Huila, es importante desarrollar un programa que combine aprendizaje, sensibilización ambiental y apoyo práctico, donde los caficultores participen activamente en cada etapa. En este programa se debe explicar los retos del cambio climático y las ventajas de usar energías renovables, resaltando los beneficios económicos, sociales y ambientales. Además, se recomienda organizar actividades prácticas, como visitas a proyectos piloto, para que los caficultores puedan ver de primera mano los resultados positivos y entender cómo aplicarlas en sus propias fincas. De esta manera, se facilita una transición gradual hacia el uso de energías limpias, fortaleciendo al sector caficultor y contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

Validar con expertos las ideas para incorporar energías renovables en la caficultura del Huila es fundamental para garantizar que sean prácticas, se adapten a las necesidades de la región, sean sostenibles a largo plazo, cumplan con las leyes y permitan innovar. Para lograrlo, es importante consultar a personas con experiencia en energía, agricultura y medio ambiente, realizar reuniones con los caficultores para conocer sus necesidades y opiniones, y probar las estrategias a pequeña escala antes de aplicarlas en toda la región. Además, se recomienda colaborar con universidades y centros de investigación especializados, y establecer un sistema para revisar y mejorar las ideas según los resultados obtenidos. Esto ayuda a evitar problemas, facilita la aceptación de los caficultores y aumenta las posibilidades de conseguir apoyo financiero, beneficiando así a toda la región cafetera.

## Anexos

1. Enlace Formato entrevista a expertos

<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=WbVvwGgbhEuhT0fQ2DelqxDZoW89n9EvjTdOaBbpsdURDUyM0FHTkFVMFhZM1VaR1IMQ1Y2VTdXSC4u>

2. Enlace Formato respuesta de expertos

<https://forms.office.com/Pages/DesignPageV2.aspx?subpage=design&FormId=WbVvwGgbhEuhT0fQ2DelqxDZoW89n9EvjTdOaBbpsdURDUyM0FHTkFVMFhZM1VaR1IMQ1Y2VTdXSC4u>

## Referencias/ Bibliografía

- Bejarano Cárdenas, N. B. (2016). Determinantes y aportes de la caficultura al bienestar. *Universidad Nacional de Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57687/161024.2016.pdf?sequence=1>
- Barajas J, (2021). Modelo circular de aprovechamiento de la biomasa residual de café en Colombia: Recuperado de: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/61847>
- Barzolata, A (2020). Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en jaén-perú. Recuperado de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S230904132020000100107](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S230904132020000100107)
- Bunn, C., et al. (2015). "Climate change adaptation in coffee production: A stepwise approach for assessing the risks of coffee production to climate change." *Climatic Change*, 129(1-2), 89-101.
- Carretero, J. M. M. (2024). ¿Café para todos? El impacto social de las medidas contra la inflación. *Mediterráneo económico*, (38), 185-202.
- EPM (2019). "Central Hidroeléctrica de Betania: Desarrollo sostenible en Huila". *Informe de Energía Renovable*.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2023). La sostenibilidad de la caficultura colombiana. Recuperado

de:<https://federaciondecafeteros.org/static/files/la%20sostenibilidad%20de%20la%20caficultura%20colombiana-%20Cadena%20Gabriel.pdf>

- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2023). Café de Huila. Recuperado de <https://huila.federaciondecafeteros.org/cafe-de-huila/>
- Gaitán, A. (2023). Uso de paneles solares en el beneficio del café: <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/memorias/article/view/717>
- Gutiérrez, A., & Pérez, L. (2018). "Aprovechamiento de residuos agrícolas para la generación de biogás en el suroeste colombiano". *Revista de Energías Renovables*
- Gobernación del Huila. (2020). Caficultura huilense sigue creciendo. Recuperado de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/10606/caficultura-huilense-sigue-creciendo>.
- Herrera, J. (2020). "Evaluación del potencial solar en el suroeste colombiano". *Revista Energía y Sostenibilidad*.
- Jaramillo, C., & Gómez, M. (2017). "Potencial geotérmico del Volcán Nevado del Huila". *Estudios Colombianos de Energía Sostenible*.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020, diciembre 2). Cosecha cafetera 2020. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Cosecha-cafetera-2020.aspx>
- Latín American Post. (2023). La industria cafetera colombiana navega por la sostenibilidad, la innovación y las tormentas globales. Recuperado de <https://latinamericanpost.com/es/negocios-y-finanzas/la-industria-cafetera-colombiana-navega-por-la-sostenibilidad-la-innovacion-y-las-tormentas-globales/>

- Mora Villalobos, C. (2021). La innovación tecnológica y social en la producción de café: estudio de caso en el municipio de Pitalito-Huila (Colombia). Universidad Nacional de Colombia. [La innovación tecnológica y social en la producción de café: estudio de caso en el municipio de Pitalito-Huila \(Colombia\) \(unal.edu.co\)](http://unal.edu.co)
- Mora-Delgado, J. R., Ramírez Martínez, C., & Quirós Madrigal, O. (2007). Mano de obra, análisis beneficio-costo y productividad de la energía en la caficultura campesina de Puriscal, Costa Rica. Cuadernos de Administración, 20(33), 79-101. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-35922007000100004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922007000100004)
- Naciones Unidas. (s.f.). Energías renovables: energías para un futuro más seguro. Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>.
- Ortiz, J. (2019). "Evaluación de micro parques eólicos en el sur de Colombia". *Revista de Energías Alternativas*.
- Prado, A. (2019). Effectiveness of a Coffee Drying Process Using Solar Dryers with a Continuous Air Flow System Powered by Photovoltaic Energy, in the San Martín Region, Peru. Recuperado de: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000600085&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000600085&script=sci_arttext)
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2015). "Coffee Agroecology: A New Approach to Understanding Agricultural Biodiversity, Ecosystem Services, and Sustainable Development." *Energy Policy*, 38(2), 850-861.

- Ramírez, J. A., & Suárez, M. (2020). "Biodigestores rurales en Colombia: una alternativa energética". *Revista Colombiana de Energía Rural*.
- Ramírez González, C. T. (2016). La producción de café de alta calidad y los impactos generados en el ámbito social, ambiental y económico en Colombia. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*.  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/17517/12279824.pdf?sequence=1>
- Rodas, A. M., & Martínez, G. (2018). "Uso de biomasa en la caficultura: experiencias en fincas sostenibles." *Journal of Renewable Energy*, 42, 14-26.
- [https://a14438-13176448.cluster99.canvas-user-content.com/courses/14438~23010/files/14438~13176448/course%20files/Ambiente%20de%20aprendizaje/AVA-C3-2022/OVAS/gu02\\_ob09/gu02\\_ob09.html?context\\_id=14438~23010&context\\_type=Course&download=1&id=144380000013176448&inline=1](https://a14438-13176448.cluster99.canvas-user-content.com/courses/14438~23010/files/14438~13176448/course%20files/Ambiente%20de%20aprendizaje/AVA-C3-2022/OVAS/gu02_ob09/gu02_ob09.html?context_id=14438~23010&context_type=Course&download=1&id=144380000013176448&inline=1)
- Valenzuela, J. (2020). Metodología para evaluar el grado de sostenibilidad en unidades productivas agropecuarias de café en el municipio de Hobo, Huila-Colombia.. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/10122>
- Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería/Revista de ingeniería*, 28, 83-89.  
<https://doi.org/10.16924/revinge.28.11>

- Barajas, J. A. (2021). *Modelo circular de aprovechamiento de la biomasa residual de café en Colombia - Caso de estudio: Análisis de una finca tipo de la zona cafetera*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/61847>.
- Rodríguez Murcia, Humberto. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, (28), 83-89. Retrieved October 25, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932008000200012&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932008000200012&lng=en&tlng=es).
- Ladino, R. E. (2011). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/1085>.