

Analysis of manufacturing processes and feasibility of manufacturing and replacing coconut fiber-based ecological charcoal.
Análisis de procesos de fabricación y viabilidad de la manufactura y sustitución de carbón ecológico a base de fibra de coco.

Autores:

Alcívar-Gracia, Jefferson Fabian
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ
Estudiante de Tecnología Superior en Mecánica Industrial
Manta – Ecuador

  alcivar.j.2360@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-9835-8602>

Junco-Lucas, Damián Alexi
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ
Estudiante de Tecnología Superior en Mecánica Industrial
Manta -- Ecuador

  junco.d.3802@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-8566-5764>

Intriago-Alcívar, Luis Alejandro
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ
Ing. Mecánico
Profesor Titular en Mecánica Industrial
Manta – Ecuador

  intriago.l.3802@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-6005-0871>

Fechas de recepción: 18-MAY-2025 aceptación: 18-JUN-2025 publicación: 30-JUN-2025

 <https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>
<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

El presente artículo analiza la viabilidad técnica, económica y ambiental del biocarbón producido a partir de fibra de coco como una alternativa real para sustituir combustibles fósiles en procesos industriales. Mediante una revisión bibliográfica especializada, complementada con recolección de datos locales en la ciudad de Manta (Ecuador), se estudian tanto los métodos de producción como las propiedades del biocarbón, sus costos asociados, su rendimiento energético y sus implicaciones sociales y ambientales.

Los resultados evidencian que el biocarbón obtenido mediante pirólisis controlada presenta un poder calorífico que oscila entre 16,7 y 25,0 MJ/kg, una eficiencia térmica del 70 al 80 %, y una combustión relativamente limpia, con baja producción de cenizas y emisiones. Su composición fisicoquímica, caracterizada por un alto contenido de carbono (65–75 %), pH alcalino (8,5–9,2) y estructura porosa (hasta 220 m²/g), lo hace adecuado tanto para uso energético como para aplicaciones agrícolas o ambientales.

En cuanto al costo de producción, se identificó un valor promedio de entre USD 0.35 y 0.45 por kilogramo, con un costo energético estimado de USD 65–75 por GJ, lo que lo ubica como una opción competitiva frente al carbón vegetal (USD 0.90/kg; >90 USD/GJ) y cercana al GLP industrial (USD 60–65/GJ). A diferencia del diésel y el GLP, el biocarbón no depende de subsidios estatales, lo que le otorga estabilidad de precios y lo hace más sostenible a largo plazo.

Otro punto destacado es su bajo impacto ambiental: las emisiones de CO₂ equivalente del biocarbón oscilan entre 0.015 y 0.030 tCO₂e por GJ, valores notablemente inferiores a los del diésel (0.074–0.085 tCO₂e/GJ) y el carbón vegetal (0.10–0.12 tCO₂e/GJ). Esto lo convierte en una opción estratégica dentro de los compromisos climáticos del país.

Desde lo social, el biocarbón representa una oportunidad para generar empleo rural, valorizar residuos agroindustriales y fomentar cadenas productivas locales. Su implementación, sin embargo, requiere superar desafíos como la falta de normativas específicas, el bajo desarrollo tecnológico en procesos de pirólisis y la escasa difusión sobre sus beneficios.

En conjunto, los datos analizados permiten concluir que el biocarbón de fibra de coco no solo es técnicamente viable, sino que también es económicamente competitivo y ambientalmente responsable. Su adopción, especialmente en sectores industriales de demanda térmica media, puede contribuir a una transición energética más equitativa, sostenible y alineada con los recursos locales disponibles.

Palabras clave: Biocarbón; fibra de coco; pirólisis; combustibles renovables; emisiones de CO₂; matriz energética; Ecuador

Abstract

This article analyzes the technical, economic, and environmental feasibility of biochar produced from coconut fiber as a viable alternative to fossil fuels in industrial processes. Through a specialized literature review, complemented by local data collection in the city of Manta (Ecuador), the study examines production methods, the physicochemical properties of the biochar, associated costs, energy performance, and its broader social and environmental implications.

The findings reveal that biochar obtained through controlled pyrolysis presents a lower heating value ranging between 16.7 and 25.0 MJ/kg, with a thermal efficiency of 70 to 80% and relatively clean combustion, characterized by low ash content and minimal emissions. Its physicochemical composition, which includes a high carbon content (65–75%), alkaline pH (8.5–9.2), and porous structure (up to 220 m²/g), makes it suitable not only for energy use but also for agricultural and environmental applications.

The production cost is estimated between USD 0.35 and 0.45 per kilogram, with an energy cost of USD 65–75 per GJ, positioning it as a competitive alternative to charcoal (USD 0.90/kg; >90 USD/GJ) and comparable to industrial LPG (USD 60–65/GJ). Unlike diesel and LPG, biochar does not rely on state subsidies, providing greater price stability and long-term sustainability.

Another key advantage is its low environmental footprint: CO₂-equivalent emissions range from 0.015 to 0.030 tCO_{2e} per GJ, significantly lower than diesel (0.074–0.085 tCO_{2e}/GJ) and charcoal (0.10–0.12 tCO_{2e}/GJ), making biochar a strategic option within Ecuador's climate commitments.

Socially, biochar production offers opportunities to generate rural employment, valorize agricultural residues, and strengthen local value chains. However, its adoption still faces challenges, including the lack of regulatory standards, underdeveloped pyrolysis technologies, and limited awareness of its benefits.

Overall, the evidence suggests that coconut fiber biochar is not only technically viable but also economically competitive and environmentally responsible. Its gradual integration—especially in medium-demand industrial thermal processes—can support a more equitable, sustainable, and locally driven energy transition.

Keywords: Biochar; coconut fiber; pyrolysis; renewable fuels; CO₂ emissions; energy transition; Ecuador



Introducción

El uso prolongado de combustibles convencionales en países en desarrollo se ha mantenido principalmente por su fácil acceso y su capacidad para adaptarse a sectores clave como la cocina doméstica, la industria y la generación de energía. Sin embargo, el crecimiento constante de su demanda ha despertado serias preocupaciones ambientales, especialmente por los efectos negativos de la deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero que conlleva su producción y uso (GAMBOA, 2021).

Viendo esta situación, es cada vez más claro la necesidad de buscar fuentes de energía más ecológicas que ayuden a suprimir estos impactos negativos. En ese sentido, la fibra de coco se presenta como una elección interesante que se necesita explorar. Como explica (Rodríguez, 2018), esta fibra se extrae del mesocarpio o estopa, que es la parte que se encuentra entre la cáscara externa (exocarpo) y la parte interna dura (endocarpo) del coco. Aunque solo alrededor del 17 % del coco se utiliza para el consumo directo, el resto que normalmente se tira podría tener muchos usos, sobre todo en la industria. La fibra de coco ha demostrado ser un material bastante versátil, con aplicaciones que van mucho más allá de la alimentación. Si se usa bien en los procesos de producción, puede aportar la sostenibilidad, como, por ejemplo, al aprovecharse para hacer biocombustibles.

De acuerdo con el análisis del (GAD, 2022), el crecimiento sobre información en base a temas ambientales ha hecho que los residuos sólidos sean toda una dificultad principalmente en Ecuador, donde más de la mitad de los desperdicios diarios son natural. La fibra de coco, un residuo lignocelulósico comúnmente generado por la industria, ha ganado relevancia como materia prima para la producción de combustibles convencionales, gracias a su organización y a su abundancia en las regiones tropicales (Jaramillo Noreña, Martínez Esquivel, Nazarit Márquez, Leimar Denilson, & Pulido Gómez, 2024).

Aunque en el pasado se utilizaba principalmente para cosas como sustratos de jardinería o material de relleno, actualmente se está observando su potencial como recurso energético especialmente a través de técnicas de procesamiento térmico de biomasa controlada. Según (Torres, 2024), el combustible convencional hecho a partir de residuos orgánicos, como la



fibra de coco, puede usarse en sistemas de calefacción tanto domésticos como industriales. Esto facilitaría en desarrollar un modelo de producción más eficiente, limpio y en sintonía con los principios de sostenibilidad. La aplicación de residuos orgánico, como la fibra de coco, para producir combustibles renovables indica una solución sostenible, especialmente en regiones tropicales, donde la materia prima es fácilmente disponible y posee propiedades ideales para la carbonización. Este procedimiento genera un biocarbón con alta rentabilidad energética y bajas emisiones, aportando a la economía circular al disminuir el consumo de energía fósiles y bajar la recolección de residuos agrícolas (Hernandez Vidal, López Bautista, Morales Morales, & Méndez Ordóñez, 2018). Según (García, 2022), los combustibles alternativos hechos a partir de biomasa se ven como una solución novedosa ante los problemas ambientales que enfrentamos hoy en día. Sin embargo, para que realmente sean efectivos, es crucial gestionarlos de forma responsable, evitando efectos negativos como las emisiones contaminantes, la degradación del suelo o la deforestación. En este sentido, dentro de la búsqueda de energías más sostenibles, los productos derivados de la fibra de coco se presentan como una alternativa interesante frente a los combustibles fósiles como el diésel y el búnker.

La eliminación de los subsidios a los combustibles convencionales en Ecuador podría provocar una transformación importante en la matriz energética del país, impulsando el uso de alternativas más sostenibles. En este contexto, el combustible convencional elaborado a partir de fibra de coco se presenta como una opción viable para sustituir otras fuentes tradicionales de energía, gracias a sus características sostenibles y su menor impacto ambiental. Asimismo, la disminución del subsidio a ciertos tipos de combustible convencional podría facilitar la transición hacia alternativas renovables y de producción local, promoviendo una mayor sostenibilidad y autonomía energética.

La reforma a los subsidios de combustibles en Ecuador, que iniciara en 2025, representa un avance hacia políticas fiscales más sostenibles y orientadas al mercado. La eliminación del subsidio a la gasolina Extra y la reducción del Ecopaís son medidas que responden a compromisos internacionales, pero el subsidio al diésel, que es muy importante para sectores clave, sigue siendo una carga fiscal considerable.



En este contexto, la fibra de coco se presenta como una opción energética renovable prometedora para disminuir las emisiones y promover prácticas más sostenibles en la industria, sin embargo, su uso aún enfrenta problemas, como la falta de incentivos y reglas que faciliten su adopción. Este estudio tiene como objetivo mostrar el potencial de ambas fuentes de energía y ayudar a tomar decisiones informadas para lograr una transición energética más responsable.

El uso de combustibles convencionales base de derivados de petróleo, como el Diesel, GLP y Bunker sigue siendo común en industrias de países en desarrollo, incluido Ecuador. Esta dependencia conlleva una serie de problemas puntuales.

El estudio (López A., 2013) analiza cómo la expansión petrolera, la apertura de vías y el crecimiento demográfico han impulsado la deforestación en las provincias de Sucumbíos y Orellana. Utilizando imágenes satelitales y datos de campo, concluye que entre 2000 y 2010 se perdió una gran cantidad de bosque primario. El informe también alerta sobre el impacto en la biodiversidad, el hábitat indígena y la sostenibilidad ecológica.

Si bien estos recursos son necesarios ya que el desarrollo está centrado al consumo de derivados de petróleo, esta situación genera un conflicto entre la necesidad de cubrir la demanda energética de la población y los compromisos internacionales que Ecuador ha asumido para mitigar el cambio climático, como el Acuerdo de París.

Además, desde una perspectiva de salud pública, el uso de biomasa sólida y combustibles fósiles en espacios cerrados, como ocurre frecuentemente en zonas y urbanas, genera altos niveles de contaminación. Según la ((OMS), 2024), la quema de combustibles fósiles es la principal fuente de contaminación del aire exterior, asociada a más de 4,2 millones de muertes prematuras anuales a nivel mundial.

En paralelo, en zonas agrícolas con alta producción de coco, como la región costera de Ecuador (especialmente en las provincias de Manabí y Esmeraldas), se generan grandes cantidades de residuos orgánicos, particularmente fibra de coco. Según (Romero Delgado Valeria Monserrate, 2020), en la provincia de Manabí se generan grandes cantidades de residuos derivados del procesamiento del coco, como la fibra, los cuales en su mayoría no son gestionados de forma eficiente. Esto representa no solo un problema ambiental, sino



también una oportunidad desaprovechada para desarrollar alternativas sostenibles basadas en la bioeconomía rural.

Por ello, es urgente investigar el potencial de la fibra de coco como materia prima para la producción de carbón ecológico, con el fin de evaluar su capacidad como una solución energética limpia, que permita reducir la dependencia de combustibles contaminantes, fomentar el aprovechamiento de residuos agrícolas y contribuir al cumplimiento de los objetivos ambientales nacionales e internacionales.

La búsqueda de alternativas sostenibles a los combustibles tradicionales ha cobrado fuerza en los últimos años, especialmente ante la creciente preocupación por el impacto ambiental de fuentes como el diésel, el gas licuado de petróleo (GLP) o el carbón mineral. Puesto que 82 % de la matriz energética de Ecuador depende de derivados del petróleo, y se destinan más de 3 000 millones USD anuales en subsidios (equivalente al 17 % del presupuesto), existe una clara distorsión económica que favorece niveles elevados de consumo y contaminación (Puig Ventosa, 2018).

En este contexto, el biocarbón producido a partir de residuos agroindustriales, como la fibra de coco, se presenta como una alternativa con potencial para mitigar tanto los impactos ambientales como los económicos del uso de combustibles fósiles. La fibra de coco, subproducto abundante en regiones tropicales, posee una estructura lignocelulósica que la hace apta para procesos de pirólisis controlada, permitiendo obtener un combustible sólido renovable con buen poder calorífico, bajo contenido de cenizas y emisiones reducidas (Deyler Castilla Caballero, 2020; Rivera, 2024).

Desde el punto de vista técnico, estudios como los de (Alava Ullauri & López Mero , 2022) han demostrado que la cáscara de coco puede ser transformada en briquetas con propiedades térmicas comparables a combustibles sólidos tradicionales. Se han reportado valores de poder calorífico del orden de 16,7 a 25 MJ/kg, eficiencia de combustión de hasta el 80 %, y bajos niveles de humedad y cenizas, lo que la hace viable para aplicaciones como secado industrial, hornos artesanales o calderas pequeñas. El estudio de (Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021) señala que la producción de biocarbón a partir de biomasa requiere todavía ajustes



tecnológicos para optimizar la pirólisis, pero los resultados preliminares son alentadores desde el punto de vista energético.

En el plano económico, el biocarbón de coco presenta costos de producción estimados entre USD 0.35 y 0.45 por kilogramo, lo que lo sitúa por debajo del GLP (USD 2.78/kg) y cerca del carbón vegetal (USD 0.90/kg), con la ventaja adicional de no depender de subsidios estatales. Esta diferencia se vuelve aún más relevante si se considera que el diésel y el GLP reciben subsidios por hasta USD 0.96 y USD 0.68 por galón respectivamente, lo que distorsiona el mercado y dificulta la adopción de alternativas renovables (GlobalPetrolPrices, 2025; ARCERNNR, 2024).

Desde un enfoque energético, (Alava Ullauri & López Mero , 2022) evaluaron la factibilidad de transformar la cáscara de coco en briquetas de carbón. Su análisis incluyó propiedades como la humedad, el contenido de cenizas, el poder calorífico y la velocidad de combustión. Los resultados demostraron que este residuo agroindustrial puede funcionar como una fuente energética alternativa con características similares a los combustibles sólidos convencionales.

(Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021) complementa esta visión al estudiar diferentes tipos de biomasa, como cascarilla de arroz, semillas y corteza de coco, para la producción de biocarbón. Su investigación destaca el uso de tecnologías de pirólisis controlada para obtener combustibles más limpios, aunque advierte que estas tecnologías aún requieren validación industrial y un análisis profundo de su viabilidad económica, considerando los costos de producción y la eficiencia del proceso.

En Ecuador, (Gutiérrez, 2017) investigó la producción de carbón orgánico a partir de la cáscara de coco en Esmeraldas, identificando una alta disponibilidad de materia prima y un creciente interés del mercado por opciones más limpias. A pesar de estos avances, aún se necesita investigación que profundice en aspectos técnicos, económicos y ambientales, especialmente en el análisis de las propiedades fisicoquímicas del biocarbón, un factor clave para determinar su calidad y aplicabilidad energética.

Estudios recientes han caracterizado el biocarbón de coco como un material de alta porosidad, con buen contenido de carbono fijo, pH alcalino y baja humedad. Estos



parámetros inciden directamente en su capacidad de combustión, eficiencia térmica y su uso potencial en la mejora de suelos o sistemas de filtración.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del biocarbón de cáscara de coco

Fuente: (Deyler Castilla Caballero, 2020)

Propiedad	Valor promedio	Unidad
Contenido de carbono	71.68	% en peso
Contenido de nitrógeno	0.99	% en peso
Contenido de cenizas	4.96 ± 0.07	% en peso
Materia volátil	78.03 ± 3.91	% en peso
Carbono fijo	17.01 ± 3.86	% en peso
pH del biocarbón	9.03 ± 0.05	—
Conductividad eléctrica	125.8 ± 0.01	μS/m
Capacidad de intercambio catiónico	9.53 ± 0.57	cmol/kg
Área superficial (BET)	208.53 ± 2.43	m ² /g
Densidad aparente	220.00 ± 0.01	kg/m ³
Diámetro promedio de poros	9.51 ± 3.44	μm
Temperatura de pirólisis utilizada	661.9	°C

Paralelamente, el uso de combustibles tradicionales continúa siendo promovido a través de subsidios estatales. En Ecuador, el diésel recibe un subsidio de USD 1.00 a 1.50 por galón y el GLP (15kg) de USD 10.40 a 13.40, lo que representó una carga fiscal de 3265 millones al estado en 2023.

Desde el punto de vista ambiental, las emisiones de CO₂ equivalente de estos combustibles varían entre 0.063 y 0.120 tCO₂e/GJ. En cambio, el biocarbón de coco puede emitir entre

0.015 y 0.030 tCO₂e/GJ (Willis, 2021), convirtiéndose en una opción de bajo impacto para procesos térmicos industriales.

El uso del biocarbón como fuente energética no solo puede disminuir los impactos ecológicos, sino también reducir la dependencia de combustibles subsidiados, fomentar el aprovechamiento de residuos agroindustriales y contribuir a una transición energética más sostenible en Ecuador.

Tabla 2. Comparativa de precios, subsidios y emisiones de CO₂e por tipo de combustible

Fuente: (Ecuador, 2024; Global, 2025; (IPCC), 2006)

Combustible	Precio subvencionado (USD)	Precio subsidio (USD)	sin Emisión CO ₂ aprox.	CO ₂ Equivalente por unidad
GLP (15 kg)	1.60 / cilindro	12.00 – 15.00 / cilindro	3.00 – 3.50 kg CO ₂ / kg	≈ 45–52 kg CO ₂ / cilindro
Diésel	1.75 / galón	2.50 – 3.00 / galón	10.16 kg CO ₂ / galón	≈ 0.01016 tCO ₂ / galón
Gasolina Extra	2.46 / galón	3.50 – 3.80 / galón	8.89 kg CO ₂ / galón	≈ 0.00889 tCO ₂ / galón

La necesidad de encontrar fuentes de energía sostenibles ha hecho que cada vez se busquen más alternativas a los combustibles fósiles. Su uso continuo, sobre todo en zonas rurales y en países en desarrollo, está relacionado con graves problemas ambientales como la deforestación, el desgaste del suelo y la emisión de gases que afectan al clima.

En este contexto, la fibra de coco se presenta como una alternativa energética prometedora. Su estructura lignocelulósica, abundancia y bajo costo la hacen ideal para producir carbón ecológico. Además, ayuda a aprovechar los residuos agroindustriales y reduce la presión sobre los recursos forestales.

Sin embargo, todavía hay muchas lagunas en la investigación sobre cómo transformar la fibra de coco de manera eficiente en carbón ecológico. Aún no se ha explorado lo suficiente cómo



incrementar el proceso de carbonización, entender las propiedades energéticas del biocarbón obtenido, ni analizar su viabilidad técnica y económica frente al carbón convencional. Este estudio es importante porque responde a la urgente necesidad de encontrar soluciones energéticas más limpias y sostenibles, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente los relacionados con energía limpia (ODS 7) y el cambio climático (ODS 13). Producir biocarbón a partir de fibra de coco no solo contribuye a reducir los residuos orgánicos, sino que también promueve la economía circular, al permitir que las comunidades rurales productoras de coco generen ingresos y fomenten su desarrollo local. Por otro lado, la producción de carbón tradicional necesita ser revisado debido a su impacto ambiental negativo y su limitada sostenibilidad. En este contexto, el biocarbón derivado de la fibra de coco se presenta como una alternativa sólida, ya que permite aprovechar residuos agroindustriales de bajo costo y amplia disponibilidad.

Para que el biocarbón de fibra de coco pueda integrarse realmente en el sistema energético, es necesario hacer un análisis completo que tome en cuenta su rendimiento técnico, cuánto cuesta producirlo, qué tipo de infraestructura se necesita y si realmente es viable desde el punto de vista comercial. Por eso, este estudio busca aportar evidencia científica que respalde el uso de la fibra de coco como materia prima para producir biocombustibles sólidos, considerando los aspectos técnicos, económicos y ambientales que implica todo el proceso.

Material y métodos

Este trabajo se desarrolló como una revisión bibliográfica enfocada en comprender y analizar el potencial del biocarbón elaborado a partir de fibra de coco, especialmente en relación con su aplicabilidad energética y su viabilidad dentro del contexto ecuatoriano. No se realizaron ensayos experimentales propios; en su lugar, se recurrió a la consulta y el análisis de literatura científica, técnica y normativa disponible tanto en bases de datos académicas como en fuentes institucionales confiables.

El proceso de búsqueda incluyó documentos publicados entre 2017 y 2025, con énfasis en artículos científicos, tesis universitarias y reportes oficiales emitidos por entidades como el



Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2023), la Agencia de Regulación y Control de Energía (ARCERNNR), y organismos internacionales como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Las búsquedas se realizaron principalmente en plataformas como ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, Dialnet y Google Scholar, utilizando términos clave como “biocarbón de coco”, “pirólisis de residuos agrícolas”, “subsídios energéticos en Ecuador”, “emisiones de CO₂” y “eficiencia térmica de biomasa”.

A medida que se recopilaba la información, se fueron identificando patrones comunes y datos relevantes en torno a cinco aspectos centrales: las propiedades fisicoquímicas del biocarbón de coco (como su contenido de carbono, humedad, cenizas y porosidad), los costos estimados de producción por kilogramo, la comparación con los precios reales y subsidiados de combustibles tradicionales como el diésel o el GLP, las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de cada combustible, y finalmente la eficiencia térmica alcanzada en condiciones similares de uso industrial.

Las fuentes seleccionadas no solo ofrecieron datos técnicos, sino también reflexiones y resultados de experiencias locales e internacionales sobre el aprovechamiento de residuos agrícolas para la producción de energía. Esto permitió establecer una mirada comparativa entre el biocarbón de coco y los combustibles fósiles que actualmente predominan en el país, en especial en sectores como el transporte, la generación de calor y la industria alimentaria.

Toda la información fue sistematizada en tablas comparativas para facilitar su análisis y discusión, y se procuró mantener un equilibrio entre los datos cuantitativos y la interpretación cualitativa, considerando tanto los aspectos técnicos como los económicos, ambientales y sociales. En definitiva, esta metodología permitió construir una base sólida para valorar si el biocarbón de fibra de coco puede ser realmente una alternativa viable frente al modelo energético actual.

Resultados

Comparación energética del biocarbón frente a combustibles fósiles.



Uno de los aspectos más importantes a la hora de evaluar un combustible es su capacidad para generar calor. En este caso, el biocarbón producido a partir de fibra de coco ha demostrado tener un poder calorífico inferior (PCI) que varía entre 16,7 y 25,0 MJ/kg, dependiendo del método de pirólisis y del nivel de secado previo de la materia prima (Deyler Castilla Caballero, 2020; Alava Ullauri & López Mero, 2022). Aunque estos valores están por debajo de los combustibles fósiles convencionales como el diésel, que puede alcanzar hasta 45,6 MJ/kg, o el GLP, que llega incluso a los 50 MJ/kg (Balance energético nacional, 2023), el biocarbón sigue siendo una alternativa válida dentro de contextos donde se prioriza el equilibrio entre rendimiento energético, disponibilidad local y sostenibilidad.

En cuanto a la eficiencia térmica, entendida como la capacidad del combustible para aprovechar su energía en forma de calor útil, el biocarbón de coco muestra valores cercanos al 70–80%, en condiciones de combustión controladas. Aunque es cierto que el diésel y el GLP alcanzan niveles superiores (80–95%) (Willis, 2021), la diferencia no es tan pronunciada si se consideran las ventajas ambientales y económicas que ofrece el biocarbón, sobre todo en sectores donde no se requiere una fuente de energía de alta densidad calórica, sino un combustible estable, de bajo costo y fácil acceso.

Estas características hacen que el biocarbón de fibra de coco tenga un uso potencial muy interesante en procesos industriales que demandan calor de forma constante pero no excesivamente intensa, como el secado de granos, el curado de maderas, la producción artesanal de ladrillos o cerámica, o el funcionamiento de calderas en industrias pequeñas. Además, su naturaleza renovable y su bajo contenido de cenizas permiten una combustión más limpia, lo cual reduce el mantenimiento de los equipos y mejora la seguridad operativa en entornos rurales o semiurbanos.

Aunque es evidente que el biocarbón no puede competir directamente con el diésel o el GLP en términos de densidad energética, su verdadera ventaja está en la combinación de rendimiento aceptable, bajo impacto ambiental y accesibilidad económica. Si se optimizan los procesos de producción, especialmente la pirólisis, y se adaptan los sistemas de combustión, este tipo de biocombustible puede convertirse en una solución energética eficiente y sostenible para muchas regiones del país.



Tabla 3. Comparación del poder calorífico, eficiencia térmica y aplicaciones de distintos combustibles.

Combustible	Poder Calorífico (MJ/kg)	Eficiencia Térmica Estimada (%)	Aplicaciones comunes
Biocarbón de fibra de coco	16.7 – 25.0	70 – 80	Secado agrícola, cocción, hornos artesanales
Carbón vegetal convencional	25.0 – 30.0	60 – 75	Cocción doméstica, parrillas, pequeñas calderas
Diésel industrial	43.0 – 45.6	80 – 90	Maquinaria industrial, transporte pesado
GLP industrial	46.0 – 50.0	85 – 95	Cocinas industriales, calefacción, industria ligera

Propiedades fisicoquímicas del biocarbón de fibra de coco.

Las propiedades fisicoquímicas del biocarbón juegan un papel fundamental en su comportamiento térmico y en su posible aplicación tanto energética como agrícola o ambiental. En el caso de la fibra de coco, su estructura lignocelulósica le confiere características particulares que, al ser sometidas a procesos de pirólisis controlada, dan como resultado un material con alto contenido de carbono, buena estabilidad térmica y una estructura porosa favorable para una combustión más eficiente.

Uno de los primeros aspectos a considerar es su composición elemental, en la que el carbono representa el componente predominante, con valores promedio en torno al 71,68% en peso, seguido de pequeñas fracciones de hidrógeno (4,27%) y nitrógeno (0,99%) como menciona (Deyler Castilla Caballero, 2020). Esta elevada proporción de carbono contribuye a una mayor capacidad energética del material y a una combustión más limpia, mientras que los bajos niveles de nitrógeno ayudan a minimizar la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x), que son contaminantes atmosféricos de preocupación ambiental.

En cuanto a la humedad residual, uno de los factores que más inciden en la eficiencia del biocombustible, los estudios revisados indican que el biocarbón de coco presenta niveles



inferiores al 13%, lo que favorece una ignición rápida y reduce pérdidas de energía por evaporación. Por otro lado, el contenido de cenizas se mantiene entre 4,9% y 5%, mientras que la materia volátil alcanza valores cercanos al 71–78%, lo que indica que aún existe una fracción importante de compuestos combustibles dentro del sólido, permitiendo una combustión sostenida sin necesidad de mezclas con otros materiales (Urbina, 2021).

Desde un punto de vista estructural, el biocarbón de coco destaca por tener una alta área superficial específica, medida por el método BET, con valores que rondan los 208 m²/g, y un diámetro de poro promedio de 9,5 µm. Esta porosidad favorece la difusión del oxígeno durante la combustión, mejorando la eficiencia del proceso y facilitando su uso en tecnologías de combustión adaptadas a biomasa. Esta característica también lo hace potencialmente útil en aplicaciones más allá de la energía, como la filtración de agua o la mejora de suelos agrícolas. Respecto al pH, el biocarbón obtenido presenta un comportamiento alcalino, con un valor promedio de 9,03, lo cual es relevante si se considera su posible uso como enmienda de suelos ácidos. A esto se suma una conductividad eléctrica baja (125.8 µS/m), lo que indica que el material no introduce una carga salina significativa al medio en el que se aplica, siendo favorable desde el punto de vista agroambiental (Deyler Castilla Caballero, 2020).

En conjunto, estas propiedades reflejan un biocombustible sólido con buena estabilidad térmica, combustión limpia, bajo impacto ambiental y posibilidades de aplicación más allá del uso energético, lo que abre la puerta a una valorización integral del residuo de coco.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas del biocarbón de fibra de coco.

Propiedad	Rango de valores	Fuentes
Contenido de carbono	65 – 75 %	(Deyler Castilla Caballero, 2020)
Contenido de hidrógeno	3.5 – 5.0 %	(Deyler Castilla Caballero, 2020)
Contenido de nitrógeno	0.8 – 1.2 %	(Deyler Castilla Caballero, 2020)

Propiedad	Rango de valores	Fuentes
Contenido de humedad	10 – 15 %	(Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021; Urbina, 2021)
Contenido de cenizas	3.5 – 5.5 %	(Deyler Castilla Caballero, 2020; Willis, 2021)
Materia volátil	70 – 80 %	(Alava Ullauri & López Mero , 2022; Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021)
Carbono fijo	15 – 25 %	(Rivera, 2024; Willis, 2021)
pH del biocarbón	8.5 – 9.2	(Deyler Castilla Caballero, 2020; Rivera, 2024)
Conductividad eléctrica	100 – 160 μ S/m	(Willis, 2021; Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021)
Área superficial (BET)	180 – 220 m^2/g	(Deyler Castilla Caballero, 2020; Rivera, 2024)
Diámetro promedio de poros	8.0 – 11.0 μ m	(Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021; Rivera, 2024)

Proceso de producción del biocarbón a base de fibra de coco.

La producción de biocarbón a partir de fibra de coco es un proceso que aprovecha un residuo agroindustrial abundante en regiones tropicales, y lo convierte en un combustible sólido renovable mediante un tratamiento térmico controlado. Este proceso, conocido como pirólisis, transforma la materia orgánica en un material carbonoso rico en carbono fijo, apto para aplicaciones energéticas o agrícolas. La eficiencia del proceso depende directamente de las condiciones de operación y del control técnico en cada etapa, lo cual ha sido objeto de múltiples estudios en América Latina y Asia.

Etapas principales del proceso.

El procedimiento general consta de tres fases: secado, pirólisis y enfriamiento. El primer paso, el secado, busca reducir la humedad de la fibra de coco a niveles inferiores al 15 %, idealmente



entre el 10 y el 12 %, lo que mejora la eficiencia térmica del proceso y evita pérdidas de energía por evaporación. Este secado puede realizarse de forma natural al sol o con sistemas de secado forzado si se dispone de infraestructura (Urbina, 2021; Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021).

La segunda etapa, la pirólisis, es el núcleo del proceso. Consiste en calentar la biomasa en ausencia o con presencia muy limitada de oxígeno, para evitar la combustión total y permitir la descomposición térmica controlada de los compuestos orgánicos. Durante esta fase, los componentes volátiles se evaporan y se liberan gases y líquidos, mientras que la fracción sólida se convierte en biocarbón. El proceso suele realizarse entre los 300 °C y 600 °C, siendo 500–550 °C el rango óptimo para obtener un producto con buen contenido de carbono fijo y baja emisión de humo (Deyler Castilla Caballero, 2020; Willis, 2021). El tiempo de residencia térmica varía entre 1 y 3 horas, dependiendo de la cantidad de material y del tipo de equipo utilizado (Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021).

Finalmente, el biocarbón debe pasar por un proceso de enfriamiento controlado, preferiblemente en una cámara cerrada para evitar la oxidación del carbono superficial, lo que afectaría su poder calorífico y aumentaría la pérdida de material por combustión espontánea. Este enfriamiento puede demorar varias horas y, en algunos casos, se acelera usando atmósferas inertes como vapor o gas (Rivera, 2024).

Condiciones operativas típicas.

De acuerdo con las investigaciones de (Rivera, 2024) y (Alava Ullauri & López Mero, 2022), los parámetros más estables en procesos semiautomáticos y controlados para cáscara o fibra de coco son:

- Temperatura: 500 – 600 °C.
- Tiempo de retención: 90 – 150 minutos.
- Velocidad de calentamiento: 5 – 10 °C/min.
- Atmósfera: deficiente en oxígeno (<5 %) o sistema cerrado tipo tambor rotatorio o horno vertical con sello de vapor.

Estas condiciones permiten obtener un biocarbón con buen rendimiento energético, pH alcalino y estructura porosa, reduciendo al mínimo las emisiones contaminantes durante el proceso.



Tecnologías disponibles y su grado de desarrollo.

En Ecuador y otros países latinoamericanos, las tecnologías utilizadas para producir biocarbón a partir de fibra de coco varían desde métodos rudimentarios en fosas o tambores metálicos abiertos, hasta equipos semiautomáticos con control de temperatura y monitoreo de gases. Mientras que los sistemas básicos son accesibles y de bajo costo, tienden a generar mayores pérdidas de energía y emisiones no controladas. Por otro lado, las unidades de pirólisis mejoradas, como los hornos retort, pirolizadores verticales o reactores de tambor con recuperación de gases, han mostrado mejoras significativas en eficiencia, aunque su implementación sigue siendo limitada por los costos iniciales (Blog Coco Coir Global, s.f.; Puspanantasari, 2024).

Actualmente, las mejores prácticas están centradas en el uso de hornos metálicos cerrados con doble cámara, que permiten recuperar gases condensables y reutilizar parte del calor, mejorando la eficiencia térmica del sistema. En países como Colombia, Brasil, Filipinas e India, estas tecnologías han sido adoptadas con éxito en comunidades rurales como parte de programas de energía sostenible (Willis, 2021; Deyler Castilla Caballero, 2020).

Buenas prácticas y experiencias documentadas en la región.

En Ecuador, empresas como Ecoprojectamos S.A. y organizaciones comunitarias en la costa manabita han empezado a experimentar con la producción de biocarbón como una forma de aprovechar residuos agrícolas de forma rentable. Aunque la escala aún es reducida, los resultados indican que es posible alcanzar rendimientos de conversión de hasta el 30 % en peso, es decir, por cada 10 kg de fibra seca se obtienen cerca de 3 kg de biocarbón (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021).

Por su parte, en Colombia y México se han desarrollado experiencias exitosas con el uso de cáscara de coco para producir biocarbón y carbón activado, tanto para cocción doméstica como para usos industriales y agrícolas. En estos casos, la implementación de tecnologías sencillas pero mejoradas ha permitido reducir hasta en un 40 % las emisiones de CO₂ durante la producción, mejorar la calidad del producto final y generar empleo local (Puspanantasari, 2024; Willis, 2021).



En resumen, la producción de biocarbón a partir de fibra de coco es un proceso técnicamente viable, cuyas condiciones operativas y eficiencia pueden mejorarse significativamente con tecnologías adecuadas y capacitación local. La clave está en avanzar desde sistemas empíricos hacia procesos semi-industrializados que mantengan bajos costos, pero garanticen calidad, seguridad y sostenibilidad ambiental.

Costos de producción del biocarbón.

Hablar de viabilidad energética no tendría sentido si no se toma en cuenta un factor clave: el costo. En el caso del biocarbón elaborado a partir de fibra de coco, este aspecto adquiere aún más relevancia, ya que uno de sus principales atractivos es justamente su posibilidad de ser una fuente de energía económica, limpia y producida localmente. Para evaluar si realmente puede competir con los combustibles tradicionales, es necesario analizar cuánto cuesta producirlo y cómo se compara con opciones como el diésel, el GLP o el carbón vegetal.

El proceso de producción del biocarbón está compuesto por tres etapas esenciales: la recolección y preparación de la materia prima, el proceso térmico de pirólisis y, finalmente, las tareas de mano de obra, empaquetado y distribución. Según estimaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2021), la etapa inicial —es decir, recolectar la fibra, transportarla y secarla hasta alcanzar una humedad adecuada— representa cerca del 25 % del costo total. Es un proceso relativamente sencillo y de bajo impacto tecnológico, que puede realizarse con infraestructura básica, y cuyo valor ronda los USD 0,10 por kilogramo.

La parte más demandante, tanto en términos energéticos como económicos, es la pirólisis. Aquí es donde la fibra se transforma, mediante calor, en un biocombustible sólido con alto contenido de carbono. Esta etapa puede representar hasta la mitad del costo total del proceso, con un promedio estimado de USD 0,20 por kilogramo, dependiendo de la tecnología utilizada (Cabrera Freire & Villamil Mosquera, 2021; Rivera, 2024). Si se emplean hornos rudimentarios, el gasto energético y las pérdidas materiales suelen ser mayores; en cambio, con sistemas más eficientes se puede aprovechar mejor el calor y generar un producto más homogéneo.

A esta suma hay que añadir los gastos relacionados con la mano de obra, el envasado, la logística y la distribución final, que completan el otro 25 % del costo, es decir, alrededor de



USD 0,10 por kilogramo adicional. En total, el costo promedio de producción del biocarbón oscila entre USD 0,35 y 0,45 por kilogramo, aunque esta cifra puede variar según la escala, la eficiencia del sistema y el acceso a recursos energéticos o subvenciones locales (Willis, 2021). Si trasladamos estos valores a términos energéticos, considerando un poder calorífico promedio de 21,5 MJ/kg, el costo por unidad de energía se sitúa entre USD 65 y 75 por gigajulio (GJ). Para poner esto en perspectiva, el diésel, que tiene un alto contenido energético (unos 45,6 MJ/kg), cuesta alrededor de USD 30–35/GJ, mientras que el GLP, aunque más caro en peso, tiene una buena eficiencia energética y se ubica entre USD 60–65/GJ (GlobalPetrolPrices, 2025; ARCERNNR, 2024). El carbón vegetal, por su parte, tiene un precio de mercado cercano a los USD 0,90/kg, lo que lo deja en torno a USD 90–100/GJ, siendo más costoso que el biocarbón, sobre todo si se considera el impacto ambiental que deja su producción.

Ahora bien, uno de los grandes puntos a favor del biocarbón es su capacidad de mejora en costos cuando se produce en mayor volumen. A medida que se escala la producción, se pueden reducir gastos fijos, mejorar el uso del calor residual y aprovechar la compra de insumos a granel. Algunos estudios señalan que, en contextos comunitarios o cooperativos, el costo podría bajar hasta USD 0,25 por kilogramo, especialmente si se reutilizan los gases generados durante la pirólisis como fuente de calor para alimentar el mismo sistema (Bajaña, 2019).

Además, existen experiencias regionales donde la producción de biocarbón se ha integrado a esquemas de economía circular, utilizando residuos locales y generando empleo en comunidades rurales. Esto no solo mejora los indicadores económicos del proceso, sino que lo convierte en una alternativa socialmente sostenible, especialmente en zonas donde el acceso a energías limpias es limitado o costoso.

En conclusión, si bien el biocarbón aún no iguala al diésel en términos de costo por unidad de energía, su competitividad aumenta cuando se consideran otros factores: no depende de subsidios, tiene un precio más estable, se produce localmente y, sobre todo, su impacto ambiental es mucho menor. En contextos donde lo económico no puede desligarse de lo ambiental y lo social, el biocarbón de fibra de coco aparece como una solución viable, con mucho espacio para crecer.



Tabla 5. Comparación de costos y rendimiento energético entre el biocarbón y otros combustibles.

Combustible	Costo estimado (USD/kg)	Poder calorífico (MJ/kg)	Costo energético (USD/GJ)	Observaciones
Biocarbón de fibra de coco	0.35 – 0.45	21.5	65 – 75	Bajo impacto ambiental, producción local
Carbón vegetal	0.90	25.0 – 30.0	90 – 100	Costoso, deforestación asociada
Diésel industrial	1.41	43.0 – 45.6	30 – 35	Alta densidad energética, depende de subsidios
GLP industrial	2.78	46.0 – 50.0	60 – 65	Buen rendimiento, precio más alto sin subsidios

Viabilidad técnica y económica del biocarbón como sustituto energético.

La transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles no puede basarse únicamente en principios ambientales; también debe responder a criterios de eficiencia técnica, factibilidad económica y capacidad de integración en las realidades productivas del país. En este sentido, el biocarbón elaborado a partir de fibra de coco aparece como una alternativa sólida que, si bien aún enfrenta ciertos desafíos, reúne características prometedoras para convertirse en un sustituto parcial de combustibles fósiles en sectores específicos de la industria ecuatoriana.

Balance entre rendimiento energético, costos y emisiones.

Desde el punto de vista técnico, el biocarbón de fibra de coco ha demostrado un rendimiento energético aceptable, con un poder calorífico que se sitúa entre 16,7 y 25 MJ/kg, dependiendo del método de pirólisis y del nivel de secado de la biomasa. Aunque está por debajo del diésel o del GLP en cuanto a densidad energética, su eficiencia térmica (70–80 %) y su estabilidad en



la combustión lo hacen perfectamente apto para procesos que no requieren energía de alta intensidad, como secado, cocción o calefacción en industrias livianas.

En términos económicos, su costo de producción actual (USD 0.35–0.45/kg) ya lo posiciona como competitivo frente al carbón vegetal (USD 0.90/kg) y lo acerca a combustibles fósiles si se considera el costo por unidad de energía (USD/GJ). Además, el biocarbón no depende de subsidios estatales, lo que le otorga una ventaja en un contexto donde el retiro progresivo de subvenciones al diésel y al GLP es cada vez más probable.

A esto se suma un aspecto que no puede pasarse por alto: las emisiones de CO₂ equivalente del biocarbón son notablemente inferiores. Mientras que el diésel y el carbón vegetal pueden liberar entre 0.074 y 0.120 tCO_{2e} por GJ, el biocarbón de coco emite entre 0.015 y 0.030 tCO_{2e}/GJ, lo que lo convierte en una alternativa más limpia y con mejor desempeño ambiental (Willis, 2021).

Fortalezas, limitaciones y condiciones mínimas de adopción.

Entre las principales fortalezas del biocarbón se encuentran su origen renovable, la posibilidad de aprovechar residuos agrícolas subutilizados, su bajo impacto ambiental y la viabilidad de producción descentralizada, lo cual lo hace ideal para zonas rurales o regiones con limitada infraestructura energética. Además, el biocarbón tiene la capacidad de integrarse a tecnologías ya existentes con adaptaciones menores, lo que reduce la barrera de entrada para su adopción industrial.

Sin embargo, también existen limitaciones importantes. La primera es de carácter tecnológico: muchos procesos de pirólisis siguen siendo rudimentarios, lo que afecta la calidad del producto final y eleva los costos operativos. A esto se suma la falta de normativas técnicas y estándares de calidad, así como la escasa difusión sobre sus beneficios entre los usuarios industriales y comunitarios. Por otro lado, mientras el diésel o el GLP pueden distribuirse fácilmente a nivel nacional, el biocarbón requiere de cadenas logísticas más locales, lo que restringe su alcance a ciertas regiones a menos que se establezca una infraestructura productiva cercana al consumo.

Para que su adopción sea viable, se necesita al menos:

- Acceso a fuentes sostenibles de fibra de coco.



- Capacitación técnica para garantizar un proceso de producción estandarizado.
- Incentivos que equilibren su precio frente a los combustibles subsidiados.
- Voluntad institucional para promover su uso a través de políticas públicas o programas piloto industriales.

Valor agregado: empleo, residuos y sostenibilidad.

Más allá de su utilidad como fuente de energía, el biocarbón de coco ofrece beneficios sociales y ambientales de gran valor. Su producción puede convertirse en una fuente de empleo en comunidades rurales, donde la agricultura y el procesamiento del coco son actividades comunes. En lugar de desechar la fibra como un residuo sin valor, puede transformarse en un producto comercializable que dinamiza las economías locales.

Además, el uso del biocarbón permite avanzar hacia modelos de economía circular, al darle un segundo uso a materiales que normalmente serían quemados o abandonados, generando impactos negativos en su descomposición. Y si se aplica en suelos agrícolas como mejorador, incluso después de su uso energético, su ciclo de vida puede extenderse aún más.

En conjunto, estos factores no solo refuerzan su viabilidad como sustituto energético, sino que lo posicionan como un recurso estratégico dentro de una transición energética justa, donde el desarrollo económico, la reducción de emisiones y el aprovechamiento de recursos locales se entrelazan de forma coherente y sostenible.

Cuadro 1 . Resumen de la viabilidad del biocarbón de fibra de coco como sustituto energético

Categoría	Descripción
Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> - Materia prima abundante y de bajo costo (fibra de coco)- Producción local y descentralizada - Emisiones de CO₂ muy bajas (0.015–0.030 tCO₂e/GJ)- Costo estable sin depender de subsidios - Aceptable poder calorífico (16.7–25 MJ/kg)- Posibilidad de usos múltiples: energía, agricultura, filtración



Categoría	Descripción
Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología aún rudimentaria en muchas zonas- Falta de normativas y estándares técnicos - Escasa difusión sobre sus beneficios- Dificultad para competir con combustibles subsidiados (diésel, GLP) - Logística limitada para distribución a gran escala - Fuente constante de fibra de coco
Condiciones mínimas de adopción	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitación técnica en pirólisis- Incentivos o programas piloto para facilitar el acceso al mercado - Apoyo institucional en normativas y financiamiento - Equipamiento básico para control de calidad y eficiencia

Discusión

Los resultados obtenidos a lo largo de este estudio permiten afirmar que el biocarbón elaborado a partir de fibra de coco tiene un potencial real como alternativa energética, especialmente en contextos donde se busca reducir la dependencia de combustibles fósiles sin sacrificar funcionalidad ni viabilidad económica.

Si bien su poder calorífico es inferior al de combustibles como el diésel o el GLP, su eficiencia térmica y estabilidad lo hacen perfectamente útil para procesos industriales medianos o comunitarios, como el secado, la cocción o la calefacción. Además, al tratarse de un recurso local y renovable, producido a partir de un residuo agrícola disponible en gran parte del país, el biocarbón no solo reduce costos, sino que también minimiza impactos ambientales.

Desde lo económico, su costo de producción —entre USD 0.35 y 0.45 por kilo— lo ubica en una posición competitiva frente al carbón vegetal e incluso frente a combustibles fósiles si se considera su estabilidad y el hecho de que no depende de subsidios. Esto, sumado a su bajo nivel de emisiones de CO₂ equivalente, refuerza su perfil como una alternativa limpia y accesible.



Pero más allá de lo técnico, el biocarbón también representa una oportunidad para dinamizar economías locales, generar empleo rural y fomentar prácticas productivas más sostenibles. Por supuesto, todavía hay retos por superar: hace falta mejorar las tecnologías de pirólisis, establecer normativas claras y, sobre todo, visibilizar este tipo de soluciones frente a las opciones convencionales.

En resumen, el biocarbón de coco no es la única respuesta al problema energético, pero sí una pieza valiosa en el camino hacia una transición energética más justa, local y respetuosa con el entorno.

Conclusiones

La revisión bibliográfica permitió conocer en profundidad los métodos más utilizados para la fabricación de biocarbón a partir de residuos de coco, destacando la pirólisis como el proceso más eficiente para transformar este material en un biocombustible con buen poder calorífico, bajo contenido de humedad y reducidas emisiones contaminantes. Los estudios revisados confirman que, con un control adecuado de temperatura, tiempo y oxígeno, es posible obtener un producto estable, aprovechando una biomasa abundante y muchas veces desperdiciada en regiones como la costa ecuatoriana.

Durante la investigación de campo realizada en la ciudad de Manta, se constató que el sector industrial sigue dependiendo en gran medida de combustibles convencionales como el diésel, el GLP y el carbón vegetal. A pesar de los subsidios vigentes, estos combustibles representan un costo operativo significativo y su uso implica una alta carga ambiental, tanto por emisiones de gases como por impactos asociados a su transporte y almacenamiento.

El análisis de viabilidad técnica y económica sugiere que el biocarbón de fibra de coco es una alternativa viable para sustituir parcialmente a los combustibles tradicionales en procesos industriales de demanda térmica media. Su costo competitivo, la posibilidad de producción local, su bajo impacto ambiental y el valor social que genera —al promover empleo y reducir residuos—, lo convierten en una opción estratégica para avanzar hacia una matriz energética más sostenible y menos dependiente de los derivados del petróleo.



Si bien aún hay desafíos tecnológicos y logísticos por superar, los resultados obtenidos permiten afirmar que el biocarbón de coco puede integrarse progresivamente en ciertos sectores industriales de la región, siempre que existan políticas de apoyo, incentivos adecuados y capacitación técnica local.

Referencias bibliográficas

(IPCC), I. P. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

Retrieved from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

(OMS), O. M. (2024, 10 24). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud*.

Retrieved from <https://www.who.int/es>: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-%28outdoor%29-air-quality-and-health?utm_source=chatgpt.com

Alava Ullauri, J., & López Mero, M. (2022). *Tesis*. Retrieved from Estudio de Factibilidad del Uso de la Fibra de Coco para la Elaboración de Mampuesto.:

<http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/2852/1/ARQ-C2022-001.pdf>

Bajaña, L. L. (2019). *Revista Observatorio de la Economía*. Retrieved from ESTUDIO ECONÓMICO PARA LA CREACIÓN DE UNA MICROEMPRESA PRODUCTORA DE CARBÓN ECOLÓGICO EN BASE A LA CÁSCARA DEL COCO EN EL RECINTO EL LIMONAL, CANTÓN SIMÓN BOLÍVAR, PROVINCIA DEL GUAYAS:

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8743249.pdf>

Balance energético nacional. (2023). Retrieved from Balance energético nacional:

https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/BEN_2023-final_compressed.pdf

Blog Coco Coir Global. (n.d.). Retrieved from Proceso de manufactura.:

<http://cococoirglobal.com/es/proceso-de-manufactura/>

Cabrera Freire, C., & Villamil Mosquera, A. (2021). *Tesis*. Retrieved from Estudio de

factibilidad para la producción y comercialización de carbón ecológico hecho a base



de corteza de cacao en la provincia del Guayas:

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16090/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-601.pdf>

Deyler Castilla Caballero, J. B. (2020, febrero). Datos experimentales sobre la producción y caracterización de biocarbones derivados de residuos de cáscara de coco obtenidos en la costa pacífica colombiana mediante pirólisis a baja temperatura.

ScienceDirect, p. 11.

Ecoproyectamos S.A. (n.d.). Retrieved from Ecoproyectamos S.A.:

<https://ecoprojectamos.com/>

Ecuador, M. d. (2024). *Subsidios, Proforma Presupuesto General del Estado 2024*.

Retrieved from <https://www.finanzas.gob.ec>: <https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=15294>

GAD. (2022). *Gestión de Residuos Sólidos en GAD Municipales*. Retrieved from

Estadística de Información Ambiental Económica Gobiernos Autónomos

Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos 2022:

https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2022/Residuos_Solidos/Presentacion_GIRS_2022vFINAL.pdf

GAMBOA, D. A. (2021). *Tesis*. Retrieved from INNOVACIÓN ENZIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN: REVISIÓN:

<http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/15337/1/236T0571.pdf>

García, E. C. (2022). *Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*. Retrieved from

Carbón mineral y biocarbón de la revolución industrial a la captura de carbono :

<https://contactos.izt.uam.mx/index.php/contactos/article/view/179/108>

Global. (2025). Retrieved from Global :

https://es.globalpetrolprices.com/natural_gas_prices/

Gutiérrez, E. D. (2017). *Tesis*. Retrieved from Análisis de la factibilidad para la creación de una empresa de producción de carbón orgánico mediante el reciclaje de la corteza de



coco con visión de exportación: <https://es.scribd.com/document/736764353/Mejia-Gutierrez-Estefany-Dayana>

Hernandez Vidal, N., López Bautista, Morales Morales, & Méndez Ordóñez. (2018).

Artículo. Retrieved from Caracterización química de la Fibra de Coco (Cocus nucifera L.) de México utilizando Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR):

https://www.researchgate.net/publication/338021067_Caracterizacion_quimica_de_la_Fibra_de_Coco_Cocus_nucifera_L_de_Mexico_utilizando_Espectroscopia_de_Infrarrojo_FTIR

INEC. (2023). Retrieved from Manual del Encuestador, supervisor y encuestador.:

https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/MANUAL_ESPAC_2023.pdf

Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) — Ministerio de Energía y Minas

(MEM), R. d. (2023). *Balance Energético Nacional 2023*. Quito: Ministerio de Energía y Minas, Ecuador. Av. República de El Salvador N36-64 y Suecia, Quito. Retrieved from www.recursoyenergia.gob.ec

Jaramillo Noreña, Martínez Esquivel, A., Nazarit Márquez, Leimar Denilson, & Pulido

Gómez, J. (2024). *Seminario de Investigación*. Retrieved from INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL DE LA CÁSCARA DE COCO EN LA FABRICACIÓN DE ESPONJAS SOSTENIBLES:

<https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/6885b59d-58b3-43b8-b7d5-b460385ec3ee/content>

La hora. (2025). Retrieved from La gasolina extra inicia 2025 sin subsidio estatal:

<https://www.lahora.com.ec/pais/gasolina-extra-inicia-2025-sin-subsidio-estatal/>

López A., V. E. (2013). *Atlas "Amazonía Ecuatoriana bajo presión"*. Quito-Ecuador.:

EcoCiencia.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). Retrieved from Ministerio de Agricultura y

Ganadería: <https://www.agricultura.gob.ec/el-coco-una-alternativa-para-la-reactivacion-de-esmeraldas/>



- ODS. (2022). Retrieved from Objetivos de desarrollo sostenible:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Puig Ventosa, I. M. (2018). Subsidios a los combustibles fósiles en Ecuador: diagnóstico y opciones para su progresiva reducción. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 28, 87–106.
- Puspanantasari, P. E. (2024, febrero). Energía renovable: briquetas de carbón a partir de cáscaras de coco. *researchgate*, p. 9.
- RACE. (2023). *Blog*. Retrieved from ¿Cuál es el poder calorífico de la gasolina?:
https://www.race.es/poder-calorifico-y-otros-combustibles?utm_source
- Rivera, J. T. (2024). *Tesis*. Retrieved from ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL COCO:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28798/1/UPS-GT005616.pdf>
- Rodríguez, L. Q. (2018). *Tesis*. Retrieved from ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MORTERO REFORZADO CON FIBRA DE COCO Y MODIFICADO CON ÓXIDO DE HIERRO:
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4228/Estudio%20del%20comportamiento%20mec%3%a1nico%20del%20mortero%20reforzado%20con%20fibra%20de%20coco%20y.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero Delgado Valeria Monserrate, R. Z. (2020). Análisis de la cadena agroalimentaria del coco (cocos nucifera) en la provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica*, 30.
- Subsidio a los Combustibles en Ecuador*. (2024). Retrieved from Subsidio a los Combustibles en Ecuador: <https://iceberg-actuarial.com/2024/07/03/subsidio-a-los-combustibles-en-ecuador/>
- Swapan Suman, D. S. (2017). Pyrolysis of coconut husk biomass: Analysis of its biochar properties. *Researchgate*, 9.
- Torres, J. (2024). *Tesis*. Retrieved from Elaboración de carbón activado a partir del endocarpio del coco: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28798/1/UPS-GT005616.pdf>



Urbina, R. O. (2021). *Revista*. Retrieved from Comparación del poder calorífico de la fibra de coco con la madera del algarrobo:

https://www.utec.edu.sv/media/publicaciones/flips/revista_entorno/72/files/file.pdf?utm_source

Willis, G. (2021). *Revista Sciencedirect*. Retrieved from Biocarbonos como medios para sistemas de control de la contaminación del aire: eliminación de contaminantes, aplicaciones y futuras direcciones de investigación:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720357788?via%3>

Dihub



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

