



Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia

Christian Rojas Rivera

Universidad EAN

Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas

Maestría en Administración de Empresas – MBA Ciudad, Colombia

26/08/2025

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio
o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la
agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia

Christian Rojas Rivera

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Administración de Empresas – MBA

Directora:

Marie José Chéry Leal

Modalidad:

Monografía

Universidad EAN

Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas

Maestría en Administración de Empresas – MBA Ciudad, Colombia

26/08/2025

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C., 25/082025

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo diseñar un modelo de aprovechamiento energético del residuo del endocarpio del coco (*Cocos nucifera*), generado por la agroindustria del municipio de Tumaco, Nariño, como alternativa sostenible para mitigar la pobreza energética en comunidades rurales. El proyecto se fundamenta en un enfoque de economía circular, en el cual los residuos agroindustriales se transforman en insumos energéticos mediante procesos de biodigestión anaerobia, promoviendo la sostenibilidad ambiental y el fortalecimiento de la resiliencia energética local.

La pobreza energética en Colombia se mide a través del Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE), el cual evalúa condiciones de acceso, calidad, asequibilidad y sostenibilidad del servicio energético. En la región Pacífica, departamentos como Chocó, Cauca, Nariño y Valle del Cauca registran elevados niveles de pobreza energética, superando incluso el 50 % en algunos casos. Esta situación evidencia una marcada desigualdad frente a las zonas urbanas del país y resalta la necesidad de priorizar territorios como Tumaco en la implementación de alternativas energéticas sostenibles y equitativas.

La investigación es de tipo aplicada, con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), alcance descriptivo y diseño transversal. El enfoque cuantitativo permitió el análisis de variables como volumen del residuo, potencial energético y costos asociados, mientras que el enfoque cualitativo facilitó la comprensión del contexto social mediante entrevistas y encuestas a actores clave de la cadena productiva. Se desarrolló un análisis técnico-económico del potencial energético del endocarpio de coco, apoyado en mediciones de volumen residual, caracterización fisicoquímica, simulaciones de generación de biogás,

estimación de costos e indicadores financieros. A su vez, se realizaron entrevistas semiestructuradas y encuestas a actores locales de la cadena productiva para identificar barreras sociales y operativas, así como una revisión normativa sobre transición energética y valorización de biomasa en Colombia.

Los resultados preliminares indican que el residuo del coco posee un poder calorífico de hasta 16,77 MJ/kg, lo que permite estimar una cobertura de entre el 20 % y 40 % de la demanda energética de pequeñas agroindustrias locales mediante biodigestores modulares. Se proyecta una reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero y una mejora en la eficiencia del uso del recurso energético. El modelo propuesto contempla el acopio del residuo, su pretratamiento, conversión en biogás y aprovechamiento del digestato como biofertilizante, demostrando su viabilidad técnica, ambiental y financiera.

Asimismo, se plantea una estrategia escalable y replicable en otras zonas rurales del Pacífico colombiano con condiciones agroindustriales similares, dado que Colombia cuenta con una amplia disponibilidad de biomasa residual agroindustrial, particularmente en cadenas productivas como la palma de aceite, la caña de azúcar, el cacao, entre otros residuos. Estas industrias generan volúmenes significativos de subproductos lignocelulósicos a partir de los cuales se podría obtener biogás lo que facilitaría la adaptación tecnológica del modelo hacia nuevos territorios. Esta propuesta contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a la transición energética justa y al cierre de brechas de exclusión territorial mediante soluciones descentralizadas, limpias e inclusivas.

Palabras clave: Biomasa, Coco, Desarrollo energético, Modelo de economía circular, Endocarpio, Tumaco.

Abstract

This study aims to design a model for the energy recovery of coconut endocarp (*Cocos nucifera*) waste, generated by the agroindustry of the municipality of Tumaco, Nariño, as a sustainable alternative to mitigate energy poverty in rural communities. The project is based on a circular economy approach, in which agroindustrial residues are transformed into energy inputs through anaerobic biodigestion processes, promoting environmental sustainability and strengthening local energy resilience.

Energy poverty in Colombia is measured through the Multidimensional Energy Poverty Index (IMPE), which evaluates conditions of access, quality, affordability, and sustainability of energy services. In the Pacific region, departments such as Chocó, Cauca, Nariño, and Valle del Cauca report high levels of energy poverty, exceeding 50% in some cases. This situation highlights a marked inequality compared to urban areas of the country and underscores the need to prioritize territories like Tumaco for the implementation of sustainable and equitable energy alternatives.

The research is applied in nature, with a mixed-methods approach (quantitative and qualitative), descriptive scope, and cross-sectional design. The quantitative approach enabled the analysis of variables such as waste volume, energy potential, and associated costs, while the qualitative approach facilitated the understanding of the social context through interviews and surveys with key actors in the production chain. A techno-economic analysis of the coconut endocarp's energy potential was conducted, supported by residual volume measurements, physicochemical characterization, biogas generation simulations, cost estimations, and financial indicators. Additionally, semi-structured interviews and surveys with local actors of the production chain were carried out to

identify social and operational barriers, along with a regulatory review on energy transition and biomass valorization in Colombia.

Preliminary results indicate that coconut waste has a calorific value of up to 16.77 MJ/kg, which allows estimating coverage of between 20% and 40% of the energy demand of small local agroindustries through modular biodigesters. A significant reduction in greenhouse gas emissions and improved efficiency in energy resource use is projected. The proposed model includes waste collection, pretreatment, conversion into biogas, and the use of digestate as a biofertilizer, demonstrating its technical, environmental, and financial feasibility.

Furthermore, a scalable and replicable strategy is proposed for other rural areas of the Colombian Pacific with similar agroindustrial conditions, given that Colombia has a broad availability of agroindustrial biomass residues, particularly from value chains such as palm oil, sugarcane, and cocoa, among others. These industries generate significant volumes of lignocellulosic byproducts that could be used to produce biogas, facilitating the technological adaptation of the model in new territories.

This proposal contributes to the achievement of the Sustainable Development Goals, a just energy transition, and the reduction of territorial exclusion gaps through decentralized, clean, and inclusive solutions.

Keywords: Biomass, Coconut, Circular economy model, Energy development, Endocarp, Tumaco,

Contenido

Resumen	4
Abstract	6
Introducción	14
Objetivos	21
<i>Objetivo General</i>	21
<i>Objetivos Específicos</i>	21
Justificación	22
Marco Referencial	24
<i>Casos de Éxito</i>	24
Marco Teórico	30
<i>Desarrollo sostenible y objetivos de desarrollo sostenible (ODS)</i>	30
<i>Bioeconomía</i>	33
<i>Economía Circular</i>	35
<i>Metodologías de Valoración de Residuos</i>	38
<i>Cadenas de Valor Agroindustriales</i>	40
Marco Conceptual	43
<i>Sistemas Energéticos Renovables</i>	44
<i>Transición Energética</i>	46
<i>Biomasa Residual y Biodigestión Anaeróbica</i>	48
Marco Contextual	53
<i>Sistema Energético en Colombia</i>	54
<i>Producción y Aprovechamiento del Coco en Tumaco</i>	56
Hipótesis	60

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia	9
<i>Hipótesis específicas</i>	60
Variables	63
Metodología	67
<i>Enfoque y alcance de la investigación</i>	68
<i>Fases de la investigación</i>	69
<i>Fase 1: Diagnóstico y caracterización de la cadena de suministro del coco en Tumaco y de las variables que inciden en la generación del residuo del endocarpio</i>	70
<i>Fase 2: Evaluación del potencial de generación de biogás y energía del endocarpio del coco por biodigestión en el municipio de Tumaco</i>	72
<i>Fase 3: Propuesta de un modelo de economía circular para la generación de biogás y energía a partir de la valorización de los desechos del endocarpio o concha en la cadena de abastecimiento del coco en Tumaco, Nariño</i>	73
<i>Fase 4: Análisis del modelo propuesto desde las dimensiones técnica, financiera y social en el municipio de Tumaco</i>	75
Resultados	81
<i>Fase 1 Resultados: Diagnóstico y caracterización de la cadena de suministro del coco en Tumaco y de las variables que inciden en la generación del residuo del endocarpio</i>	81
Recolección y análisis de información secundaria	83
Cadena productiva del coco en Tumaco.	88
Trabajo de Campo	100
<i>Fase 2 Resultados: Evaluación del potencial de generación de biogás y energía del endocarpio del coco por biodigestión en el municipio de Tumaco</i>	107
<i>Fase 3 Resultados: Propuesta de un modelo de economía circular para la generación de biogás y energía a partir de la valorización de los desechos del endocarpio o concha en la cadena de abastecimiento del coco en Tumaco, Nariño</i>	118

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia	10
--	----

<i>Fase 4 Resultados: Análisis del modelo propuesto desde las dimensiones técnica, financiera y social en el municipio de Tumaco</i>	124
Conclusiones	132
Recomendaciones	135
Referencias	137
Anexo I	160

Listado de Figuras

<i>Figura 1 El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular:</i>	27
<i>Figura 2 Objetivo desarrollo sostenible ODS</i>	31
<i>Figura 3 Evaluación del progreso de los 17 objetivos basada en las metas evaluadas, 2024 (porcentaje)</i>	32
<i>Figura 4 Extracción de energía primaria Colombia desde 1975 a 2023</i>	45
<i>Figura 5 Esquema de un biodigestor</i>	50
<i>Figura 6 Partes del Coco</i>	58
<i>Figura 7 Diseño metodológico</i>	68
<i>Figura 8 Fases de crecimiento de la Palma de Coco</i>	84
<i>Figura 9 Palma enana y alta con sus características</i>	85
<i>Figura 10 Partes del coco, pesos y porcentajes</i>	86
<i>Figura 11 Cadena productiva actual del coco en Tumaco</i>	89
<i>Figura 12 Cadena productiva del Coco en Tumaco</i>	92
<i>Figura 13 Cáscara de coco (estopa) en orillas o lugar de cultivo</i>	93
<i>Figura 14 Forma de compra de los intermediarios a los cultivadores</i>	94
<i>Figura 15 Instalaciones de El centro de Investigación de Agrosavia El Mira, en Tumaco</i>	101
<i>Figura 16 Pertenencia de los productores de coco encuestados a las organizaciones o consejo comunitarios</i>	103
<i>Figura 17 Antigüedad del cultivo de coco en los entrevistados</i>	104
<i>Figura 18 Palmas por hectárea y pesos de cocos</i>	107
<i>Figura 19 Diseño de zona de secado material orgánico</i>	119
<i>Figura 20 Área para utilizar para la instalación de los biodigestores</i>	120
<i>Figura 21</i>	122

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia	12
--	----

Listado de Tablas

Tabla 1 <i>Hipótesis y objetivos</i>	61
Tabla 2 <i>Variables para el modelo de generación de energía a partir de residuos de coco</i>	63
Tabla 3 <i>Trazabilidad de objetivos</i>	76
Tabla 4 <i>Cronograma del Proyecto por fases y actividades</i>	77
Tabla 5 <i>Limitaciones esperadas y estrategias de mitigación por fase del Proyecto</i> ...	79
Tabla 6 <i>Matriz DOFA para Economía Circular del coco en Tumaco</i>	95
Tabla 7 <i>Análisis PESTEL para Economía Circular del coco en Tumaco</i>	98
Tabla 8 <i>Caracterización fisicoquímica de los residuos de coco</i>	109
Tabla 9 <i>Cálculo del volumen total de biogás generado</i>	112
Tabla 10 <i>Costos asociados para Biodigestor</i>	113
Tabla 11 <i>Costos asociados al mantenimiento anuales Biodigestor</i>	114
Tabla 12 <i>Evaluación de impactos ambientales de la construcción e instalación del biodigestor</i>	116
Tabla 13 <i>Equivalencias energéticas y sociales del biogás generado por hectárea</i> ...	117
Tabla 14 <i>Elementos del modelo de economía circular del aprovechamiento del endocarpio</i>	119
Tabla 15 <i>Volumen semanal de digestato</i>	120
Tabla 16 <i>Costo de maquinaria para la Generación de energía a partir de biogás</i>	122
Tabla 17 <i>Indicadores técnicos, ambientales y económicos</i>	123
Tabla 18 <i>Indicadores financieros de la inversión y proyecto pesimista</i>	126
Tabla 19 <i>Indicadores financieros de la inversión y proyecto con subsidio del gobierno a la inversión inicial, escenario base</i>	126

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia 13

Tabla 20 <i>Indicadores financieros de la inversión y proyecto con subsidio del gobierno a la inversión inicial, escenario optimista</i>	127
Tabla 21 <i>Análisis DOFA de implementación del modelo de economía circular basados en el residuo del endocarpio</i>	127
Tabla 22 <i>Tabla Resumen</i>	130

Introducción

Colombia enfrenta una profunda brecha en el acceso y calidad de los servicios básicos entre las zonas urbanas y rurales. Factores como la ubicación geográfica, la baja inversión en infraestructura, las condiciones de seguridad y la limitada capacidad institucional han limitado históricamente el desarrollo de muchas regiones del país, en especial aquellas con poblaciones dispersas y con un alto nivel de dependencia del sector agropecuario. Entre estos servicios esenciales, el acceso a la energía eléctrica destaca como uno de los más críticos, dado su impacto directo sobre la productividad, la educación, la salud y la calidad de vida en general.

En este escenario, el presente estudio se enfoca específicamente en analizar la viabilidad técnica, social y económica de transformar el residuo del endocarpio del coco en energía eléctrica mediante biodigestión anaerobia, como estrategia para mitigar la pobreza energética en las zonas rurales del municipio de Tumaco

En las zonas rurales, el suministro de energía suele ser inestable, costoso o, en algunos casos, inexistente. Este contexto ha impulsado el interés por fuentes alternativas de energía más sostenibles y adaptadas a las condiciones locales. Tecnologías como la solar, eólica, geotérmica y de biomasa han sido identificadas como oportunidades clave para la diversificación energética, especialmente en territorios con baja cobertura de la red eléctrica. Según Cortés y Arango (2017), estos sistemas se consolidan como una alternativa viable frente a los impactos del cambio climático y los altos costos de los combustibles fósiles. Sin embargo, algunas de estas fuentes, como la solar o la eólica, dependen de variables ambientales incontrolables, lo que limita su aplicabilidad en ciertas zonas o contextos.

En contraste, el uso de biomasa residual se presenta como una opción técnicamente viable y ambientalmente sostenible para producir energía en regiones rurales. Colombia, por su diversidad agroecológica, genera una importante cantidad de residuos agrícolas que pueden ser transformados en biogás y energía eléctrica mediante procesos como la digestión anaerobia. La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2010) identificó el alto potencial energético de la biomasa residual en distintas regiones del país, destacando que la falta de valorización de estos residuos representa una oportunidad desaprovechada para el desarrollo energético rural.

Dentro de esta categoría, el endocarpio del coco ha sido identificado como un residuo agroindustrial con alto poder calorífico (hasta 16,77 MJ/kg) y disponibilidad constante en zonas como Tumaco. Su estructura lignocelulósica lo hace adecuado para procesos termoquímicos o biológicos como la biodigestión, tal como lo evidencian experiencias en Ecuador, Brasil y Sri Lanka (Pico Tola et al., 2024; Rocha et al., 2020). No obstante, estudios como el de Priya y Sampath Kumar (2019) señalan que la baja degradabilidad del polvo de coco se debe a su alto contenido de lignina y sólidos disueltos totales, lo que limita la acción microbiana sobre la celulosa. A pesar de estas restricciones, investigaciones recientes como la de Díaz et al., desarrollada en la Universidad EAN en el marco de este proyecto, han demostrado el potencial de obtención de biogás a partir de los residuos de coco, evidenciando que, bajo condiciones técnicas apropiadas, es posible aprovechar este subproducto como insumo energético.

Esta viabilidad técnica, sumada a la posibilidad de articular procesos locales de recolección y transformación, justifica su inclusión como fuente energética alternativa.

Una de las regiones con mayor disponibilidad de biomasa y mayores índices de pobreza energética es el Pacífico colombiano. En particular, el municipio de Tumaco,

ubicado en el departamento de Nariño, se caracteriza por su vocación agroindustrial, siendo uno de los principales productores de coco del país. No obstante, enfrenta múltiples desafíos estructurales que limitan su desarrollo económico. La cadena productiva del coco, aunque activa, genera una gran cantidad de residuos, entre ellos el endocarpio o concha del fruto, que no es aprovechado de forma sistemática y termina como desecho orgánico sin valor. Esta situación contrasta con su potencial energético, dado que este tipo de biomasa es densa, resistente y adecuada para procesos de transformación energética como la biodigestión.

Según el Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE) de 2023, en Colombia dos de cada diez personas viven en condiciones de pobreza energética, lo que representa cerca de 9,6 millones de habitantes. La situación es aún más crítica en las zonas rurales remotas, donde la brecha frente a los centros urbanos puede ser hasta once veces mayor. En la región Pacífica, departamentos como Chocó, Cauca, Nariño y Valle del Cauca presentan indicadores superiores al 30 %: Chocó con 57,7 %, Cauca con 37,9 %, Nariño con 44,7 % y Valle del Cauca con 31,5 %. Estas cifras evidencian la urgencia de implementar soluciones energéticas sostenibles adaptadas al territorio.

Actualmente, no existe un modelo técnico-económico validado para el aprovechamiento del residuo del coco como fuente energética en Tumaco, lo que representa una brecha crítica entre la generación de residuos orgánicos agroindustriales y el acceso universal a energía limpia. Esta monografía propone contribuir al cierre de dicha brecha mediante el diseño de una alternativa energética viable, ajustada al contexto productivo y social de la región.

A diferencia de enfoques experimentales aislados, el modelo diseñado para Tumaco incorpora no solo la valorización del endocarpio del coco mediante

biodigestores, sino también el aprovechamiento del digestato como biofertilizante, la participación activa de las comunidades productoras en la cadena de valor y la evaluación financiera de su escalabilidad. La iniciativa no constituye solo la generación de biogás sino que se constituye una estrategia de transición energética justa, que reduce la pobreza energética, cierra ciclos productivos y fortalece la resiliencia territorial. A diferencia de otras iniciativas energéticas en Colombia que se han centrado en residuos como la cascarilla de arroz, el bagazo de caña, no existen antecedentes documentados de la implementación de biodigestores que utilicen de manera directa los residuos de coco como sustrato principal

Por otro lado, es importante destacar que el cultivo de coco en la región enfrenta amenazas sanitarias como la enfermedad del anillo rojo, una afección significativa causada por el nematodo *Bursaphelenchus cocophilus*, transmitido por el picudo negro de las palmas (*Rhynchophorus palmarum*) (Agrosavia, 2010). Esta plaga no solo afecta la productividad, sino que también implica la pérdida de materia prima y el abandono de cultivos, agravando la situación económica de los productores. Para su control se han implementado estrategias como el uso de trampas, manejo fitosanitario y eliminación de palmas infectadas, lo que contribuye parcialmente a reducir la propagación, pero no resuelve el problema estructural de fondo.

A pesar de estos desafíos, Tumaco cuenta con condiciones ambientales favorables, disponibilidad de biomasa, mano de obra local y una agroindustria activa que podría beneficiarse significativamente de la implementación de soluciones energéticas circulares. El aprovechamiento del endocarpio del coco para la producción de biogás representa una alternativa concreta y replicable. Mediante el uso de biodigestores modulares alimentados por esta biomasa residual, es posible generar energía eléctrica y

gas para autoconsumo agroindustrial, reduciendo los costos operativos y mejorando la autonomía energética de los productores.

La propuesta se enmarca en los principios de la economía circular al valorizar residuos, reducir impactos ambientales y promover una producción más eficiente y sostenible, en consonancia con la Ley 2099 de 2021 sobre Transición Energética, que impulsa el uso de fuentes no convencionales de energía en Colombia. Asimismo, se articula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7, al ofrecer una fuente de energía limpia, descentralizada y adaptada al contexto rural de Tumaco, el ODS 12, al transformar un residuo agroindustrial en materia prima para la generación de biogás y biofertilizante, cerrando ciclos productivos bajo un enfoque circular; y el ODS 13, al mitigar emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la descomposición de residuos al aire libre. De manera complementaria, responde al espíritu del Acuerdo de Escazú al plantear soluciones energéticas participativas, inclusivas y adaptadas a comunidades históricamente marginadas, garantizando transparencia en la información y equidad en la distribución de beneficios.

Por tanto, esta monografía propone analizar el potencial de generación de energía a partir del endocarpio del coco como alternativa para la agroindustria de Tumaco, evaluando su viabilidad técnica, social y ambiental, y proponiendo un modelo basado en los principios de economía circular. Esta iniciativa busca contribuir al cierre de brechas energéticas en territorios históricamente excluidos, generar valor a partir de residuos subutilizados y fortalecer las capacidades locales para una transición energética justa e inclusiva.

En este contexto, la valorización del endocarpio del coco mediante procesos de biodigestión se presenta como una oportunidad estratégica para promover un modelo de

desarrollo energético local, sostenible y adaptado a las condiciones territoriales del municipio de Tumaco. La presencia de una agroindustria activa, junto con la abundancia de biomasa residual y las necesidades energéticas no resueltas, plantean un escenario propicio para la formulación de soluciones circulares que integren la dimensión ambiental, técnica, económica y social. Sin embargo, persisten desafíos en la recolección, acondicionamiento y transformación del residuo, así como en la adopción de tecnologías apropiadas para el contexto rural costero. En consecuencia, esta monografía se orienta a analizar dicho potencial y a formular una propuesta viable que responda a esta problemática. Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo formular un modelo de economía circular que permita valorizar el residuo del endocarpio del coco para la generación de energía eléctrica en el municipio de Tumaco, Nariño, contribuyendo al abastecimiento energético de su agroindustria local?

En este sentido, la presente monografía se estructura en cinco capítulos. En la primera parte se aborda el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación. Posteriormente se describe el marco teórico, centrado en los conceptos de economía circular, biomasa, aprovechamiento energético y biodigestión anaeróbica. En la tercera parte se desarrolla la metodología utilizada, especificando el tipo de investigación, enfoque, diseño, técnicas e instrumentos aplicados para el análisis técnico, social y económico del residuo del endocarpio de coco en Tumaco. El capítulo cuatro presenta los resultados obtenidos, que incluyen el diagnóstico del potencial energético del residuo, su caracterización fisicoquímica, y la propuesta del modelo de aprovechamiento energético bajo un enfoque de economía circular. Finalmente, se ofrecen las conclusiones, recomendaciones y limitaciones del estudio, orientadas a fortalecer el uso

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia

20

sostenible de los residuos agroindustriales como solución energética en territorios rurales con altos niveles de pobreza energética.

Objetivos

Objetivo General

Formular un modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio del coco orientado a la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia.

Objetivos Especificos

Diagnosticar las condiciones técnicas, productivas, logísticas y socio energéticas de la cadena agroindustrial del coco en Tumaco, identificando las variables que influyen en la generación y gestión del residuo del endocarpio.

Evaluar el potencial energético del residuo del endocarpio del coco mediante su caracterización fisicoquímica y su aprovechamiento por biodigestión anaerobia en el municipio de Tumaco.

Proponer un modelo de economía circular para la valorización del endocarpio del coco en Tumaco, orientado a la generación sostenible de energía.

Analizar la factibilidad técnica y social, y la viabilidad financiera del modelo propuesto para la generación de energía a partir del endocarpio del coco.

Justificación

En Colombia, el acceso equitativo a servicios básicos como energía eléctrica, agua potable y gas domiciliario sigue siendo un desafío estructural, particularmente en zonas rurales y periféricas. Esta brecha evidencia la necesidad de soluciones sostenibles e innovadoras para el desarrollo local, sobre todo en territorios con altos índices de pobreza y exclusión energética, como Tumaco, en la costa pacífica nariñense.

Según el Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE), en Tumaco el 44,7 % de la población se encuentra en condiciones de pobreza energética, muy por encima del promedio nacional y comparable con Chocó (57,7 %) y Cauca (37,9 %) (UPME, 2022). Esto afecta tanto a hogares como a pequeñas agroindustrias, limitando productividad y crecimiento. Aunque la región está conectada al Sistema Interconectado Nacional (SIN), persisten graves deficiencias en infraestructura eléctrica, con interrupciones constantes que afectan hogares y agroindustria (Alarcón Chaparro, 2017). Las condiciones geográficas, la dispersión poblacional y las dificultades logísticas agravan el panorama (Schimer Soares et al., 2023). De acuerdo con el diagnóstico socioeconómico y agropecuario 2010–2019, la desigualdad y exclusión de la región restringen aún más la capacidad de los hogares para costear fuentes alternativas de energía (Rendón, Vergara, Mora & Gutiérrez Martínez, 2023).

En paralelo, Tumaco enfrenta un manejo inadecuado de residuos derivados del cultivo y procesamiento del coco, especialmente del endocarpio y el mesocarpio. Se estima que el municipio genera más de 30.000 toneladas de residuos anuales, gran parte endocarpio, un material denso con alto poder calórico, apto para biodigestión anaerobia

(Pico Tola et al., 2024). Su inadecuada disposición genera externalidades negativas como proliferación de plagas, emisiones y gases de efecto invernadero.

El Censo Socioeconómico de Productores de Coco en Tumaco revela que un 20% de los hogares aún cocina con leña y un 78% usa gas en cilindro (ESCE, 2019).

Ante esta doble problemática exclusión energética y desaprovechamiento de residuos agroindustriales, esta investigación plantea un modelo de economía circular basado en la valorización energética del endocarpio de coco mediante biodigestores modulares. Esta tecnología transforma residuos en biogás para generación eléctrica y digestato para uso agrícola, reduciendo dependencia frente al operador CEDENAR y fortaleciendo la resiliencia de la agroindustria local (Alarcón Chaparro, 2017).

Desde lo económico, el modelo plantea un retorno económico atractivo al reducir costos energéticos, generar excedentes y empleo, al tiempo que se articula con políticas del Ministerio de Agricultura y la Ley 2099 de 2021 del Ministerio de Minas y Energía, así como con el interés de Tumaco en integrarse a la Comunidad Internacional del Coco (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

La propuesta incluye análisis fisicoquímicos del endocarpio, evaluación energética y modelación financiera (VAN, TIR, punto de equilibrio), con el diseño de biodigestores adaptados al contexto rural costero. Su diferencial es abordar un residuo poco aprovechado mediante un enfoque integral energético, ambiental, social y financiero, en contraste con iniciativas centradas en el mesocarpio. En conjunto, busca impulsar una transición energética justa en Tumaco, convirtiendo una externalidad ambiental en un recurso estratégico para la sostenibilidad y el bienestar comunitario.

Marco Referencial

Este capítulo tiene como propósito establecer los fundamentos conceptuales, teóricos, contextuales y empíricos que sustentan la formulación de un modelo de economía circular para el aprovechamiento energético del residuo del endocarpio del coco en Tumaco, Nariño. Para ello, se estructura en cinco apartados: la revisión de literatura, el marco teórico, el marco conceptual, el marco contextual y una sección inicial que introduce la visión global del marco referencial.

En la revisión de literatura se presentan antecedentes y casos de éxito, tanto a nivel nacional como internacional, sobre la valorización de residuos agroindustriales y la implementación de modelos sostenibles en contextos similares. El marco teórico expone los conceptos claves que orientan esta investigación, incluyendo el desarrollo sostenible, la bioeconomía, la economía circular, las metodologías para valorar residuos orgánicos y el enfoque de cadena de valor. El marco conceptual profundiza en los sistemas energéticos renovables, la transición energética y el papel de la biomasa residual como fuente alternativa. Por su parte, el marco contextual describe el panorama energético colombiano, las condiciones estructurales del municipio de Tumaco y la situación actual de la cadena productiva del coco.

Casos de Éxito

A continuación se presenta un análisis de antecedentes relevantes y casos de éxito que demuestran la viabilidad técnica, económica y ambiental del aprovechamiento energético de residuos agroindustriales, particularmente en el marco de modelos de economía circular. Se incluyen ejemplos nacionales e internacionales que ilustran

estrategias innovadoras aplicadas al uso de biomasa residual, como la cáscara de arroz, los residuos del cacao y el coco. Estas experiencias permiten identificar buenas prácticas, barreras comunes, lecciones aprendidas y su aplicabilidad en contextos similares al municipio de Tumaco. La revisión de literatura aporta así elementos fundamentales para sustentar la pertinencia de esta investigación y orientar el diseño de un modelo replicable y adaptado a las condiciones locales.

La literatura reciente sobre economía circular destaca la necesidad de transitar del modelo lineal de producción (extraer, usar, desechar) hacia esquemas que prioricen la eficiencia en el uso de recursos, el cierre de ciclos productivos y la reducción del impacto ambiental. Cerdá y Khalilova (2016) advierten que el modelo lineal se ha tornado obsoleto e insostenible para las comunidades y ecosistemas, mientras que la economía circular plantea una alternativa que maximiza el valor de los materiales y subproductos a través de su reincorporación en nuevos procesos productivos.

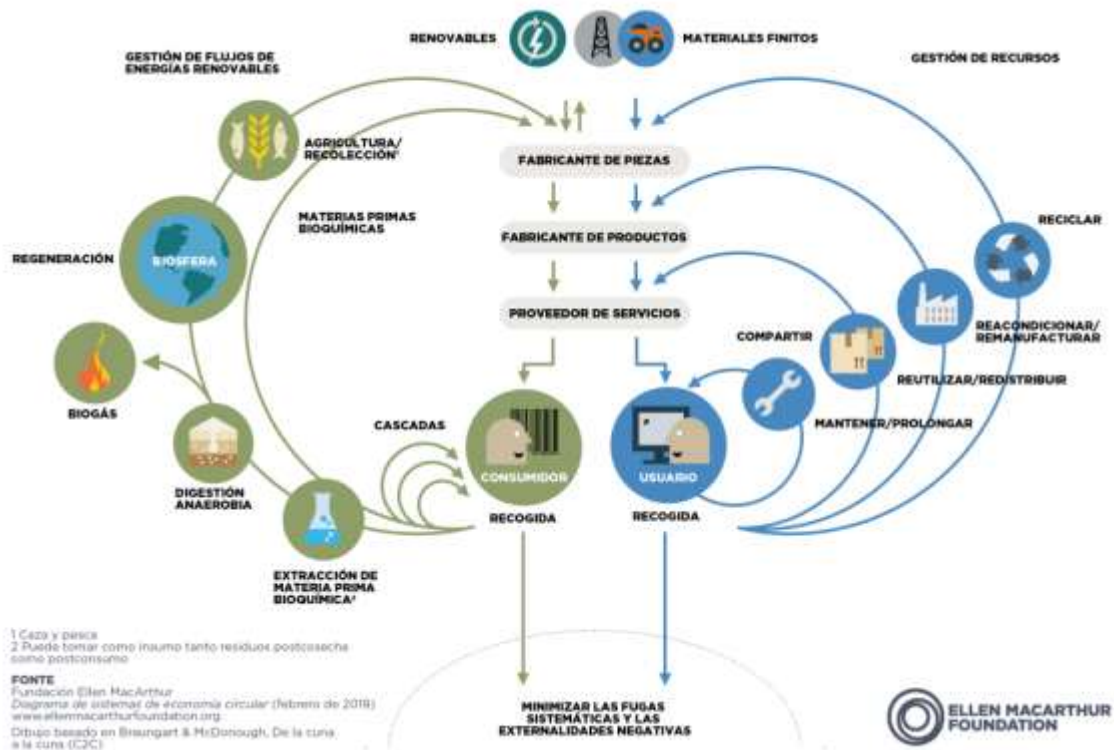
Adicionalmente la academia reciente refuerza la visión al demostrar que los modelos de bioenergía basados en residuos agroindustriales presentan una viabilidad creciente, aunque con desafíos importantes, algunos ejemplos como lo presenta Rao et al. (2022) destacan que la producción de biogás a partir de residuos agrícolas puede ser altamente eficiente si se aplican pretratamientos adecuados y se aseguran condiciones técnicas y logísticas apropiadas. De manera similar, Sawatdeenarunat et al. (2021) analizan los obstáculos de la digestión anaeróbica de biomasa lignocelulósica como el endocarpio del coco, señalando la importancia de adaptar las tecnologías a las características específicas del residuo. En América Latina, Zambrano et al. (2023) identifican barreras estructurales y oportunidades para escalar estos modelos en contextos rurales, haciendo énfasis en la necesidad de políticas públicas integradas y

financiamiento verde. Asimismo, Cheng et al. (2020) y Singh et al. (2021) muestran que la sostenibilidad económica de estos sistemas depende en gran medida de factores como la estacionalidad de los residuos, la capacitación comunitaria y la articulación con cadenas productivas locales. Estas evidencias académicas sustentan la pertinencia de avanzar en modelos circulares de bioenergía basados en residuos agroindustriales como el del coco, adaptados a las condiciones territoriales de municipios como Tumaco.

Uno de los enfoques fundacionales en esta línea es el planteado por el químico alemán Michael Braungart y el arquitecto estadounidense William McDonough, quienes desarrollaron la filosofía del diseño Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna). Este modelo propone que todos los materiales utilizados en los procesos industriales y productivos deben ser pensados desde su origen para reincorporarse continuamente al sistema productivo, ya sea como nutrientes biológicos o técnicos, eliminando así el concepto de residuo (Braungart & McDonough, 2002).

Según la Fundación Ellen MacArthur (s.f.), esta transición implica aplicar tres principios fundamentales: eliminar residuos y contaminación desde el diseño, mantener productos y materiales en uso el mayor tiempo posible, y regenerar los sistemas naturales. En la Figura 1 se puede observar el diagrama de mariposa que resume los principios de la economía circular. Complementariamente, el Parlamento Europeo (2023) propone una visión centrada en la reutilización, reparación, renovación y reciclaje de productos para extender su ciclo de vida útil, lo cual también contribuye a mitigar los daños causados por la actividad humana desde la Revolución Industrial (Raynal-Villaseñor, 2011).

Figura 1 El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular:



Nota: tomado de Ellen Macarthur Foundation (2024). Tomado de

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/el-diagrama-de-la-mariposa>

Entre las herramientas conceptuales que fortalecen este enfoque se encuentra el modelo de las 9R (repensar, reutilizar, reparar, restaurar, remanufacturar, reacondicionar, reducir, rediseñar, reciclar y recuperar), concebido por el Circular Economy Finance Expert Group en 2019. Estas estrategias buscan prolongar al máximo la vida útil de los materiales y evitar su disposición prematura en rellenos sanitarios (Muller & Fontronoda, 2021).

Adicionalmente, Geissdoerfer et al. (2017) realizaron una comparación sistemática entre la economía circular, el desarrollo sostenible y la economía verde, identificando sus puntos de convergencia y disonancia. Su análisis destaca que la

economía circular ofrece beneficios ambientales y económicos al cerrar ciclos productivos, pero su impacto social depende de la integración de marcos complementarios como la justicia energética y la transición justa, particularmente en contextos rurales y excluidos.

Varios casos de éxito evidencian cómo la economía circular puede generar valor agregado a partir de residuos agroindustriales. En Colombia, Burgos-Arcos et al (2025) documenta el uso de residuos de cacao para la producción de biometano mediante digestores anaeróbicos. En el mismo sentido, el Grupo Diana implementó una planta térmica en Casanare que aprovecha la cascarilla de arroz como combustible, logrando cubrir el 100% de su demanda energética y reducir más de 18.000 toneladas de CO₂ al año (Forbes Colombia, 2025). Igualmente, el estudio realizado por Preciado, et al (2022) destaca que la agroindustria genera miles de toneladas de residuos como cáscaras, pulpas y bagazos, los cuales representan recursos valiosos cuando se gestionan dentro de un modelo circular. Afirma además que la valorización mediante biogás, biofertilizantes y biomasa térmica es técnica y económicamente viable, siempre que se integren componentes técnicos, análisis de costos–beneficios y estrategias organizacionales adecuadas. Por último Riveros Cepeda (2024) abordó el aprovechamiento de residuos del coco para la producción de biodiésel mediante procesos de transesterificación alcalina, alcanzando rendimientos energéticos superiores al 96 %. Esta investigación demuestra el potencial técnico y económico del coco como materia prima para biocombustibles líquidos, y refuerza el valor de este residuo en el contexto de modelos de economía circular.

Ahora, en el ámbito internacional, existen países líderes en la producción de coco como Filipinas, India e Indonesia han desarrollado modelos que aprovechan la cáscara

para fabricar briquetas de biocombustible, carbón activado o materiales de construcción sostenibles (Oficina Económica y Comercial de España en Manila, 2023; Sánchez Saucedo, 2019). Estas experiencias reflejan el potencial del coco como recurso estratégico en una bioeconomía basada en el uso de residuos como fuentes de energía renovable.

Por su parte, organizaciones como el Stockholm Environmental Institute (SEI, 2023) y la GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) (2022) han promovido esquemas de cooperación técnica y financiamiento verde en América Latina para proyectos basados en energías renovables. GIZ (2022) destaca que entidades como Bancóldex, Finagro y Findeter han comenzado a incluir líneas de crédito para economía circular, aunque aún falta consolidar productos financieros específicos para esta clase de proyectos.

De igual forma, los biodigestores son ampliamente promovidos por Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023) y Sistema.bio como una de las soluciones más apropiadas para zonas rurales por su bajo costo operativo, adaptabilidad tecnológica y beneficios ambientales y agronómicos, especialmente en procesos de valorización de residuos orgánicos agroindustriales.

Finalmente, el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente los relacionados con energía asequible (ODS 7), producción responsable (ODS 12) y acción por el clima (ODS 13), depende en gran medida de la adopción de modelos circulares. La economía circular se presenta como una herramienta viable para enfrentar los desafíos ambientales y sociales del desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2024; Santurde Rubio & Castro Núñez, 2021).

Marco Teórico

El presente apartado desarrolla los fundamentos teóricos que sustentan esta propuesta investigativa. Se aborda el concepto de desarrollo sostenible como marco global para enfrentar los desafíos sociales, económicos y ambientales, vinculándolo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Posteriormente, se explora la bioeconomía como enfoque que impulsa el uso eficiente de recursos biológicos, seguido del análisis del modelo de economía circular y sus principios. También se incluyen las metodologías de valoración de residuos orgánicos, esenciales para estimar el potencial energético del endocarpio del coco, y se introduce el enfoque de cadenas de valor como herramienta para estructurar los procesos de transformación productiva en territorios rurales. Estos conceptos se interrelacionan para respaldar la propuesta de un modelo circular orientado a la generación de energía limpia a partir de residuos agrícolas.

Desarrollo sostenible y objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son metas establecidas desde 2015 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con el propósito de poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las condiciones de vida de las personas a nivel global para el año 2030 (Naciones Unidas, 2024). Se han definido un total de 17 objetivos, representados en la Figura 2, que guardan una estrecha relación con los principios de la economía circular.

Figura 2 Objetivo desarrollo sostenible ODS



Nota: Imagen tomada de CEPAL 2024. Tomado de

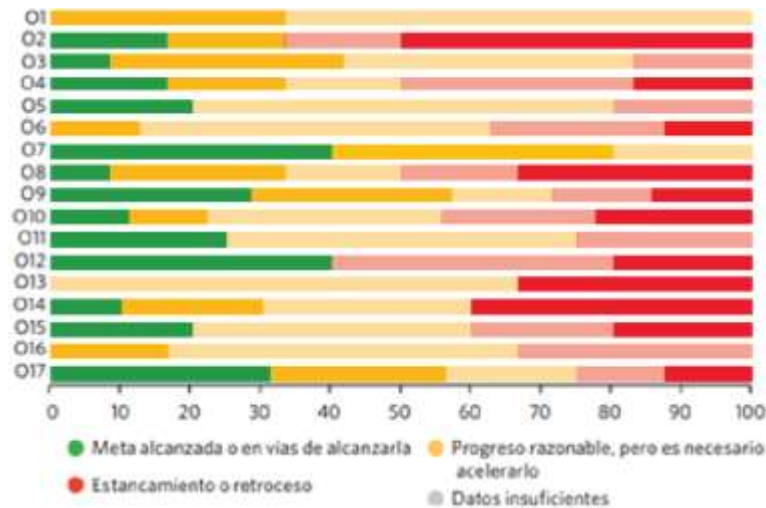
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

Tanto los ODS como la economía circular comparten una visión de sostenibilidad profunda y sistémica. Promueven el diseño de procesos sin generación de residuos, el uso eficiente de recursos y el aprovechamiento de energías renovables. Por ejemplo, los objetivos de agua limpia y saneamiento (ODS 6) y energía asequible y no contaminante (ODS 7) apelan a la necesidad de planificar desde el inicio productos o servicios que se inserten en un modelo circular. Asimismo, los ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) y 12 (producción y consumo responsables) refuerzan la importancia de aplicar estrategias como las 9R, que contribuyen a un pensamiento más sistémico y responsable con el ambiente. Finalmente, los ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (acción por el clima) destacan la urgencia de fomentar sistemas energéticos limpios que reduzcan las emisiones contaminantes y mejoren la resiliencia urbana (Santurde Rubio & Castro Núñez, 2021).

De acuerdo con Organización de las Naciones Unidas (2024), el avance hacia el cumplimiento de los ODS presenta grandes desafíos a nivel mundial, y es en este

contexto donde la economía circular emerge como una herramienta estratégica para acercarse a las metas propuestas en los planos económico, social y ambiental. En la Figura 3 se observa el estado de cumplimiento de las metas evaluadas para el 2024.

Figura 3 Evaluación del progreso de los 17 objetivos basada en las metas evaluadas, 2024 (porcentaje)



Nota: tomada de la Organización de las Naciones Unidas (2024). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2024.pdf>

En este sentido, la economía circular no solo se alinea con el ODS 12, sino que actúa como catalizador para el cumplimiento de múltiples ODS. Según Kirchherr et al (2017), este enfoque contribuye directamente a al menos 12 de los 17 objetivos, impactando positivamente en áreas como el trabajo decente (ODS 8), la infraestructura sostenible (ODS 9), la acción climática (ODS 13) y la protección de ecosistemas (ODS 15). De igual forma, la Fundación Ellen MacArthur (2019) destaca que la economía circular puede reducir hasta en un 45 % las emisiones de gases de efecto invernadero globales, al tiempo que mejora la resiliencia económica y la regeneración de sistemas naturales.

En el caso colombiano, la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) adoptada en 2019 se alinea explícitamente con los ODS y promueve nuevos modelos de negocio que contribuyen al cumplimiento de metas como el uso eficiente del agua, la producción sostenible, la bioenergía y la inclusión social (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). Esta articulación nacional representa un paso clave hacia la transición de Colombia hacia un modelo productivo sostenible y resiliente.

Bioeconomía

La bioeconomía surge como un paradigma que articula la sostenibilidad ambiental con el desarrollo económico, mediante el uso eficiente y responsable de los recursos biológicos. Se fundamenta en la utilización de la biomasa, la biodiversidad y los procesos biotecnológicos para generar productos, servicios y energía, promoviendo así un crecimiento económico que respeta los límites ecológicos del planeta (Bugge et al., 2016). En este sentido, la bioeconomía se alinea con los principios de la economía circular, al considerar los residuos como insumos para nuevos ciclos productivos, reduciendo la dependencia de recursos fósiles y fomentando la regeneración de los ecosistemas (D'Amato et al., 2020).

Uno de los pilares de la bioeconomía es la valorización de residuos orgánicos y subproductos agroindustriales, convirtiéndolos en bioproductos de alto valor agregado o en fuentes de energía renovable, como el biogás, el bioetanol o el biodiésel (FAO, 2013; Escobar et al., 2018). Esta perspectiva no solo busca maximizar el aprovechamiento de los recursos naturales, sino también dinamizar las economías locales y rurales mediante encadenamientos productivos más sostenibles, fortaleciendo así la resiliencia económica en zonas agrícolas y promoviendo empleos verdes (Piotrowski et al., 2016; El-Chichakli et al., 2016).

En el contexto colombiano, la bioeconomía ha sido reconocida como una herramienta clave para el desarrollo territorial, particularmente en zonas con alta biodiversidad y vocación agrícola como Tumaco. Según el documento CONPES 4020 de 2020, la Estrategia Nacional de Bioeconomía busca posicionar a Colombia como un referente latinoamericano en el uso sostenible de la biodiversidad, impulsando sectores como la biotecnología, la agroindustria y la generación de energías limpias a partir de residuos agrícolas. En línea con esto, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2024) ha priorizado inversiones en cadenas productivas como el cacao, el camarón y el coco, para fomentar su aprovechamiento sostenible e impulsar modelos de desarrollo basados en la bioeconomía.

El aprovechamiento energético del residuo del endocarpio del coco es un ejemplo claro de aplicación del enfoque bioeconómico. Este subproducto, comúnmente desechado, posee un alto contenido de carbono y materia orgánica, lo que lo hace idóneo para procesos como la biodigestión anaerobia, la gasificación o la pirólisis. Su transformación en biogás o biocarbón permite reducir emisiones de gases de efecto invernadero, disminuir la presión sobre los recursos fósiles y mejorar los ingresos de comunidades agrícolas mediante el acceso a fuentes de energía más limpias y económicas.

Además, la bioeconomía promueve el cierre de ciclos productivos mediante sinergias entre diferentes sectores. Por ejemplo, el residuo generado por la extracción de aceite de coco puede ser utilizado como insumo energético o como materia prima para la fabricación de fertilizantes orgánicos, paneles ecológicos o bioplásticos. Esta interconexión sectorial es coherente con el enfoque de las 9R propuesto por Muller y

Fontronoda (2021), el cual busca prolongar la vida útil de los materiales y mantenerlos en ciclos productivos el mayor tiempo posible.

Finalmente, la bioeconomía también conlleva implicaciones sociales, al generar empleo en zonas rurales, mejorar la seguridad energética y alimentar una transición justa hacia modelos productivos más resilientes y equitativos. Desde esta perspectiva, iniciativas como la producción de biogás en comunidades agrícolas no solo tienen un impacto ambiental positivo, sino que fortalecen la autonomía energética y la inclusión económica de sectores tradicionalmente marginados, como ocurre en Tumaco.

Economía Circular

La economía circular ha dejado de ser una propuesta exclusivamente ambiental para convertirse en una estrategia multisectorial que redefine las relaciones entre producción, consumo y sostenibilidad. En su base, plantea una transformación sistémica orientada a conservar el valor de los materiales, reducir la presión sobre los recursos naturales y fomentar la innovación a través del rediseño de procesos, productos y modelos de negocio.

Desde una perspectiva institucional, la economía circular ha ganado protagonismo en la agenda global. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha señalado que este modelo contribuye no solo a mitigar el cambio climático, sino también a incrementar la resiliencia de las economías frente a la volatilidad de los precios de materias primas y la escasez de recursos (OCDE, 2019). Además, la Comisión Europea ha promovido planes de acción que vinculan la circularidad con la competitividad industrial, la creación de empleo verde y el cumplimiento de metas climáticas a 2050.

En el contexto latinoamericano, la circularidad cobra especial relevancia debido a la abundancia de recursos biológicos y a los altos niveles de informalidad en la gestión de residuos. Esto abre oportunidades para vincular a comunidades rurales y pequeños productores a cadenas de valor sostenibles, enmarcadas en esquemas de bioeconomía circular. De hecho, uno de los desafíos clave identificados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2021) es articular estos procesos con políticas públicas inclusivas que permitan aprovechar las sinergias entre sostenibilidad ambiental y desarrollo social.

Además de sus fundamentos técnicos y económicos, la economía circular incorpora una dimensión cultural y educativa esencial para su implementación efectiva. La transformación de hábitos de consumo, el aumento de la conciencia sobre el ciclo de vida de los productos y la valorización del conocimiento local emergen como factores decisivos en la transición hacia sistemas más sostenibles y regenerativos (Fundación Ellen MacArthur, s.f.; Parlamento Europeo, 2023). Este proceso requiere el fortalecimiento de capacidades en diseño sostenible, gestión de residuos y adopción de tecnologías limpias, especialmente en territorios con alta vulnerabilidad socioambiental como Tumaco.

La digitalización también desempeña un papel clave como habilitador de la circularidad. Herramientas como la trazabilidad BlockChain, los pasaportes digitales de producto o los sistemas de logística inversa apoyados por inteligencia artificial permiten optimizar el uso de materiales, reducir pérdidas y mejorar la transparencia de las cadenas de suministro (Antikainen et al., 2018). En sectores como la agricultura y la agroindustria, estas tecnologías facilitan la recolección de datos sobre residuos, su

clasificación y su transformación en nuevas materias primas o fuentes de energía, lo que permite tomar decisiones más precisas y sostenibles (World Bank, 2023).

En términos de evaluación, la economía circular requiere métricas específicas que trasciendan las tasas convencionales de reciclaje. Indicadores como la intensidad de uso de materiales (Material Use Intensity, MUI), la productividad de los recursos, la tasa de cierre de ciclos y el valor retenido por unidad de insumo están siendo adoptados para monitorear el desempeño circular en sectores industriales y agroindustriales (Moraga et al., 2019).

Paralelamente, marcos metodológicos como el análisis de ciclo de vida (ACV), el análisis de la calidad de la energía y la evaluación de impacto social permiten cuantificar beneficios ambientales y sociales asociados a la circularidad, tales como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de empleo y la mejora del capital natural (Corona et al., 2019).

Finalmente, la economía circular no debe asumirse como un fin en sí mismo, sino como un medio para construir sociedades más resilientes y equitativas. Esto requiere integrar principios como la justicia ambiental, la democratización del acceso a recursos y tecnologías, y la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones. En este marco, Tumaco presenta una oportunidad estratégica para diseñar soluciones circulares que no solo mejoren la eficiencia energética, sino que fortalezcan las capacidades locales y promuevan una transición justa hacia un modelo de desarrollo regenerativo.

Si bien la economía circular se plantea como una alternativa regenerativa, su implementación ha sido cuestionada por su falta de claridad conceptual y métricas

unificadas (Kirchherr et al., 2017). Autores como Corvellec et al. (2021) advierten que su carácter difuso y su fuerte orientación tecnocrática pueden limitar su capacidad transformadora. En este sentido, aplicar el concepto de circularidad al aprovechamiento del residuo del coco en Tumaco exige un enfoque crítico que reconozca tanto las barreras tecnológicas propias de los residuos lignocelulósicos como las tensiones sociales y económicas del territorio. De lo contrario, el modelo corre el riesgo de presentar las limitaciones señaladas por Corvellec et al. (2021), convirtiéndose en un discurso atractivo pero insuficiente para garantizar ser una herramienta para la transición energética justa e inclusiva.

Metodologías de Valoración de Residuos

La valoración de residuos se constituye como una estrategia esencial dentro del modelo de economía circular, orientada a transformar subproductos y desechos en recursos con valor agregado. Su implementación favorece la reducción del impacto ambiental y estimula la creación de nuevas oportunidades económicas y sociales, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas para el 2030 (Naciones Unidas, 2024).

En el contexto de la industria del coco en Tumaco, la aplicación de metodologías de valoración requiere considerar las condiciones territoriales, la composición específica del residuo (principalmente el endocarpio o concha del coco) y el potencial técnico para su aprovechamiento energético. El primer paso en esta línea es la caracterización fisicoquímica del residuo, que permite identificar propiedades como el contenido de humedad, cenizas, carbono, lignina, celulosa y elementos volátiles. Estos parámetros son

esenciales para determinar su aptitud para procesos como la combustión, la gasificación o la producción de biocarbón (Klass, 1998).

Por ejemplo, la fibra de coco posee un poder calorífico de 16.77 MJ/kg, lo que evidencia su potencial para la generación de energía (Estela-Urbina et al., 2022). Además, su composición lignocelulósica influye directamente en la selección del proceso tecnológico más adecuado. Los residuos con alta proporción de lignina y celulosa pueden requerir pretratamientos específicos para mejorar su biodegradabilidad antes de ser utilizados en biodigestores (Azeta et al., 2021) En cambio, materiales con alta proporción de grasas y carbohidratos, como la pulpa de coco, presentan una mayor eficiencia para la generación de biogás (FAO, 2011).

A nivel metodológico, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), permite evaluar los impactos ambientales de todo el proceso de valorización, desde la recolección del residuo hasta la producción de energía. Este enfoque facilita la comparación entre distintos escenarios tecnológicos como la pirólisis, biodigestores o el uso directo en calderas (ISO, 2006). Complementariamente, el análisis de flujo de materiales (MFA) contribuye a cuantificar los insumos y productos del sistema, ayudando a identificar cuellos de botella y optimizar la eficiencia en el uso de recursos (Brunner & Rechberger, 2004).

En el marco de la economía circular, la evaluación debe incluir indicadores específicos como la intensidad de uso de materiales, la productividad de los recursos, la tasa de cierre de ciclos y el valor retenido por unidad de insumo. Estos indicadores permiten medir no solo la eficiencia técnica del sistema, sino también su capacidad de generar valor a lo largo del ciclo productivo (European Commission, 2020).

Finalmente, es fundamental que estas metodologías se adapten a las condiciones territoriales de Tumaco, una región con alta biodiversidad, limitado acceso a energía y fuerte dependencia de la agroindustria. La disponibilidad de datos primarios, la capacidad institucional y la participación comunitaria deben ser integradas en el diseño del modelo de valorización, de forma que se garantice su viabilidad y sostenibilidad en el tiempo (CEPAL, 2022).

En suma, las metodologías de valoración de residuos constituyen una herramienta integradora para avanzar hacia una economía regenerativa, resiliente e inclusiva, particularmente en territorios como Tumaco con alto potencial bioproductivo y necesidad de soluciones energéticas descentralizadas.

Cadenas de Valor Agroindustriales

La transición hacia una economía circular en territorios rurales y biodiversos como Tumaco requiere una comprensión profunda de las cadenas de valor agroindustriales, ya que estas estructuras productivas definen las oportunidades de intervención para la valorización de residuos y el fortalecimiento de sistemas sostenibles. En este contexto, las cadenas de valor agroindustriales constituyen un conjunto de actividades interrelacionadas que permiten agregar valor a los productos agrícolas desde su producción primaria hasta su transformación, comercialización y distribución final, involucrando a múltiples actores en el proceso (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2022).

Dentro del modelo de economía circular, las cadenas de valor agroindustriales deben ser reconfiguradas para incorporar prácticas regenerativas, ciclos cerrados de producción y reaprovechamiento de subproductos. La agroindustria del coco, en particular, representa una cadena con alto potencial para la circularidad debido a la

cantidad y diversidad de residuos que genera (fibra, cáscara, agua y pulpa), los cuales pueden ser utilizados como insumo para la generación de energía, compost, materiales de construcción o productos textiles. La integración de esta cadena con principios de circularidad no solo mejora la eficiencia en el uso de recursos, sino que además promueve un enfoque inclusivo al vincular a pequeños productores, asociaciones campesinas y comunidades locales, como lo promueve la Estrategia Nacional de Economía Circular (Minambiente, 2019).

Un componente esencial para el funcionamiento de estas cadenas circulares es la gobernanza y la articulación de actores. Una gobernanza colaborativa, a través de clústeres agroindustriales o redes territoriales, permite una mejor coordinación entre productores, transformadores, comercializadores y consumidores, promoviendo la integración vertical y horizontal, la transparencia y la confianza entre los eslabones de la cadena (Trienekens, 2011).

Asociado a ello, el enfoque de inclusión productiva es clave para convertir las cadenas de valor en una herramienta de desarrollo territorial. En Tumaco, la formalización de eslabones productivos y el empoderamiento jóvenes y comunidades étnicas puede contribuir a la equidad y al bienestar social (FAO, 2017) fortaleciendo la cohesión comunitaria y las capacidades locales.

El enfoque de bioeconomía circular complementa esta perspectiva al promover la diversificación de productos a partir del aprovechamiento integral de la biomasa. En el caso del coco, esto incluye la producción de aceites, harinas, biocombustibles, bioplásticos y fibras textiles, aprovechando todos los componentes para fortalecer el desarrollo local y la sostenibilidad económica (Carus & Dammer, 2018).

Además, es fundamental identificar cuellos de botella y brechas de inclusión en las cadenas actuales, especialmente en regiones como Tumaco donde prevalecen altos niveles de informalidad, limitaciones logísticas y acceso restringido a tecnologías. La promoción de modelos asociativos, la inversión en infraestructura rural y el fortalecimiento de capacidades locales son elementos clave para una inserción efectiva en cadenas circulares de valor.

Así mismo, el papel del Estado y de los mecanismos de financiación es determinante para materializar las estrategias anteriores. Instituciones como Finagro, Bancóldex y Findeter pueden apoyar el escalamiento de proyectos circulares mediante créditos verdes, garantías y fondos de innovación. Asimismo, los marcos de políticas públicas deben promover compras sostenibles, incentivos fiscales y acceso a fondos climáticos multilaterales (GIZ, 2022)

En Tumaco, la consolidación de una cadena circular del coco representa una estrategia clave para articular los recursos biológicos disponibles con procesos de transición energética, innovación social y cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La presente investigación no solo se sustenta en marcos conceptuales de economía circular, bioeconomía y transición energética, sino que también articula dichos enfoques con las decisiones metodológicas adoptadas. Así, la definición de pobreza energética a través del Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE) orienta la selección de indicadores sociales y energéticos empleados en el diagnóstico territorial (acceso, calidad, asequibilidad y sostenibilidad de la energía). Del mismo modo, los principios de economía circular como la eliminación de residuos, la prolongación del uso de materiales y la regeneración de sistemas naturales guían el diseño del modelo

propuesto, en el cual el endocarpio de coco deja de ser un desecho y se convierte en insumo energético y fertilizante mediante biodigestión.

La bioeconomía, entendida como el aprovechamiento de recursos biológicos para generar productos y energía, fundamenta la decisión metodológica de caracterizar fisicoquímicamente el residuo (contenido de lignina, carbono y sólidos volátiles), información indispensable para definir la tecnología adecuada de transformación.

En resumen, esta articulación teórico-metodológica asegura que los conceptos no se presenten de manera aislada, sino que se traduzcan en variables, indicadores y técnicas de análisis coherentes con los objetivos de la investigación, garantizando la pertinencia y aplicabilidad del modelo planteado para el contexto de Tumaco.

Marco Conceptual

Este apartado tiene como propósito delimitar los principales conceptos técnicos y operativos que permiten comprender la propuesta de aprovechamiento energético desde una perspectiva aplicada. Se describen los sistemas energéticos renovables, con énfasis en las fuentes alternativas como la energía eólica, solar y, especialmente, la biomasa. A su vez, se introduce el concepto de transición energética y se examina el papel de la biomasa residual, destacando su relevancia en la diversificación de la matriz energética y la reducción de emisiones contaminantes. Finalmente, se caracteriza la biomasa residual del coco, identificando sus propiedades fisicoquímicas, potencial energético y tecnologías disponibles para su transformación, como la biodigestión, la gasificación y la pirólisis. Este marco conceptual permite establecer una base clara para la selección tecnológica y la evaluación de viabilidad de la propuesta.

Sistemas Energéticos Renovables

El concepto de sistemas energéticos renovables se encuentra intrínsecamente vinculado a la necesidad de una transición energética que permita avanzar hacia modelos sostenibles, resilientes y compatibles con los principios de la economía circular. Estos sistemas están basados en el aprovechamiento de recursos naturales renovables como el sol, el viento, el agua y la biomasa para la generación de energía, evitando así la dependencia de fuentes fósiles que generan altos niveles de contaminación y contribuyen al cambio climático (Giraldo et al., 2018).

Mundialmente, el 81% de la energía consumida proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables (UPME, 2015).

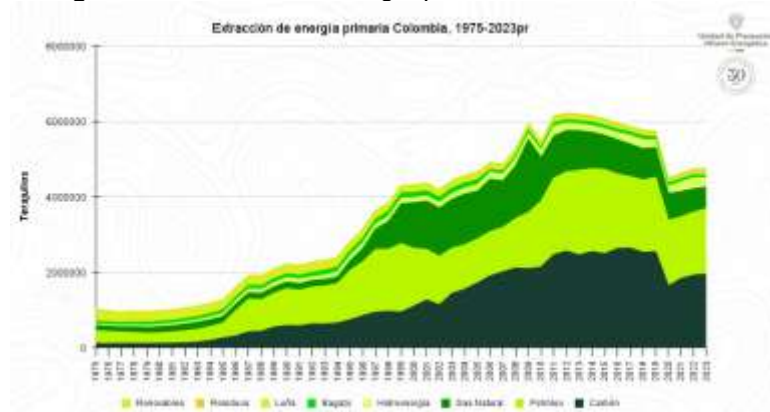
A nivel global, los sistemas energéticos renovables se han consolidado como una alternativa estratégica frente a la crisis climática, la dependencia de combustibles fósiles y la necesidad de garantizar seguridad energética. Estos sistemas, basados en fuentes como la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa, permiten una producción de energía más limpia, diversificada y sostenible. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2023), para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París y limitar el calentamiento global a 1,5 °C, será necesario que al menos el 90 % de la generación mundial de electricidad provenga de fuentes renovables para 2050. Esta transición no solo implica beneficios ambientales, sino también económicos y sociales, al promover nuevas cadenas de valor, generación de empleo verde e innovación tecnológica (Jacobson et al., 2017). No obstante, la expansión de las energías renovables enfrenta desafíos importantes como la intermitencia de algunas fuentes, la necesidad de sistemas de almacenamiento eficientes, la disponibilidad de materiales críticos y las desigualdades tecnológicas entre países del norte y del sur global (IRENA,

2023). Frente a ello, organismos internacionales como el Programa de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Banco Mundial han incentivado políticas energéticas inclusivas y financiamiento verde para facilitar la adopción de tecnologías limpias, especialmente en países en desarrollo. Así, los sistemas energéticos renovables representan no solo una solución técnica, sino también una oportunidad para transformar los modelos económicos tradicionales hacia una sostenibilidad sistémica a largo plazo.

Ahora, Colombia tiene una matriz energética caracterizada por una alta participación de energía hidroeléctrica (alrededor del 70 %), lo que ha permitido mantener una baja intensidad de emisiones en comparación con otros países de la región (UPME, 2023). No obstante, fenómenos como El Niño, la variabilidad climática y la creciente demanda energética hacen urgente la diversificación de fuentes a través de energías renovables alternativas como la solar, la eólica y la biomasa (Stockholm Environment Institute [SEI], 2023).

En la Figura 4 se presenta la extracción de energía primaria Colombia desde 1975 a 2023:

Figura 4 Extracción de energía primaria Colombia desde 1975 a 2023



Nota: Tomado del Informe Balance energético colombiano 2022-2023. (UPME) (2023) https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Beco/Presentacion_Balance_Energetico_Colombiano_2022%E2%80%932023.pdf

Con respecto a la energía solar, Colombia cuenta con una irradiación promedio anual de 4,5 kWh/m², siendo las regiones Caribe y de los Llanos Orientales las más favorecidas. Sin embargo, para 2022, solo se habían instalado 290 MW de capacidad solar, equivalente al 1,5 % de la matriz energética nacional (SEI, 2023). Adicionalmente el país posee un potencial eólico estimado en más de 30 GW, concentrado principalmente en La Guajira. A pesar de esto, la capacidad instalada en 2022 era inferior al 1 %, debido a desafíos como la infraestructura de transmisión y las consultas previas con comunidades (SEI, 2023).

Por último la Biomasa representa una fuente estratégica para la generación energética rural. Aunque su participación en el sistema interconectado nacional es baja (1,3 %), cuenta con un gran potencial derivado de residuos agrícolas como el bagazo de caña, la cáscara de arroz, y otros como el coco, el café o el banano (UPME, 2015).

La implementación de sistemas energéticos renovables en el marco de una economía circular también debe considerar criterios de sostenibilidad. Además, el aprovechamiento energético de la biomasa del coco puede promover la inclusión productiva, la innovación territorial y el cierre de brechas estructurales en regiones vulnerables.

Transición Energética

La transición energética es un proceso estructural orientado a transformar los sistemas energéticos actuales, basados en fuentes fósiles y altamente contaminantes, hacia un modelo sustentado en energías renovables, eficiencia energética y principios de

sostenibilidad. Este cambio no solo responde a la urgencia de mitigar el cambio climático, sino también a la necesidad de garantizar el acceso universal a energía limpia, segura y asequible, en coherencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 7: Energía asequible y no contaminante (Naciones Unidas, 2024).

En Colombia, la transición energética ha sido impulsada por normativas clave como la Ley 2099 de 2021, la cual moderniza el marco legal para promover el desarrollo y uso de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), incluyendo la solar, eólica, biomasa y geotérmica. Esta ley también declara de utilidad pública e interés social todas las actividades relacionadas con el uso eficiente de la energía y el desarrollo de tecnologías limpias (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2022).

Desde el enfoque de la economía circular, la transición energética implica cerrar ciclos en la producción y el consumo de energía, priorizando fuentes renovables y tecnologías que minimicen residuos y emisiones. Según la Fundación Ellen MacArthur (2024), uno de los pilares fundamentales de este modelo es la regeneración de sistemas naturales, lo cual se vincula directamente con la adopción de energías renovables para disminuir la presión sobre ecosistemas y reducir la dependencia de recursos finitos.

A nivel internacional, diversos estudios señalan que, si bien las fuentes renovables han ganado terreno en las últimas décadas, su implementación enfrenta barreras técnicas, económicas y sociales. Entre ellas se destacan la intermitencia de la energía solar y eólica, la necesidad de infraestructura de almacenamiento, la dependencia de materiales críticos para tecnologías limpias y las desigualdades en acceso tecnológico entre el norte y el sur global (IRENA, 2023; Calvo-Saad et al., 2023).

En Colombia, aunque la matriz energética es mayoritariamente hidroeléctrica (alrededor del 70 %), aún se depende en un 78 % de combustibles fósiles en la oferta de energía primaria (UPME, 2023). Esto refleja la necesidad de diversificar y descentralizar las fuentes de energía, especialmente en zonas rurales o con baja cobertura como Tumaco. En este contexto, la biomasa residual y en particular los residuos del coco representan una alternativa viable para generar energía local, limpia y renovable, favoreciendo la inclusión energética y el desarrollo territorial con enfoque circular.

La transición energética, en combinación con el aprovechamiento de residuos agroindustriales y estrategias de economía circular, permite construir un modelo resiliente y justo. Este proceso exige no solo inversión en infraestructura y tecnologías, sino también el fortalecimiento de capacidades locales, la participación de comunidades y la implementación de esquemas de financiamiento verde (GIZ, 2022; Stockholm Environment Institute, 2023).

Finalmente, la transición energética no puede desligarse de los aspectos sociales y culturales del territorio. En lugares como Tumaco, con altos niveles de vulnerabilidad, informalidad y exclusión, es clave vincular la transición energética con procesos educativos, asociativos y de empoderamiento comunitario, asegurando que los beneficios de un nuevo modelo energético sean distribuidos de manera equitativa y sostenible (Parlamento Europeo, 2023; Fundación Ellen MacArthur, 2024).

Biomasa Residual y Biodigestión Anaeróbica

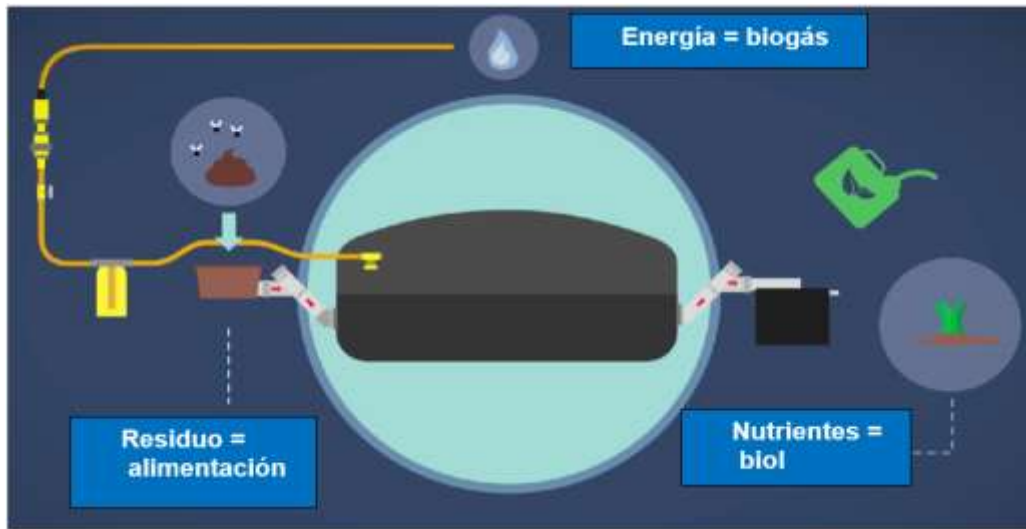
Para el aprovechamiento de los residuos orgánicos para generación de energía se han utilizado diferentes alternativas como lo son el biodigestor, la gasificación y pirólisis.

Un biodigestor es un dispositivo que procesa materia orgánica en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) para producir biogás y fertilizantes orgánicos. El biogás generado, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, puede utilizarse como fuente de energía renovable, mientras que el residuo líquido resultante, conocido como digestato, se emplea como fertilizante de alta calidad. El funcionamiento de un biodigestor para residuos orgánicos se puede plantear en 4 fases (González Salcedo & Olaya Arboleda, 2009).

La primera fase es la entrada de materia orgánica donde se introduce la materia orgánica, como estiércol, restos de alimentos o residuos agrícolas, mezclada con agua en el biodigestor. Una vez se encuentren ambas materias primas se realiza la segunda fase que es la digestión anaeróbica, donde las bacterias descomponen la materia orgánica en varias etapas, que se clasifican en hidrólisis (descomposición de polímeros complejos en moléculas más simples), acidogénesis (conversión de estas moléculas en ácidos grasos volátiles, alcoholes y otros compuestos), acetogénesis (transformación de los productos anteriores en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno) y finalmente se encuentra la metanogénesis (producción de metano y dióxido de carbono a partir del ácido acético e hidrógeno) (González Salcedo & Olaya Arboleda, 2009).

Una vez se genera el biogás en el proceso anterior, se acumula en la parte superior del biodigestor y puede ser canalizado para su uso como combustible en cocinas, generadores eléctricos o sistemas de calefacción. Por último, el material residual, denominado biol o digestato, se extrae periódicamente y se utiliza como fertilizante orgánico debido a su riqueza en nutrientes (González Salcedo & Olaya Arboleda, 2009). En la figura 5 se presenta un esquema de un biodigestor.

Figura 5 Esquema de un biodigestor



Nota: adaptado de Sistema.bio. (s.f.). Our Technology.
Recuperado en abril 2025 de <https://sistema.bio/our-technology>

Por otro lado, la gasificación es un proceso termoquímico que convierte residuos orgánicos en un gas combustible (syngas) compuesto principalmente de monóxido de carbono, hidrógeno y metano. Este proceso se realiza a temperaturas entre 700 y 1.200°C en presencia de un agente gasificante como oxígeno, vapor de agua o aire. (Aristizábal Álvarez & Valencia Naranjo, 2015).

Por último, la pirólisis es otro método termoquímico en el que los residuos orgánicos se descomponen en ausencia de oxígeno a temperaturas entre 300 y 600°C. Este proceso genera tres productos principales: biogás, bioaceite y biocarbón. El biogás se puede utilizar para generación eléctrica, el bioaceite puede refinarse como combustible líquido, y el biocarbón es un excelente mejorador de suelos o material para adsorción de contaminantes (Acosta-Rubio et al., 2021).

Un estudio publicado en la Revista Entorno determinó que la fibra de coco posee un poder calorífico de 4.024,8 kcal/kg, equivalente a 16,77 MJ/kg. Este valor indica la

cantidad de energía liberada por unidad de masa durante la combustión completa de la fibra de coco (Estela-Urbina et al., 2022). El poder calorífico de un material es importante porque indica cuánta energía se puede obtener al quemarlo, lo que resulta clave para evaluar su utilidad como fuente de energía, evidenciando que puede darse su aprovechamiento en energía útil en lugar de desecharlo.

Por otro lado, dado que la biodigestión anaerobia funciona gracias a bacterias que descomponen materiales orgánicos en ausencia de oxígeno, el contenido de carbono, grasas, proteínas y carbohidratos es esencial. Con respecto con el tipo de material que compone cada una de las partes del Coco se puede identificar, el exocarpio (cáscara exterior) el cual es un material de tipo lignocelulósico y está compuesto por celulosa, hemicelulosa, lignina y taninos. Para el mesocarpio (fibra de coco) el tipo material es fibroso y lignocelulósico, este compuesto por, celulosa (~43%), hemicelulosa (~3%), lignina (~45%) y agua (~10%). Con respecto al endocarpio (cáscara dura) el tipo de material es leñoso de alta densidad el cual está compuesto por carbono (~70%), celulosa, lignina y trazas minerales. A continuación, se encuentra la pulpa o carne de coco donde su tipo de material es graso y proteico, está compuesto por grasas (~34%), agua (~50%), carbohidratos (~10%) y proteínas (~3%). Por último, está el agua de coco, el cual es un líquido nutritivo como tipo de material y está compuesto por agua (~95%), minerales (potasio, sodio, calcio, magnesio), azúcares naturales (~4%) y vitaminas (Kumar & Sharma 2021). Si un material presenta un elevado contenido de lignina, su potencial de producción de biogás tiende a ser bajo o requiere la aplicación de pretratamientos físico-químicos para mejorar su digestibilidad. En contraste, los materiales con alta proporción de materia orgánica fácilmente degradable son más adecuados para la biodigestión anaerobia. Los sólidos volátiles (SV) representan la

fracción orgánica de los sólidos totales de una muestra, compuesta principalmente por carbohidratos, grasas, proteínas y ácidos nucleicos, los cuales son susceptibles de descomposición biológica. En el contexto de un biodigestor, los SV son determinantes, ya que constituyen la materia orgánica que las bacterias anaerobias transforman en biogás y digestato (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2011). Aunque no se dispone de un porcentaje exacto de sólidos volátiles para las diferentes partes del coco, se reconoce que la cáscara es un material lignocelulósico conformado por celulosa, hemicelulosa y lignina. Su alto contenido de lignina limita su aprovechamiento directo en biodigestión; sin embargo, dicha composición le confiere un potencial significativo para la producción de biocombustibles sólidos o líquidos, siempre que se apliquen pretratamientos adecuados que mejoren su biodegradabilidad (Soo Rosas, 2021)

No obstante, la literatura también evidencia limitaciones, pese a su potencial, los proyectos de bioenergía comunitaria enfrentan altos índices de fracaso por limitaciones técnicas, por ejemplo baja biodegradabilidad de residuos lignocelulósicos como el endocarpio de coco, dificultades de mantenimiento comunitario y financiamiento sostenido (Sawatdeenarunat et al., 2021; Zambrano et al., 2023). Estas experiencias sugieren que la replicabilidad depende tanto de la adaptación tecnológica como de procesos participativos de apropiación social.

El uso de biogás como fuente de energía renovable puede contribuir significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Según la European Biogas Association, el sector del biogás y el biometano tiene el potencial de reducir las emisiones globales de GEI en un 10-13%, con un ahorro total de

emisiones que puede alcanzar hasta un 240% en comparación con los combustibles fósiles (European Biogas Association, 2020).

Países como la India, Filipinas o Indonesia han implementado diversas estrategias para aprovechar los residuos del coco, enfocándose en la sostenibilidad y la generación de valor añadido. Filipinas como segundo productor mundial de coco han desarrollado iniciativas para utilizar la cáscara de coco en la producción de carbón activado y briquetas de biocombustible. Este enfoque no solo reduce los residuos agrícolas, sino que también proporciona fuentes de energía alternativas y sostenibles (Oficina Económica y Comercial de España en Manila, 2023). Igualmente la India ha utilizado la fibra de coco para producir materiales de construcción ecológicos, como paneles y tejas, promoviendo la economía circular y reduciendo la dependencia de materiales no renovables (Sánchez Saucedo, 2019).

Marco Contextual

El marco contextual ofrece una descripción detallada del entorno en el que se desarrolla esta investigación, permitiendo comprender las condiciones socioeconómicas, productivas y energéticas del municipio de Tumaco y su cadena del coco. En primer lugar, se analiza el sistema energético colombiano, destacando los retos en cobertura, calidad del servicio y pobreza energética que afectan especialmente a zonas periféricas como la costa pacífica. En segundo lugar, se aborda la situación actual de la producción de coco en Colombia, con énfasis en el departamento de Nariño, identificando los desafíos y oportunidades en el manejo de subproductos como el endocarpio. Esta caracterización territorial es clave para justificar la pertinencia del modelo propuesto y orientar su implementación hacia un desarrollo sostenible, inclusivo y adaptado a las capacidades locales.

Sistema Energético en Colombia

El sistema energético colombiano ha estado históricamente influenciado por su abundante recurso hídrico, lo que ha permitido una matriz energética con alta participación de generación hidroeléctrica. Sin embargo, en las últimas décadas, el país ha enfrentado retos importantes relacionados con la variabilidad climática, la dependencia de combustibles fósiles y la necesidad de una transición hacia fuentes más sostenibles, diversificadas y resilientes.

Según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), en 2023 los combustibles fósiles representaron aproximadamente el 78 % de la oferta interna de energía primaria, mientras que cerca del 70 % de la generación eléctrica provino de fuentes hidroeléctricas (UPME, 2023). Esta alta dependencia de las hidroeléctricas, aunque positiva en términos de reducción de emisiones frente al carbón o el petróleo, es vulnerable a fenómenos como El Niño, que afectan la disponibilidad de agua en el país.

Para enfrentar estos desafíos, Colombia ha comenzado una transformación regulatoria y tecnológica enfocada en integrar energías renovables no convencionales como la solar, eólica y biomasa, dentro de su matriz energética. La Ley 2099 de 2021, conocida como Ley de Transición Energética, establece un marco legal para la promoción, estímulo y consolidación de las fuentes no convencionales de energía (FNCE), el uso eficiente de la energía y el desarrollo de sistemas de almacenamiento.

La Ley 2099 de 2021 establece el marco normativo para impulsar la transición energética en Colombia, promoviendo la adopción de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), la autogeneración, las comunidades energéticas y tecnologías de captura de carbono. Además, introduce incentivos tributarios y medidas regulatorias para fomentar la generación y comercialización de energía, especialmente

en zonas no interconectadas, contribuyendo a la dinamización del mercado energético y a la reactivación económica del país.

Adicionalmente, la Ley 2099 de 2021 respalda directamente el proyecto al permitir reducir costos de inversión inicial con incentivos fiscales, algo clave para viabilizar los biodigestores y el sistema eléctrico. También habilita legalmente que Tumaco pueda producir y vender biogás o electricidad, incluso en zonas rurales no conectadas a la red nacional. Esto le da un marco claro al modelo propuesto. Además, impulsa la participación de las comunidades locales como actores energéticos y facilita que se capaciten operadores, asegurando así una operación sostenible y legal del proyecto

Esta ley forma parte de una estrategia más amplia que incluye la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC), la Política de Producción y Consumo Sostenible y el Plan Nacional de Negocios Verdes. Todas estas políticas buscan articular el desarrollo energético con la sostenibilidad ambiental, la innovación tecnológica y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Naciones Unidas, 2024; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

En cuanto al potencial energético, Colombia posee ventajas competitivas en recursos naturales que podrían diversificar su matriz. La energía solar tiene un potencial superior a 32 GW, especialmente en la región Caribe y los Llanos Orientales (UPME, 2015). La energía eólica, con un potencial estimado superior a 30 GW en La Guajira, apenas comienza a ser aprovechada, representando en 2022 menos del 1 % de la capacidad instalada (Stockholm Environment Institute, 2023). Por su parte, la biomasa se posiciona como una alternativa viable en regiones rurales y agrícolas, permitiendo el aprovechamiento de residuos agroindustriales como los del arroz, la palma, el café y, de manera prometedora, el coco (Heredia Viveros, 2019; Calvo-Saad et al., 2023).

La implementación de tecnologías como los biodigestores, la gasificación y la pirólisis, permite transformar residuos orgánicos en fuentes de energía útil, al tiempo que se reduce la presión sobre los rellenos sanitarios, se generan biofertilizantes y se contribuye a la mitigación de gases de efecto invernadero (González Salcedo & Olaya Arboleda, 2012; Acosta-Rubio et al., 2021).

En este contexto, Tumaco, ubicado en la región Pacífica colombiana, presenta un alto potencial para el desarrollo de sistemas energéticos basados en biomasa residual de coco, dado que concentra más del 40 % de la producción nacional de este fruto (Vergara Peña & Agrosavia, 2023). La implementación de un modelo de economía circular basado en la valorización energética del endocarpio de coco permitiría no solo contribuir a la seguridad energética local, sino también dinamizar la economía del territorio, generar empleo rural y aportar a los compromisos climáticos del país. El Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE) ofrece una aproximación integral, pero ha sido cuestionado por no reflejar particularidades territoriales ni usos productivos de la energía en comunidades rurales (González-Eguino, 2015). Esto implica que la magnitud de la pobreza energética en Tumaco podría estar subestimada o sobredimensionada dependiendo de las variables consideradas.

Producción y Aprovechamiento del Coco en Tumaco

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), los principales países productores de coco a nivel mundial son Indonesia, Filipinas e India, que juntos concentran más del 70 % de la producción global. En 2021, Indonesia produjo aproximadamente 17,13 millones de toneladas, Filipinas 14,7 millones de toneladas e India 12,3 millones de toneladas de coco (FAO, 2021). Este alto volumen se atribuye a factores como condiciones climáticas favorables, amplias

extensiones agrícolas y experiencia tecnológica en su cultivo.

En el continente americano, Brasil y México figuran entre los diez principales productores mundiales.

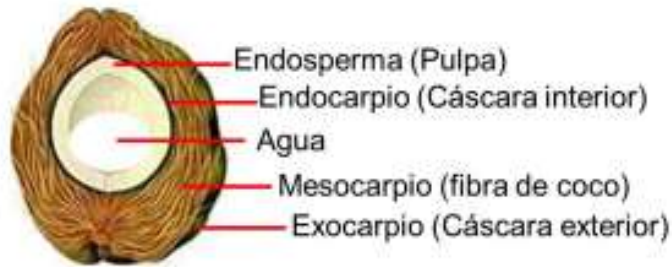
En el caso de Colombia, aunque no se ubica entre los mayores productores globales, ocupa el puesto 23 en producción, con una cifra aproximada de 145.578 toneladas anuales, lo que representa cerca del 0,16 % del total mundial (FAO, 2021). La mayor parte de esta producción se concentra en el litoral Pacífico, especialmente en los departamentos de Nariño, Cauca y Chocó, así como en La Guajira y Córdoba, destacándose Nariño con el 48 % del total nacional (Vergara Peña & Agrosavia, 2023).

La Palma, que es la planta que brinda el fruto de Cocotero, está compuesta por raíz, tallo, hojas y fruto principalmente. El fruto está catalogado como una drupa, conformado por una epidermis lisa, un mesocarpio espeso (también conocido como estopa) del cual se extrae fibra como lo indica el ingeniero Medardo Lizano en su Guía Técnica del Cultivo de Coco (2003), el endocarpio de color marrón el cual es llamado hueso o concha y adicionalmente la copra, que es la cavidad donde se aloja el agua de coco o formalmente el albumen líquido. La temperatura de hábitat para el cocotero se encuentra alrededor de 27°C con rangos de +5 a 7°C y su altitud óptima para la siembra y cultivo se encuentra entre 0 y 400 msnm (Lizano, 2003). En la Figura 6 se puede observar las partes del coco.

El coco durante la historia ha tenido una variedad de usos. La madera del cocotero se emplea para la construcción, las raíces tienen propiedades antidiarreicas, las palmas se utilizan para resguardo, techos o sombreros. El agua de coco es una bebida hidratante con alto valor nutritivo. El hueso o concha se usa como materia prima para producir carbón y carbón activado y de la estopa o mesocarpo se extrae fibra para la

elaboración de pitas, sacos, entre otros. La nuez o el coco como es conocido popularmente ha sido utilizado para producción de aceite, harina de coco, y copra que es a pulpa blanca (Lizano, 2003).

Figura 6 Partes del Coco



Nota: Imagen tomada *Frontera Biotecnológica*, Volumen 20(2)

<https://www.researchgate.net/publication/362857295> El agua de coco no solo una bebida refrescante sino una bebida con beneficios para la salud

La cadena agroindustrial del coco genera residuos de alta densidad energética como la fibra (mesocarpio), la cáscara (endocarpio) y restos orgánicos de la pulpa. Estudios han demostrado que la fibra de coco posee un poder calorífico de 16,77 MJ/kg, lo cual la posiciona como una biomasa útil para procesos de gasificación o combustión directa (Estela-Urbina et al., 2022).

Asimismo, la composición de sus partes rica en celulosa, lignina, grasas y carbohidratos permite evaluar su potencial para digestión anaerobia, siempre y cuando se realicen pretratamientos adecuados en función del contenido de lignina (Kumar & Sharma, 2021). La producción de biogás a partir de residuos orgánicos como los del coco ofrece beneficios importantes: disminución de emisiones de gases de efecto invernadero

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia

59

(GEI), generación de energía limpia y producción de fertilizantes (European Biogas Association, 2020).

Hipótesis

Con base en el problema y los objetivos del trabajo, se plantea la siguiente hipótesis general y específicas.

La implementación de un modelo de economía circular basado en la valorización energética del endocarpio del coco mediante biodigestión anaerobia permite generar biogás de manera técnica y económicamente viable, contribuyendo al abastecimiento energético de la agroindustria en Tumaco y a la reducción de los impactos ambientales asociados al manejo inadecuado de residuos. (Causal).

Se identifica como una hipótesis causal debido que la implementación de un modelo de economía circular basado en la valorización energética del endocarpio del coco mediante biodigestión anaerobia permite la generación directamente los resultados técnicos y económico.

Hipótesis específicas

La cadena agroindustrial del coco en Tumaco cuenta con condiciones productivas, logísticas y sociales que determinan cómo se genera y se dispone el residuo del endocarpio y el análisis de estas condiciones permite identificar estrategias para aprovechar dicho residuo en la producción de energía para las agroindustrias. (correlacional). Busca establecer la relación entre las condiciones de la cadena del coco y las posibilidades de valorización del residuo.

El residuo del endocarpio de coco generado por la agroindustria en Tumaco presenta características fisicoquímicas adecuadas para su valorización energética mediante procesos de biodigestión anaerobia orientados a la producción de biogás.

(causal). Se plantea una relación de causa–efecto entre las características fisicoquímicas del endocarpio de coco y su potencial de aprovechamiento energético.

Es posible diseñar un modelo de economía circular que incorpore la valorización del residuo del endocarpio del coco orientado a la generación sostenible de energía, integrando aspectos técnicos, ambientales y sociales del territorio. (causal). Se establece que la acción de diseñar un modelo de economía circular genera como consecuencia efectos técnicos, ambientales y sociales orientados a la generación sostenible de energía

El desarrollo de un modelo de biodigestores para la valorización del residuo del coco resulta técnica y económicamente viable en el contexto productivo y social de Tumaco. (causal). Se argumenta que la implementación del modelo de biodigestores genera como consecuencia la viabilidad técnica y económica en Tumaco.

En la tabla 1 se puede ver la relación que existe en cada uno de los objetivos con las hipótesis planteados y el tipo ya sea correlacional, causal o comparativa

Tabla 1 Hipótesis y objetivos

Objetivo	Hipótesis	Tipo de hipótesis
Formular un modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio del coco orientado a la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia	La implementación de un modelo de economía circular basado en la valorización energética del endocarpio del coco mediante biodigestión anaerobia permite generar biogás de manera técnica y económicamente viable, contribuyendo al abastecimiento energético de la agroindustria en Tumaco y a la reducción de los impactos ambientales asociados al manejo inadecuado de residuos.	Causal
Diagnosticar las condiciones técnicas, productivas, logísticas y socio energéticas de la cadena agroindustrial del coco en Tumaco, identificando las variables que influyen en la	La cadena agroindustrial del coco en Tumaco cuenta con condiciones productivas, logísticas y sociales que determinan cómo se genera y se dispone el residuo del endocarpio y el análisis de estas condiciones permite identificar estrategias para aprovechar dicho	Correlacional

<p>generación y gestión del residuo del endocarpio.</p>	<p>residuo en la producción de energía para las agroindustrias.</p>	
<p>Evaluar el potencial energético del residuo del endocarpio del coco mediante su caracterización fisicoquímica y su aprovechamiento por biodigestión anaerobia en el municipio de Tumaco</p>	<p>El residuo del endocarpio de coco generado por la agroindustria en Tumaco presenta características fisicoquímicas adecuadas para su valorización energética mediante procesos de biodigestión anaerobia orientados a la producción de biogás.</p>	<p>Causal</p>
<p>Proponer un modelo de economía circular para la valorización del endocarpio del coco en Tumaco, orientado a la generación sostenible de energía.</p>	<p>Es posible diseñar un modelo de economía circular que incorpore la valorización del residuo del endocarpio del coco orientado a la generación sostenible de energía, integrando aspectos técnicos, ambientales y sociales del territorio.</p>	<p>Causal</p>
<p>Analizar la factibilidad técnica y social, y la viabilidad financiera del modelo propuesto para la generación de energía a partir del endocarpio del coco.</p>	<p>El desarrollo de un modelo de biodigestores para la valorización del residuo del coco resulta técnica y económicamente viable en el contexto productivo y social de Tumaco.</p>	<p>Causal</p>

Nota: Elaboración propia

Variables

Se definieron un conjunto de variables clave que permiten estructurar y evaluar la implementación de un modelo para la generación de energía, basado en residuos agroindustriales de coco.

La elección de las variables del modelo se fundamenta en estudios previos sobre valorización energética de residuos agroindustriales y economía circular. Se seleccionaron variables técnicas (como producción de biogás, digestato y eficiencia del sistema), ambientales (reducción de residuos y emisiones de GEI) y económicas (ahorro energético, sustitución de fertilizantes y retorno sobre la inversión), porque permiten evaluar integralmente la viabilidad del modelo propuesto.

Investigaciones como las de Burgos-Arcos et al. (2025), demuestran que residuos como el endocarpio del coco pueden ser transformados eficientemente mediante biodigestión anaerobia, generando biogás y subproductos útiles como fertilizantes. Se espera que este proceso reduzca costos energéticos y ambientales, al tiempo que mejora la rentabilidad de la agroindustria local.

La lógica esperada es que un mayor potencial energético del residuo se traduzca en mayor producción de biogás, lo cual incide positivamente en la sostenibilidad económica y ambiental del modelo. Además, la inclusión de indicadores como el ROI, el ahorro energético y la reducción de emisiones permite validar empíricamente el objetivo del proyecto. Las variables a continuación se establecen como variables principalmente cuantitativas continuas debido que miden en escalas numéricas (m^3 , %, COP, $kg\ CO_2e$).

Tabla 2 Variables para el modelo de generación de energía a partir de residuos de coco

Categoría	Variable	Tipo (D/I)	Definición conceptual	Definición operacional	UM	Indicadores	Técnica analítica	Variabl e de
-----------	----------	------------	-----------------------	------------------------	----	-------------	-------------------	--------------

							contexto	
Técnica	Producción de biogás diaria (m ³ /día)	Dependiente	Cantidad de biogás generado por la biodigestión del endocarpio.	Medición del volumen de biogás capturado por el biodigestor	m ³ /día	Volumen promedio diario de biogás producido	Medición volumétrica directa; análisis estadístico descriptivo	Infraestructura eléctrica local
Técnica	Volumen de digestato (m ³ /semana)	Dependiente	Subproducto líquido o sólido generado en la biodigestión.	Medición semanal del volumen de digestato recolectado	m ³ /semana	Litros o m ³ de digestato generado	Medición de volumen; análisis descriptivo	Disponibilidad de tierras agrícolas
Técnica	Área requerida para el sistema	Independiente	Superficie física necesaria para instalar y operar el sistema.	Cálculo del espacio ocupado por biodigestores y equipos auxiliares.	m ²	Área total utilizada	Levantamiento topográfico; análisis comparativo	Condiciones del predio (uso de suelo, acceso)
Ambiental	Reducción de residuos (%)	Dependiente	Proporción del residuo del coco tratado respecto al total disponible.	Cálculo: (residuo tratado / residuo generado) × 100.	%	% de reducción de residuos	Cálculo porcentual; análisis de eficiencia	Gestión municipal de residuos sólidos
Ambiental	Emisiones evitadas de CH ₄ y CO ₂ (kg CO ₂ e)	Dependiente	Cantidad de emisiones de GEI evitadas por el uso del biogás.	Estimación con factores de emisión IPCC y volumen de biogás utilizado.	kg CO ₂ e/año	Toneladas de CO ₂ e evitadas	Cálculo con factores de conversión IPCC; análisis de ciclo de vida	Existencia de incentivos normativos

Económica	Ahorro energético (COP/año)	Dependiente	Reducción de costos por sustituir energía convencional con biogás.	Diferencia entre gasto en energía convencional y gasto usando biogás.	COP/año	% de ahorro en costos energéticos	Análisis costo-beneficio ; comparativo anual	Precio de la energía convencional
Económica	Ahorro por sustitución de fertilizantes	Dependiente	Valor económico del digestato usado como fertilizante.	Cálculo: volumen digestato × precio mercado de fertilizante equivalente	COP/año	Valor de fertilizantes sustituidos	Análisis de precios de mercado; equivalencias técnicas	Precio de insumos agrícolas
Económica	Costo por m ³ de biogás generado (COP/m ³)	Independiente	Costo unitario de producir un m ³ de biogás.	Relación entre costo total de operación y volumen generado.	COP/m ³	Costo unitario promedio	Contabilidad de costos; análisis financiero	Tasa de inflación / costos de mantenimiento
Económica	Retorno sobre la inversión (ROI)	Dependiente	Indicador de rentabilidad del modelo económico.	Cálculo: (Beneficio neto / Inversión inicial) × 100.	%	ROI anual	Modelación financiera: VAN, TIR, punto de equilibrio	Acceso a créditos o subsidios verdes

Nota: Elaborado por el autor

Las variables anteriormente descritas tienen como propósito medir los componentes técnicos, ambientales y económicos del modelo propuesto de valorización del endocarpio de coco. En el ámbito técnico, se contempla la producción diaria de biogás (m³/día) como indicador clave del rendimiento de la biodigestión, junto con el volumen de digestato (m³/semana) aprovechable como biofertilizante y el área requerida del sistema (m²), que permite dimensionar la infraestructura necesaria. Desde la dimensión ambiental, se incorporan la reducción de residuos (%), que mide la proporción

del endocarpio tratado frente al generado, y las emisiones evitadas de CH_4 y CO_2 (kg $\text{CO}_2\text{e/año}$), que reflejan la mitigación de gases de efecto invernadero mediante la sustitución de combustibles fósiles. En el plano económico, se incluyen variables de desempeño como el ahorro energético (COP/año) y el ahorro por sustitución de fertilizantes (COP/año), los cuales cuantifican los beneficios derivados del uso del biogás y del digestato. Asimismo, se evalúa el costo unitario de generación de biogás (COP/ m^3) como variable de entrada para el análisis de eficiencia, y el Retorno sobre la Inversión (ROI) como indicador de rentabilidad global del modelo, calculado mediante herramientas financieras como VAN, TIR y punto de equilibrio

Metodología

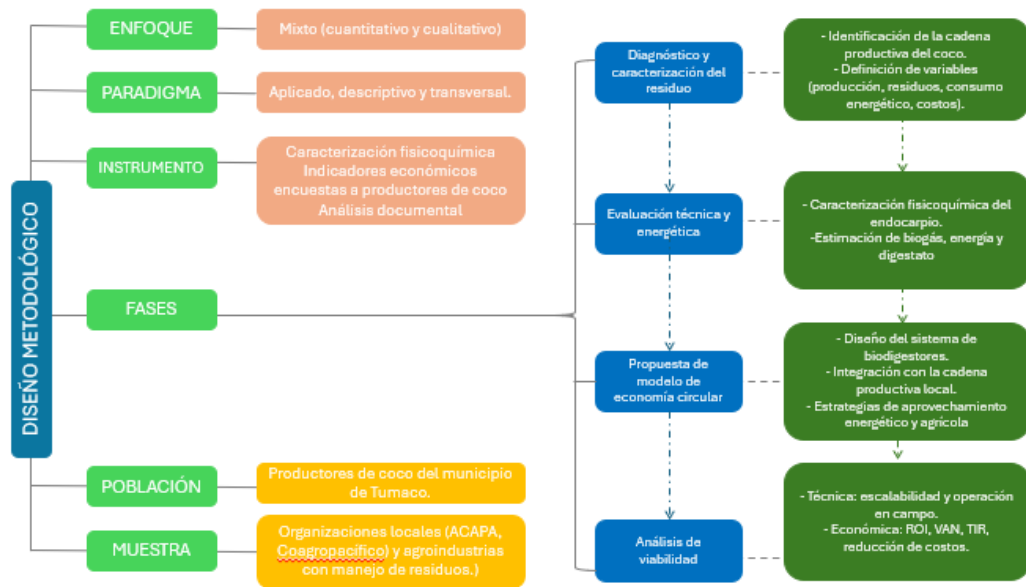
La metodología de esta investigación se estructuró en cuatro fases articuladas para garantizar un análisis integral del potencial de valorización energética del endocarpio del coco en Tumaco. Primer, se desarrolló un diagnóstico técnico, productivo y socioeconómico de la cadena de valor del coco, empleando fuentes secundarias y encuestas de campo, complementadas con herramientas estratégicas como PESTEL y DOFA. A continuación se realiza la evaluación del potencial de generación de biogás y energía a partir del residuo, considerando la caracterización fisicoquímica del endocarpio, la viabilidad de la biodigestión y los impactos ambientales y sociales asociados. Posteriormente, se formuló un modelo de economía circular que integra componentes técnicos, financieros y sociales, incorporando biodigestores modulares de bajo costo y esquemas de participación comunitaria, junto con indicadores de rentabilidad como VAN, TIR y ROI. Finalmente, se realizó un análisis de factibilidad del modelo, con proyecciones financieras a diez años y un estudio de escenarios estratégicos, lo que permitió validar su coherencia metodológica y estimar su escalabilidad y sostenibilidad en el tiempo.

Como complemento metodológico, la presente investigación adopta un enfoque mixto, integrando técnicas cuantitativas y cualitativas con el propósito de abordar el problema de forma integral. El componente cuantitativo permite la medición y análisis de variables técnicas y económicas como el poder calorífico del endocarpio, el volumen de biogás producido, los indicadores financieros (VAN, TIR, ROI) y el ahorro energético. Por su parte, el enfoque cualitativo se emplea para comprender el contexto territorial, productivo y social de la agroindustria del coco en Tumaco, mediante la realización de entrevistas semiestructuradas a productores, observación directa en campo y revisión de

información secundaria. Adicionalmente, se proyectarán escenarios económicos para validar el modelo propuesto en términos de rentabilidad y sostenibilidad.

Para resumir la metodología se presenta en la figura 7 un resumen

Figura 7 *Diseño metodológico*



Nota: Elaboración propia

Enfoque y alcance de la investigación

El enfoque es mixto, combinando un componente cuantitativo, centrado en la caracterización fisicoquímica del residuo, estimación del potencial energético y modelación financiera, con un componente cualitativo, que integra entrevistas y encuestas a actores de la cadena productiva para identificar barreras sociales y operativas

El estudio se enmarca en un enfoque aplicado, ya que tiene como objetivo formular un modelo técnico-económico de economía circular que dé solución a una problemática energética concreta en la agroindustria de Tumaco.

El estudio se clasifica como descriptivo porque busca caracterizar y detallar las condiciones técnicas, productivas, logísticas, socioenergéticas y ambientales de la cadena agroindustrial del coco en Tumaco. El objetivo central es describir el potencial de valorización energética del endocarpio y la factibilidad de un modelo de economía circular, mediante el análisis de datos recolectados (encuestas, entrevistas, diagnóstico técnico) y la presentación de resultados en términos de volúmenes de residuos, poder calorífico, emisiones evitadas, costos y beneficios. Así, el enfoque descriptivo permite retratar con precisión la situación actual y proyectar escenarios de aprovechamiento energético, aportando evidencia para la formulación del modelo sin entrar en un nivel explicativo o experimental

Se trata de una investigación de tipo transversal con componentes proyectivos, ya que la recolección de datos se realiza en un periodo específico, pero los análisis incluyen proyecciones de desempeño técnico-financiero a cinco años, con el fin de evaluar la sostenibilidad del modelo en el mediano plazo.

Fases de la investigación

A continuación, se describen las fases planteadas para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados.

Fase 1: Diagnóstico y caracterización de la cadena de suministro del coco en Tumaco y de las variables que inciden en la generación del residuo del endocarpio

Esta fase se enfocó en comprender la estructura y dinámica actual de la cadena agroindustrial del coco en Tumaco, con énfasis en los procesos que generan el residuo del endocarpio. Para ello, se emplearon tanto fuentes secundarias (documentales) como fuentes primarias (trabajo de campo y encuestas), lo cual permitió triangular la información y enriquecer el diagnóstico.

Se inició con una revisión sistemática de fuentes secundarias provenientes de bases de datos oficiales (DANE, Min Agricultura), informes institucionales (AGROSAVIA, UPME), literatura científica y estudios técnicos relacionados con la producción, transformación y comercialización del coco. Este análisis permitió identificar actores clave, volumen de producción, generación estimada de residuos, así como limitaciones logísticas, técnicas y socioeconómicas de la cadena.

Para contrastar esta información, se realizó una visita técnica al Centro de Investigación AGROSAVIA El Mira, ubicado en Tumaco. Esta actividad permitió observar directamente las condiciones productivas del cultivo, la disposición y tratamiento del residuo del endocarpio, y validar hallazgos documentales mediante observación directa y entrevistas informales con técnicos del centro.

Durante esta fase se diseñó y aplicó una encuesta semiestructurada a productores vinculados a consejos comunitarios del municipio de Tumaco, con el objetivo de caracterizar aspectos técnicos, productivos y socioeconómicos del cultivo de coco y su cadena de valor. La encuesta incluyó ítems relacionados con características del cultivo, generación y manejo de residuos, prácticas de sostenibilidad, condiciones del mercado, acceso a infraestructura energética y productiva.

El cuestionario fue construido en conjunto con personal de AGROSAVIA. Fue validado mediante revisión de un grupo focal con Felix Guzman Investigador Phd, Ana Katherine Diaz Investigadora Posdoctoranda, Beto Moreno Profesiona de Apoyo y Fernanda Estacio joven investigadora por parte de del mismo centro. La versión final fue aplicada por personal del centro de investigación directamente en campo debido a la dificultad de acceso y seguridad a las comunidades. Adicionalmente se utilizan criterios de inclusión con el objetivo que sea de mayor utilidad la herramienta. Para la presente fase , se incluye la ficha técnica del instrumento aplicado, detallando aspectos clave como que el tipo de muestra es no probabilístico por conveniencia, se indica el perfil de los participantes, los criterios de inclusión y la validación del instrumento

Ficha técnica del instrumento:

- **Tipo de instrumento:** Encuesta semiestructurada (Ver Anexo I).
- **Población objetivo:** Productores de coco pertenecientes a consejos comunitarios del municipio de Tumaco.
- **Técnica de muestreo:** No probabilístico por conveniencia, debido a la limitada disponibilidad logística, tiempo y condiciones de seguridad de la zona
- **Número de encuestas aplicadas:** 81 productores.
- **Fecha de aplicación:** Noviembre y diciembre de 2024.
- **Validación del instrumento:** Revisión por investigadores de AGROSAVIA Tumaco
- **Aplicadores:** Joven investigador del centro de investigación con experiencia en el territorio.

- **Criterios de inclusión:** Productores con al menos un año de experiencia cultivando coco, que pertenecieran a organizaciones comunitarias y tuvieran disposición a participar.

Los datos recolectados se procesaron con el apoyo de Microsoft Excel. Se calcularon frecuencias, promedios y porcentajes para variables como: volumen de producción, generación de residuos y uso actual del endocarpio.

Finalmente, se complementó el diagnóstico con un análisis PESTEL (factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales) y una matriz DOFA, que permitieron identificar los principales retos y oportunidades para la valorización del residuo del endocarpio del coco en el marco de un modelo de economía circular.

Este diagnóstico integral sirvió como base para identificar las variables clave del modelo, como el poder calorífico del residuo, la infraestructura eléctrica, las capacidades logísticas y las barreras institucionales. También permitió justificar territorialmente la pertinencia del aprovechamiento energético del coco en Tumaco.

Fase 2: Evaluación del potencial de generación de biogás y energía del endocarpio del coco por biodigestión en el municipio de Tumaco

Para realizar esta evaluación se tomó información relativa a la caracterización de los residuos, incluyendo su composición, contenido de materia orgánica y humedad y se procedió a verificar el potencial teórico de generación de biogás mediante biodigestión de los residuos del coco nucifera. En conjunto con esta evaluación se realizó un análisis de costos asociados a la biodigestión y generación de energía. Es necesario considerar los requerimientos para la instalación de sistemas de biodigestión en las agroindustrias del coco ubicadas en el municipio de Tumaco.

Adicionalmente, se revisaron los posibles impactos ambientales asociados a la implementación de biodigestores de residuos de coco y se realizó una evaluación de impactos ambientales en la construcción e instalación de los equipos, y se establecieron alternativas para su prevención y mitigación.

Por último y con respecto a la estimación de impactos ambientales del modelo de valorización energética del endocarpio del Coco en Tumaco, la implementación del modelo de valorización energética del endocarpio del coco en Tumaco permitiría evitar aproximadamente 3.857 toneladas de CO₂ al año, gracias a la sustitución de leña con biogás. Además, se previene la acumulación de más de 1.800 toneladas anuales de residuos lignocelulósicos en cuerpos de agua o suelos agrícolas, reduciendo significativamente los vertimientos. En términos de salud, al menos 344 hogares rurales podrían sustituir el uso de leña para cocción durante un ciclo completo, lo cual implica una mejora sustancial en la calidad del aire intradomiciliario y una disminución de enfermedades respiratorias relacionadas con la combustión de biomasa. Estos beneficios ambientales y sociales fortalecen el enfoque sostenible del modelo y justifican su escalabilidad.

Fase 3: Propuesta de un modelo de economía circular para la generación de biogás y energía a partir de la valorización de los desechos del endocarpio o concha en la cadena de abastecimiento del coco en Tumaco, Nariño.

Se plantea una propuesta que contempla aspectos técnicos y sociales, orientada al cierre del ciclo productivo de aprovechamiento energético de los residuos. El modelo contempla etapas esenciales como la recolección, el procesamiento, la producción de biogás, el aprovechamiento del biol o digestato y su reincorporación al sistema agrícola. Para ello, se propone implementar un sistema de acopio y utilización eficiente de los

residuos del endocarpio en la agroindustria para la generación de energía mediante biodigestores modulares y de bajo costo, diseñados según las particularidades climáticas, económicas y culturales del territorio. Adicionalmente se debe aprovechar el biol o digestato (residuo orgánico postproceso) como biofertilizante para cultivos locales.

Por otro lado, se fortalece el componente social del modelo mediante la participación de la comunidad y la formación técnica, y finalmente, se incorporan indicadores de sostenibilidad que permitirán medir el impacto y la efectividad del sistema como producción de biogás, reducción de residuos y beneficios económicos.

El modelo abarca el enfoque financiero principalmente pero también técnico-operativo. El modelo técnico-operativo define las características de los biodigestores modulares adaptados al contexto de Tumaco, incluyendo diseño, volumen de residuos y condiciones de operación, su validación se realizará con la construcción de un Biodigestor en el Centro de Investigación AGROSAVIA El Mira. Sin embargo, la validación técnica y operativa no hace parte del alcance del presente estudio debido al desarrollo de la construcción y puesta marcha del Biodigestor, debido a que los tiempos para la estabilización de la producción del biogás son prolongados y no permiten establecer la viabilidad técnica en el rango de tiempo del estudio.

El modelo financiero proyecta los costos de implementación y operación, estima los beneficios económicos por sustitución energética y uso del digestato, y evalúa la rentabilidad mediante indicadores que se desarrollan en Excel como VAN, TIR y ROI.

Fase 4: Análisis del modelo propuesto desde las dimensiones técnica, financiera y social en el municipio de Tumaco

Para determinar la factibilidad se realizó un análisis de costos y beneficios para evaluación de la inversión inicial, costos operativos y retorno de inversión (ROI) del aprovechamiento del endocarpio del coco y Biodigestor. Igualmente se realizó un estudio de viabilidad financiera por medio de herramientas como VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y análisis de punto de equilibrio para evaluar la rentabilidad del modelo.

Desde la dimensión financiera, se construyó una proyección a cinco años que incluye los costos de inversión inicial, operación, mantenimiento y posibles reposiciones del sistema de biodigestión. A su vez, se estimaron los beneficios económicos derivados del ahorro energético por sustitución de combustibles convencionales, el aprovechamiento del digestato como fertilizante orgánico.

Los cálculos financieros se realizaron en Excel para facilitar la simulación de escenarios a partir de datos técnicos locales y parámetros de eficiencia del biodigestor.

Finalmente, un análisis DOFA para la implementación del modelo de economía circular, permitió el planteamiento del desarrollo de escenarios prospectivos para determinar posibles estrategias de escalabilidad y sostenibilidad del modelo en el tiempo.

La siguiente tabla 2 de trazabilidad permite evidenciar la coherencia entre los objetivos específicos del estudio, las técnicas analíticas aplicadas, las fuentes de información utilizadas y los resultados esperados. Su propósito es garantizar la alineación metodológica del modelo propuesto, fortalecer la validez de los hallazgos y facilitar la comprensión del enfoque integral adoptado en la investigación.

Tabla 3 Trazabilidad de objetivos

Objetivo Específico	Actividades	Metodología	Fuente de Datos	Resultados Esperados
Diagnosticar las condiciones técnicas, productivas, logísticas y socio energéticas de la cadena agroindustrial del coco en Tumaco	Revisión documental, encuesta semiestructurada, análisis PESTEL y DOFA	Se elaboró un diagnóstico integral de la cadena productiva del coco en Tumaco mediante fuentes secundarias y primarias (81 encuestas y visita a AGROSAVIA El Mira), que permitió identificar actores, generación de residuos y limitaciones, complementado con análisis PESTEL y DOFA para definir las variables críticas de valorización energética del endocarpio. Se evalúa la composición del residuo y su potencial de biodigestión, junto con los costos de biodigestores, estimando beneficios ambientales (3.857 t de CO ₂ evitadas, 1.800 t de residuos gestionados) y sociales (sustitución de leña en 344 hogares), lo que evidencia la viabilidad técnica y el impacto positivo del modelo.	Bases de datos oficiales (DANE, Min Agricultura), informes de AGROSAVIA, encuestas a productores	Caracterización detallada de la cadena de valor y variables que influyen en la generación del residuo del endocarpio
Evaluar el potencial energético del residuo del endocarpio del coco mediante su caracterización fisicoquímica y su aprovechamiento por biodigestión anaerobia	Caracterización fisicoquímica de residuo de Coco, estimación de la generación de biogás mediante biodigestión anaeróbica, análisis comparado de experiencias	Estudios técnicos de AGROSAVIA, literatura científica, datos de campo y pruebas piloto	Estimación del potencial de producción de biogás, contenido calórico, y eficiencia del proceso de biodigestión	
Proponer un modelo de economía circular para la valorización del endocarpio del coco, orientado a la generación	Diseño técnico-operativo y financiero del modelo, validación conceptual y técnica	Propuesta un modelo técnico y social con biodigestores modulares de bajo costo que integran recolección, producción de biogás y uso del digestato, fomentando la participación comunitaria. Incluye un	Datos del diagnóstico, estudios de caso, parámetros técnicos del biodigestor piloto	Modelo técnico-financiero adaptable al contexto de Tumaco, con fases operativas, indicadores e

sostenible de energía	(simulación + biodigestor piloto)	análisis financiero con VAN, TIR y ROI, mientras que la validación operativa en AGROSAVIA se plantea como trabajo futuro. Analizar la rentabilidad y sostenibilidad del modelo mediante proyecciones financieras a diez años		impacto ambiental
Analizar la factibilidad técnica y social, y la viabilidad financiera del modelo propuesto	Análisis financiero (VAN, TIR, ROI) y DOFA prospectiva Estimaciones	(ROI, VAN, TIR, punto de equilibrio), incorporando beneficios económicos y un análisis DOFA, lo que asegura coherencia metodológica y permite plantear estrategias de escalabilidad y sostenibilidad.	Proyecciones de costos e ingresos, encuestas, Excel financiero.	Determinación del retorno de inversión, sostenibilidad del modelo y estrategias para su escalabilidad territorial

Nota: Elaboración propia

Adicionalmente se genera un cronograma en la tabla 3 del proyecto para garantizar una ejecución organizada, coherente y eficiente. Donde se distribuye las actividades en el tiempo, facilita el seguimiento del avance y asegurar la alineación entre los objetivos, fases y entregables del estudio. Además, sustenta la viabilidad técnica y metodológica del modelo propuesto.

Tabla 4 Cronograma del Proyecto por fases y actividades

Fase	Descripción	Actividad	Entregable	Mes
I	Diagnóstico y caracterización de la cadena de suministro del coco	Revisión documental de fuentes secundarias	Diagnóstico logístico de la cadena del coco	1
		Diseño, validación y aplicación de encuesta semiestructurada a productores	Encuesta	2

		Visita técnica y observación directa en AGROSAVIA El Mira	Informe de visita	2
		Procesamiento de encuestas y análisis cuantitativo (Excel)	Informe de resultados de encuesta	3
		Elaboración de diagnóstico con análisis PESTEL y matriz DOFA	Matriz DOFA y PESTEL aplicadas al territorio	3
II	Evaluación del potencial de generación de biogás y energía	Caracterización fisicoquímica del endocarpio (materia orgánica, humedad, entre otras)	Resultados basados en la investigación de la Fase II	2
		Cálculo del potencial teórico de biogás	Estimación de producción de biogás	3
		Evaluación técnica del potencial energético con parámetros locales	Resultados de evaluación ambiental preliminar	4
		Diseño del modelo técnico-operativo de biodigestores modulares	Modelo técnico-operativo documentado	6
III	Formulación del modelo de economía circular	Integración de variables sociales y diseño de estrategia de capacitación	Estrategia de participación comunitaria	7
		Definición de indicadores de sostenibilidad del modelo	Indicadores de impacto y sostenibilidad	7
IV	Validación integral del modelo propuesto	Análisis de factibilidad técnica, social y financiera	Informe de validación técnica, financiera y social	8
		Simulación de escenarios y evaluación de riesgos		8

Aplicación de análisis DOFA del modelo propuesto	Análisis prospectivo y estrategias de escalabilidad	8
Redacción del informe final con propuestas de escalabilidad y sostenibilidad	Documento final del modelo con recomendaciones	9

Nota: Elaboración propia

Para el desarrollo del presente estudio sobre la valorización del residuo del endocarpio del coco en Tumaco, se establecen y anticipan algunas limitaciones que pueden incidir en la ejecución, calidad de los datos o en la implementación del modelo propuesto. Estas limitaciones se relacionan principalmente con factores logísticos, de acceso a la información, de representatividad, de validación tecnológica y de contexto territorial. En la tabla 4 a continuación se describen las principales limitaciones por fase, junto con las estrategias previstas para su mitigación:

Tabla 5 Limitaciones esperadas y estrategias de mitigación por fase del Proyecto

Fase del Proyecto	Limitaciones Esperadas	Estrategias de Mitigación
I Diagnóstico y caracterización	Acceso limitado a productores por condiciones geográficas o de seguridad.	Trabajo con consejos comunitarios organizados; articulación con AGROSAVIA para facilitar logística de campo.
	Información secundaria desactualizada o incompleta.	Triangulación con observación directa, entrevistas y revisión crítica de fuentes técnicas locales.
II Evaluación del potencial energético	Escasa información experimental local sobre la biodigestión del endocarpio.	Uso de literatura de referencia en contextos similares, complementada con parámetros locales y asesoría técnica de AGROSAVIA.
	Limitaciones técnicas para simular todos los escenarios de biodigestión.	Aplicación de análisis teóricos y simulaciones básicas con parámetros adaptados al contexto.

III	Formulación del modelo	Imposibilidad de validar prototipo funcional en comunidades.	Desarrollo del modelo técnico-operativo con validación conceptual en AGROSAVIA
		Riesgo de baja apropiación social del modelo propuesto.	Inclusión de enfoque participativo, socialización del modelo y formación técnica local desde etapas tempranas.
IV	Validación del modelo	Incertidumbre sobre costos futuros y condiciones de mercado energético.	Análisis financiero con simulación de escenarios (optimista, conservador, pesimista) y uso de indicadores como VAN, TIR y ROI.
		Falta de acceso a herramientas especializadas como HOMER o RETScreen.	Uso de Excel financiero y metodologías complementarias como análisis costo-beneficio y punto de equilibrio.

Nota: Elaboración propia

Resultados

En esta sección se presentan los principales resultados obtenidos a partir del desarrollo de la investigación, los cuales permiten evaluar la viabilidad de implementar un modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha de coco para la generación de energía en el municipio de Tumaco, Nariño. Estos resultados fueron organizados de acuerdo con las fases planteadas para el alcance de los objetivos específicos.

Fase 1 Resultados: Diagnóstico y caracterización de la cadena de suministro del coco en Tumaco y de las variables que inciden en la generación del residuo del endocarpio.

En esta fase se presenta el diagnóstico técnico, productivo, logístico y socio energético de la cadena agroindustrial del coco en el municipio de Tumaco, conforme al objetivo específico 1. Los resultados evidencian que la producción de coco en la región ha sido históricamente significativa, con más de 6.800 hectáreas cultivadas antes de la afectación por plagas, lo que representaba una producción estimada de 43.500 toneladas anuales. Actualmente, la recuperación de las siembras y la consolidación de organizaciones comunitarias como ACAPA o Coagropacífico permiten proyectar un potencial sostenible de reactivación.

La variedad predominante es el coco alto (Typica), con una densidad de siembra de entre 150 y 200 palmas por hectárea. Se identificaron ciclos de cosecha regulares cada 52 días, lo que permite una disponibilidad constante del residuo. A partir de análisis bibliográficos, encuestas a productores y estimaciones de biomasa residual, se determinó que por cada hectárea sembrada se generan aproximadamente 195 kg de residuos útiles

(estopa y endocarpio) por ciclo de cosecha, lo que equivale a más de 258 toneladas por ciclo para el área actualmente sembrada.

El sistema logístico depende principalmente de transporte fluvial, lo cual incrementa los costos y tiempos de entrega, y limita la tecnificación del acopio. La mayor parte del coco se comercializa sin estopa, generando acumulación de residuos en las zonas de cultivo, lo cual representa una oportunidad para su valorización energética. Desde el enfoque socio energético, los productores manifestaron disposición a adoptar prácticas sostenibles, aunque enfrentan barreras de infraestructura, asistencia técnica e ingresos insuficientes. El diagnóstico también identificó como limitantes el bajo acceso a tecnologías para el aprovechamiento de residuos y la baja tecnificación de los procesos productivos.

Con base en este diagnóstico, se identificaron oportunidades clave para implementar un modelo de economía circular que aproveche el residuo del endocarpio para la generación de energía mediante tecnologías adaptadas a las condiciones de Tumaco. Este modelo podrá ser replicado en otras zonas rurales con condiciones similares en el litoral Pacífico colombiano.

El ciclo de vida del coco y las variables que inciden en la generación de residuos permiten comprender las fases productivas y los componentes clave del fruto, lo que facilita identificar oportunidades para su valorización. En particular, las distintas etapas de desarrollo de la palma, así como su rendimiento y composición, ofrecen una base técnica para estimar el volumen y tipo de residuos generados a lo largo del proceso productivo.

El contexto productivo del coco en Tumaco se caracteriza por el uso de variedades específicas, la presencia de prácticas agrícolas tradicionales y una

infraestructura de investigación centrada en cultivos estratégicos para la región. Este panorama permite entender no solo las condiciones actuales de la producción, sino también las oportunidades para implementar modelos de aprovechamiento energético basados en residuos del cultivo.

Recolección y análisis de información secundaria

A partir de fuentes especializadas se identificaron aspectos clave del sistema productivo del coco, incluyendo su morfología, ciclo de cosecha, volumen de residuos y potencial de aprovechamiento. De acuerdo con autores como Lizano (2003), el ciclo de vida de Coco Nucifera está compuesto por aproximadamente por etapas productivas. La primera es la germinación que se encuentra en los 3 y 6 meses generalmente, la etapa de germinación inicia cuando una semilla madura del coco (normalmente la fruta completa) se coloca en condiciones adecuadas de humedad, calor y oxígeno. La segunda etapa es la juvenil, donde desarrollan sus primeras hojas y un sistema radicular primario; durante esta etapa, la planta crece y establece su base, esta fase puede tomar de 3 a 5 años generalmente. En la fase de desarrollo vegetativo, en la cual la planta entra en su fase de crecimiento activo, desarrollando su tronco y hojas características. La palma alcanza su altura inicial y desarrolla estructuras para la producción de frutos. Esta fase se da desde los 5 a los 7 años. La fase de producción o fase adulta, que puede llegar a más de 60 años de vida; aunque por la altura que puede obtener la Palma de Coco cuando está por encima de una edad de 40 años, no es viable para la recolección o cosecha. La última etapa es la fase de declive y muerte y se encuentra después de los 60 años donde la producción de frutos disminuye progresivamente y el árbol comienza a mostrar signos de envejecimiento (Lizano, 2003). La Figura 7 presenta las fases de crecimiento de la Palma de Coco.

Figura 8 Fases de crecimiento de la Palma de Coco



Nota: Elaboración propia

El Coco tiene algunas variedades donde se destacan dos tipos. La primera variedad es el Coco Enano (Dewar), el cual es precoz y se cultiva comúnmente para la producción de agua de coco. Tiene un tamaño más pequeño y un ciclo productivo más corto, su primer fruto oscila entre los 3 a 4 años después de la germinación. La variedad Coco Enano puede llegar a alturas de 8 a 12 metros, esto ayuda y facilita la cosecha durante toda su vida productiva (Lizano, 2003).

La segunda variedad es el Coco Alto (Typica o Tall) la cual es más alta y con una vida productiva más larga. Suele ser utilizada para la producción de copra (pulpa seca) y otros derivados. Después de la germinación, el primer fruto se encuentra entre el sexto y séptimo año. Esta variedad puede alcanzar alturas de 20 a 30 metros y a partir de los 40-60 años, la altura de la palma dificulta la recolección manual segura y eficiente. La producción de frutos es más alta entre los 7 y 30 años, después de lo cual comienza a disminuir gradualmente. Para ambas variedades el ciclo de cosecha se encuentra

aproximadamente en 2 meses (Lizano, 2003). En la Figura 8 se presentan las palmas enana y alta, junto con sus características.

Figura 9 Palma enana y alta con sus características



Nota: Elaboración propia

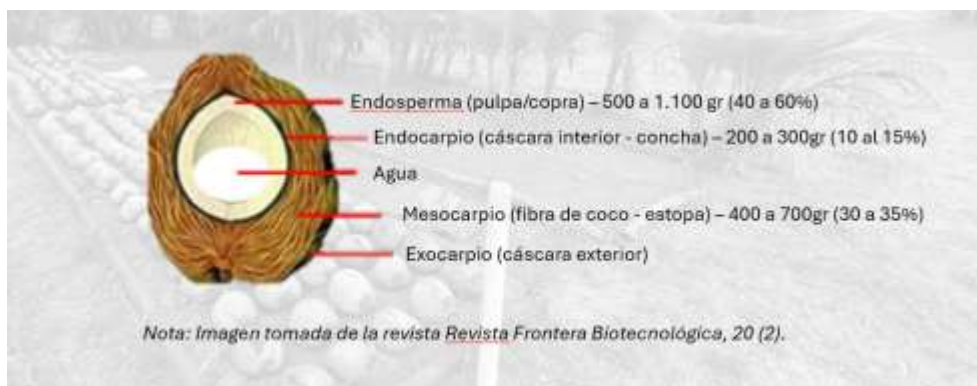
Las palmas requieren algunas características de temperatura, fertilización y suelo adecuados para su producción y cosecha. Temperaturas promedio entre 27°C y 32°C, alta humedad y abundante luz solar, sin olvidar que las zonas costeras tropicales son ideales. Igualmente, suelos bien drenados, ricos en materia orgánica y con pH entre 5,5 y 7,0 ayudan a un crecimiento más rápido (Chan & Elevitch. 2006).

Basados en la información de Thampan (2004), de acuerdo con “*Coconut: The Tree of Life - Proceedings of the International Coconut Conference*” un coco en promedio se encuentra con un peso de 1,2 a 2 kg y se encuentra clasificado de la siguiente manera:

Cáscara externa (mesocarpio), que son las fibras (estopa) y residuos lignocelulósicos, tiene un peso entre 400-700g lo que representa del 30 al 35% del peso

total. También se encuentra la concha o endocarpio, que es la parte dura y leñosa que protege la pulpa interna. Su peso se encuentra entre 200 a 300g lo cual representa entre el 10 a 15%. Junto con el mesocarpio (estopa), podría ser una fuente importante como materia prima para el aprovechamiento energético, principalmente en la biodigestión. Por último, se encuentra la pulpa (copra) que es la parte comestible del coco, rica en aceites y grasas, igualmente el agua de coco (albumen líquido). Entre estas dos partes se encuentra el 40 a 60% del peso total lo que corresponde a 500 a 1.100 g (Thampan 2004). En la Figura 9 se presenta el coco con sus partes y peso de cada una.

Figura 10 Partes del coco, pesos y porcentajes



Nota: Elaboración propia

El mesocarpio o estopa del coco constituye es una porción considerable de residuo orgánico que podría emplearse para el aprovechamiento energético, sin embargo, puede ser transformada en productos como pitas, geotextiles, sustratos para viveros, filtros, empaques biodegradables, además de combustibles sólidos, convirtiéndose en materia prima en sectores como la construcción, el agro, la industria textil y el diseño, lo que contribuye a fortalecer la economía local, generando empleo a la vez que se reduce la presión sobre ecosistemas sensibles.

Aunque Tumaco cuenta con una producción significativa de coco y experiencias puntuales de transformación de residuos como la estopa, se identifican brechas tecnológicas relevantes que limitan la implementación de modelos de valorización energética del endocarpio. Actualmente, no existen en el territorio biodigestores adaptados a la composición lignocelulósica del coco ni infraestructura para el pretratamiento mecánico o térmico del residuo, lo cual es esencial para mejorar la eficiencia en procesos como la biodigestión anaeróbica o la pirólisis (Mata-Alvarez, 2017; FAO, 2020). Además, se carece de mecanismos comunitarios de recolección, secado y clasificación del endocarpio como insumo energético, lo cual representa una limitación estructural para su aprovechamiento sostenible (Estacio & Cárdenas, 2024). Esto evidencia la necesidad de transferencias tecnológicas, inversión pública y formación técnica para cerrar dichas brechas y avanzar hacia la implementación de tecnologías como biodigestores comunitarios o sistemas de pirólisis de baja escala, adaptados al contexto rural del municipio (IEA Bioenergy, 2021).

En San Andrés de Tumaco, la Cooperativa Multiactiva Agropecuaria del Pacífico (Coagropacífico), con apoyo de IC Fundación, implementó una planta para transformar estopa de coco en sustrato orgánico. Producen aproximadamente 1 650 bultos mensuales chips, ripio, fibra y polvillo— destinados a viveros, floricultura, fruticultura y producción de plántulas, mitigando la contaminación de ríos y esteros. En el corregimiento de Corozal (Timbiquí, Cauca), la Asociación AspfiCoco desarrolló infraestructura y tecnología para convertir residuos de coco en sustrato y fibra utilizados en viveros, jardinería y agricultura sostenible. Este modelo comunitario coincide con iniciativas estudiadas en la región pacífica del Cauca, donde proyectos académicos respaldados por la Universidad del Cauca evidencian casos exitosos de valoración de

fibra de coco para usos agronómicos (Delgado Eraso et al., 2023). Además, investigaciones demuestran que la fibra de coco posee excelentes propiedades como sustrato retención hídrica, aireación y eficiencia de uso del agua lo cual respalda su uso en viveros y cultivos de alta demanda técnica.

Antes de las últimas plagas como el picudo negro (*Rhynchophorus palmarum*) y el anillo rojo, Tumaco contaba con aproximadamente 6.800 hectáreas sembradas de coco, involucrando a cerca de 3.000 productores locales, lo cual representaba una producción anual de alrededor de 40.000 toneladas de cáscara de coco en la región (APC-Colombia, 2021).

Cabe resaltar que en los últimos años los cultivos de coco en Tumaco han sido gravemente afectados por plagas como el picudo negro (*Rhynchophorus palmarum*) y el complejo del anillo rojo, que incluye al gusano *Bursaphelenchus cocophilus*. Estas plagas han causado una disminución significativa en la producción, afectando a más de 2.000 familias en la región. El Gobierno Nacional, a través de entidades como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y Agrosavia, ha destinado recursos significativos para la rehabilitación y fortalecimiento del cultivo de coco en el Pacífico colombiano (ICA, 2023).

Cadena productiva del coco en Tumaco.

El Censo Socioeconómico de Productores de Coco en el Municipio de Tumaco - 2019 proporciona información valiosa para el diseño de proyectos que fortalezcan la cadena productiva del coco en Tumaco, enfocándose en mejorar la asociatividad, las condiciones de vida de los productores y la infraestructura para la comercialización (ESCE, 2019). En la Figura 10 se presenta un esquema de la cadena productiva actual de coco en Tumaco, desarrollada a partir de la información recolectada en dicho censo.

Figura 11 Cadena productiva actual del coco en Tumaco



Nota: Tomado de ESCE (2019).

Dicho censo abarcó seis consejos comunitarios: Acapa-Ensenada, Imbilpi, Rescate Las Varas, Tablón Dulce, Tablón Salado y Bucheli Zona Carretera, donde se censaron 639 productores (469 hombres y 170 mujeres) que operan 766 UP, con un área total sembrada de 1.327 hectáreas y aproximadamente 317.408 palmas de coco. Se determinó que el 82% de los productores cultivan en áreas menores a 4 hectáreas, indicando una predominancia de pequeños productores, con una producción media mensual de 439 toneladas de coco. Para el 2017 se generaba un promedio aproximado de dos (2) SMMLV con las 4 hectáreas del cultivo de coco con lo cual se convierte en una alternativa valiosa para la generación lícita de ingresos en la Costa Pacífica. En la región existe FEDECOCO, asociación a la cual se encuentran afiliados el 62% de los productores, lo que resalta la importancia de la organización gremial en la región (ESCE, 2019).

Además de los retos productivos identificados, se evidencian limitaciones significativas en la infraestructura logística y de transformación del coco en Tumaco. La dependencia de medios fluviales para el transporte genera altos costos, largos tiempos

de desplazamiento y limitaciones en la conectividad entre zonas rurales y centros de acopio, afectando la eficiencia de la cadena de suministro (Quintero, 2018; Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2021). La escasez de centros comunitarios de transformación del residuo, como el endocarpio, restringe la implementación de modelos energéticos descentralizados y sostenibles, especialmente a nivel local (FAO, 2022; Estacio & Cárdenas, 2024). Esta situación se agrava con la baja tecnificación en el manejo postcosecha, que limita la recolección eficiente del residuo útil y ocasiona acumulación de residuos como la estopa en los cultivos o cerca de cuerpos de agua, sin procesos adecuados de valorización (APC-Colombia, 2021; Rimisp, 2017). Adicionalmente, la alta dependencia de intermediarios en la comercialización del fruto reduce los márgenes de los productores y desalienta la inversión en prácticas de transformación local (ESCE, 2019; Rimisp, 2017). Estas condiciones justifican la caracterización de la infraestructura como ineficiente en el contexto de este diagnóstico, y refuerzan la necesidad de incluir componentes de fortalecimiento logístico, técnico y asociativo en un modelo de economía circular para Tumaco. Los residuos aún no se han materializado en proyectos sostenibles en la región.

La mayoría de los productores venden su cosecha en el casco urbano de Tumaco o directamente a otras ciudades, enfrentando desafíos logísticos y de infraestructura. El ingreso promedio por hogar es de \$1.042.487 COP y el 54% de los hogares reportaron haber sido víctimas de desplazamiento, reflejando la influencia de factores sociales en la comunidad (ESCE, 2019). Para el 2017 el valor de venta por tonelada se encontraba entre 1.000.000 COP y 1.200.000 COP (Rimisp, 2017).

El cultivo y comercialización del coco en Tumaco no puede comprenderse sin reconocer el entorno social que condiciona las dinámicas de producción. Las

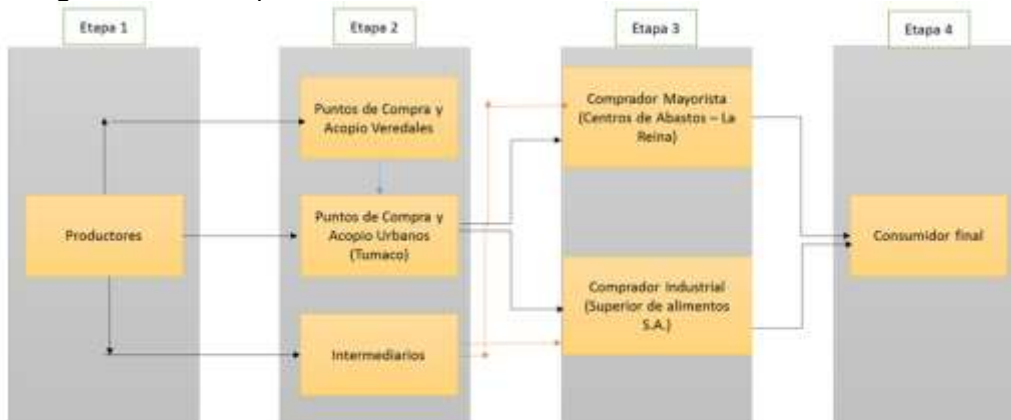
comunidades afrodescendientes que lideran esta actividad enfrentan históricamente condiciones de marginalidad, desplazamiento forzado, baja inversión pública y limitada oferta institucional (Maldonado & Moreno, 2018; Restrepo & Rojas, 2010). El hecho de que más del 54% de los hogares reporten haber sido víctimas de desplazamiento evidencia las afectaciones del conflicto armado en la estructura social del territorio (Rimisp, 2017).

A esto se suma la baja asociatividad efectiva, el limitado acceso a crédito, asistencia técnica y educación, y las barreras estructurales que enfrentan mujeres y jóvenes para integrarse plenamente a la cadena productiva (Parada Lugo, 2024; DNP, 2018). Aunque la actividad cocotera ha sido fuente de ingreso y arraigo cultural, persisten retos para mejorar las condiciones de vida de los productores y fortalecer su capacidad de incidir en decisiones económicas y productivas.

Estos aspectos refuerzan la necesidad de que cualquier modelo de economía circular incluido el de valorización energética incorpore enfoques diferenciales y participativos que respondan a las condiciones sociales reales del territorio y contribuyan a la justicia social y la equidad en Tumaco (CEPAL, 2020).

Basados en el informe de Rimisp – Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural en el 2017, se puede observar en la Figura 11 la descripción de la cadena productiva del Coco en Tumaco, enfocado en aspectos comerciales, desde el productor, pasando por los puntos de acopio, compra y finalizando con el consumidor final.

Figura 12 Cadena productiva del Coco en Tumaco



Nota: Tomado de Rimisp (2017) https://rimisp.org/wp-content/files_mf/1514388277Producto3b_Modelocomercializacion_Priorizacioncadenas_GRANTFI_DA1.pdf

Para el 2017, los productores de coco, en promedio, tenían 3,5 hectáreas de coco sembradas, con unas densidades de 150 palmas/Ha para la variedad coco típico, 200 palmas/Ha para coco manila y 180 palmas/Ha para coco híbrido. Así mismo entre el 2017 a 2019 la producción de Coco continua durante todo el año (cada 45 días), lo que permite una cosecha permanente. Sin embargo, se observan picos de producción más altos entre los meses de junio y diciembre, con un pequeño incremento adicional en marzo (Rimisp, 2017).

Los productores de coco en Tumaco cosechan y transportan su producción a centros de acopio veredales o urbanos. Gran parte de esta se vende a intermediarios debido a acuerdos comerciales o anticipos de compra. Sin embargo, muchos productores prefieren esperar a que los intermediarios recojan el producto directamente, ya que el traslado hasta los centros de acopio implica altos costos. Los intermediarios compran coco directamente en las fincas según sus necesidades, aprovechando su conocimiento de los mejores cultivadores y rutas cercanas, adicionalmente el coco que los

intermediarios adquieren, en su mayoría se encuentran sin la estopa o mesocarpio, es decir que una gran parte de la estopa se queda a las orillas de los ríos o lugares de recolección (Rimisp, 2017). En la Figura 12 puede observarse la cáscara de coco o estopa acumulada en el lugar de cultivo.

Figura 13 Cáscara de coco (estopa) en orillas o lugar de cultivo.



Nota: Tomado de APC-Colombia, (2021)

<https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/proyectos/200.pdf>

Normalmente los compradores llevan efectivo, pero en ocasiones obtienen el producto sin pago inmediato o lo intercambian por productos básicos. Algunos productores también se convierten en intermediarios al tener capital y acceso a canales de comercialización, estructurando así sus propios negocios (Rimisp, 2017).

El transporte del coco desde las áreas de cultivo hasta los puntos de acopio y comercialización se realiza principalmente mediante medios fluviales, como lanchas y canoas, debido a la geografía de la región, caracterizada por una extensa red de ríos y estuarios. Este método es esencial para movilizar el producto desde zonas rurales hasta la cabecera municipal, donde se concentra la comercialización (Quintero, 2018).

Generalmente, la recolección se realiza durante las horas del día en que las mareas son más favorables, lo que facilita el acceso y el transporte de los cocos desde las plantaciones hasta los puntos de acopio. Es importante destacar que los costos de transporte pueden variar dependiendo de la dispersión de las fincas de los productores y las condiciones de las vías de acceso. Además, la falta de infraestructura adecuada y la dependencia de medios fluviales pueden incrementar los costos y tiempos de transporte, afectando la eficiencia en la cadena de suministro del coco en la región (Quintero, 2018).

Algunas empresas procesadoras pueden requerir que el coco sea entregado sin ciertas partes, como el exocarpio y el mesocarpio, para facilitar su procesamiento. Esta práctica depende de los acuerdos establecidos entre los productores y las empresas, así como de la infraestructura disponible en los centros de acopio para realizar la remoción de estas capas. No obstante, en muchas ocasiones, el coco se entrega entero, y es en las instalaciones de las empresas procesadoras donde se lleva a cabo la separación de las diferentes partes del fruto según el producto final deseado (Rimisp, 2017).

El proceso de entrega del coco a las empresas procesadoras varía según las prácticas de los productores y las necesidades específicas de las empresas. Generalmente, los productores cosechan los cocos y los transportan a centros de acopio o directamente a los intermediarios. En estos puntos, el coco se comercializa sin el mesocarpio es decir que ya han retirado la estopa con lo cual queda una parte menor de mesocarpio (fibra) y endocarpio (cáscara dura que envuelve la pulpa y el agua) (Quintero, 2018). La Figura 13 muestra la forma de compra de los intermediarios a los cultivadores.

Figura 14 *Forma de compra de los intermediarios a los cultivadores*



Nota: Fotografía tomada por el autor

Análisis del entorno.

El aprovechamiento energético de los residuos de coco representa una oportunidad innovadora para la generación de energía sostenible y la reducción del impacto ambiental. Para tener un panorama del contexto local y regional se realiza un análisis DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) y PESTEL (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal). En conjunto, estos enfoques ayudan a formular estrategias eficientes que maximicen los beneficios ambientales y económicos de la valorización energética de los residuos de coco.

Se realizó un análisis DOFA cruzada a fin de identificar los aspectos clave a nivel interno y externo, que influyen en el desarrollo de este modelo para la inclusión de estrategias de economía circular en la cadena productiva de coco en Tumaco, incluyendo la generación de propuestas estratégicas. Esta DOFA se presenta en la Tabla 5.

Tabla 6 *Matriz DOFA para Economía Circular del coco en Tumaco*

Oportunidades	Amenazas
---------------	----------

	Tendencia para crear productos innovadores a partir del coco, como bioplástico y bioenergía.	Impactos negativos en la producción de coco debido al cambio climático.
	Aumento de la demanda de productos sostenibles y orgánicos a nivel global.	Posibles cambios en las normativas ambientales que podrían afectar la viabilidad de proyectos de economía circular.
	Posibilidad de acceder a beneficios económicos gubernamentales y financiamiento para proyectos de economía circular y sostenibilidad.	Alteraciones de orden público en la región.
	Disposición de los agricultores y productores para recibir capacitaciones en prácticas sostenibles y técnicas de economía circular.	Falta de incentivos económicos y políticas para impulsar proyectos para incorporar economía circular.
	Apoyo institucional y de cooperación internacional para el desarrollo de proyectos productivos sostenibles.	Desigualdad en el acceso a recursos tecnológicos entre pequeños y grandes productores.
Fortalezas	Estrategias FO (Fortalezas + Oportunidades)	Estrategias DO (Debilidades + Oportunidades)
Región con alta producción de coco, lo cual proporciona una amplia base para la economía circular.	Aprovechamiento de la experiencia local en el cultivo del coco y su producción para crear alternativas	Aprovechamiento de la experiencia agrícola local para introducir sistemas agroforestales
Conocimiento local y experiencia y técnicas en el cultivo y procesamiento del coco.	opciones innovadoras como energía de la biomasa, bioplásticos u otros bioproductos.	y técnicas de cultivo regenerativas para generar resiliencia al cambio climático.
Disponibilidad de tierras fértiles y un clima adecuado para el cultivo del coco.	La disponibilidad de tierras fértiles crea condiciones aptas para expandir proyectos sostenibles, alineados con la demanda global por productos orgánicos.	Implementar programas de formación técnica y empresarial con apoyo de cooperación internacional, orientados a pequeños productores y comunidades rurales.
Mano de obra disponible para involucrarla en la implementación de prácticas sostenibles.	La mano de obra local representa una oportunidad para desarrollar programas de capacitación enfocados en prácticas sostenibles y modelos de	Establecer centros comunitarios de acopio y transformación con

Potencial para valorizar los residuos y subproductos para generar energía o bioproductos.	economía circular, fortaleciendo así el desarrollo integral de la región.	financiamiento público-privado que reduzcan la brecha tecnológica.
Presencia de organizaciones comunitarias	Conformación de alianzas entre productores, cooperativas y entidades públicas para acceder a fondos verdes y programas de cooperación internacional.	
	Establecer centros comunitarios de acopio y transformación con financiamiento público-privado que reduzcan la brecha tecnológica	
Debilidades	Estrategias FA (Fortalezas + Amenazas)	Estrategias DA (Debilidades + Amenazas)
Falta de infraestructura adecuada para el procesamiento, reciclaje y/o reincorporación de los productos derivados del coco.	Desarrollo de programas de formación dirigidos a productores, jóvenes y mujeres rurales en temas como valorización de residuos.	Diseño planes de acción que consideren la seguridad territorial. Desarrollo de planes para acceso a mercados para disminuir vulnerabilidades.
Falta conocimiento y las habilidades técnicas en la implementación de estrategias de economía circular.	Establecimiento de infraestructura básica para el aprovechamiento de subproductos del coco como centros de acopio y transformación comunitarios.	Promoción de reuniones y trabajo conjunto entre productores, entidades públicas, ONG y universidades para tomar decisiones a nivel municipal y regional.
Altos costos iniciales para la incorporación de nuevas tecnologías y procesos sostenibles.	Introducción de tecnologías para la gestión de residuos, trazabilidad y buenas prácticas agrícolas, acompañadas de formación y asistencia técnica.	
Dificultades en el transporte y distribución de productos en regiones remotas.		
Baja tecnificación de los procesos productivos.	Creación de alianzas estratégicas con empresas o instituciones de investigación.	

Nota: Elaboración propia

Adicionalmente se realizó un análisis PESTEL donde se evalúan los factores externos que pueden influir en la valorización del endocarpio del coco en Tumaco, Nariño, según se presenta en la Tabla 6.

Tabla 7 *Análisis PESTEL para Economía Circular del coco en Tumaco*

Factores	Descripción
Políticos	<p>Tumaco ha sido históricamente afectado por conflictos armados y presencia de cultivos ilícitos, lo que ha generado desafíos en el desarrollo económico y social de la región. A pesar de los esfuerzos gubernamentales por sustituir cultivos ilegales y promover alternativas productivas, la implementación de políticas ha sido inconsistente, afectando la confianza de los productores en las iniciativas gubernamentales (Universidad de Nariño, 2023). Por ejemplo, el Programa Nacional Integral para la Sustitución Voluntaria de Cultivos de Uso Ilícito ha buscado vincular a familias en proyectos productivos sostenibles, pero enfrenta desafíos en su ejecución efectiva (Quintero Chamorro, M. N., s.f.).</p> <p>Asimismo, se resalta que la estructura político-administrativa del municipio de Tumaco está mediada por una gobernanza étnica colectiva, donde los consejos comunitarios, reconocidos por la Ley 70 de 1993, desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones sobre el uso de los recursos naturales y los proyectos productivos en sus territorios (Congreso de Colombia, 1993; DNP, 2022). Esta forma de organización territorial implica que la planificación de cualquier iniciativa de economía circular debe ser articulada con las autoridades étnico-territoriales y en concordancia con los planes de vida y ordenamiento propios (CIVP, 2020; Velásquez, 2011). En este contexto, la implementación de un modelo de valorización energética del residuo del coco requiere no solo un diagnóstico técnico, sino también el reconocimiento de las dinámicas políticas locales, lo cual resulta esencial para garantizar la apropiación social, el acceso a beneficios y la sostenibilidad de la propuesta (Rodríguez & Camargo, 2020).</p>
Económicos	<p>La economía de Tumaco depende en gran medida de la producción de coco, con el municipio aportando aproximadamente el 62,8% de la producción departamental, equivalente al 31,5% de la producción nacional (Girón, 2012). Sin embargo, el departamento de Nariño en su conjunto ha tenido una baja participación en el PIB nacional, aportando aproximadamente el 1,4% del total del país (DANE, 2021), lo cual refleja una histórica falta de priorización en términos de inversión pública y privada. Esta baja participación económica contribuye a que el municipio enfrente limitaciones estructurales en infraestructura, asistencia técnica e inversión en innovación para sectores agroindustriales como el del coco. La escasa inversión en el sector limita el potencial productivo y comercial del cultivo, profundizando</p>

las brechas de desarrollo frente a otras regiones del país (Correa Díaz & Mosquera Patterson, 2007). Además, la infraestructura deficiente incrementa los costos de producción y dificulta el acceso a mercados más amplios (Instituto Colombiano del Petróleo, 2018).

Sociales	Las comunidades de Tumaco han sido afectadas por el conflicto armado, con presencia de grupos ilegales que generan violencia y desplazamiento. A pesar de los esfuerzos por promover la sustitución de cultivos ilícitos, persisten desafíos sociales como la violencia de género y la falta de acceso a servicios básicos. Organizaciones locales, como la Red de Mujeres de Nariño, trabajan en la promoción de alternativas productivas y en la visibilización de problemáticas sociales, incluyendo las violencias de género en contextos de cultivos ilícitos (Parada Lugo, V., 2024).
Tecnológicos	La adopción de tecnologías para el procesamiento y valorización del endocarpio o concha del coco es limitada en Tumaco. La falta de infraestructura y capacitación técnica impide la implementación de procesos eficientes que agreguen valor al residuo del coco. Iniciativas como la producción de sustrato y fibra a partir de la cáscara de coco o el aprovechamiento energético de los residuos buscan introducir tecnologías limpias y sostenibles, pero requieren inversión y capacitación para su desarrollo exitoso (Fundación Julio y Astrida Carrizosa, 2022).
Ecológicos	La región de Tumaco enfrenta desafíos ambientales debido a la deforestación y la contaminación de cuerpos de agua, en parte por la actividad cocalera. La valorización del endocarpio del coco ofrece una oportunidad para mitigar el impacto ambiental, transformando un residuo en una fuente de energía renovable. Sin embargo, es crucial evaluar y minimizar los posibles impactos negativos de las actividades de procesamiento en el entorno local (Parada Lugo, V., 2024).
Legales	La Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) fomenta la valorización de residuos agrícolas y subproductos como estopa y concha de coco, fibras, cáscaras. El decreto 2412 de 2018 establece lineamientos para el aprovechamiento de residuos orgánicos, la Ley 1876 de 2017 (crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria) fomenta la innovación rural, incluyendo prácticas circulares como el uso eficiente del agua o energía en producción agrícola, el Plan de Ordenamiento Territorial 2008-2019 (POT) de Tumaco define zonas aptas para actividades agroindustriales y de transformación y la Ley 70 de 1993 (comunidades afrocolombianas) que garantiza la autonomía territorial, cultural y económica.

Nota: Elaboración propia a partir de Quintero Chamorro (s.f.), Instituto Colombiano del Petróleo (2018), Fundación Julio y Astrida Carrizosa (2022), Parada Lugo (2024).

En complemento al análisis económico, es importante considerar que la economía de Tumaco no solo depende estructuralmente del cultivo de coco, sino que también está expuesta a factores macroeconómicos como la inflación nacional, que afecta

directamente los precios de insumos agrícolas, transporte y servicios asociados a la producción rural. Según el Banco de la República (2023), los niveles de inflación en Colombia han tenido un impacto desproporcionado en las regiones periféricas, donde los productores enfrentan mayores dificultades para absorber los aumentos en el costo de vida y de operación. Esta situación representa un reto adicional para la consolidación de iniciativas de valorización de residuos del coco, especialmente cuando se proyectan bajo esquemas de economía circular.

No obstante, este contexto también abre una oportunidad relevante para el territorio, el desarrollo de modelos circulares con base en la transformación local de residuos puede contribuir significativamente a la generación de empleo verde, inclusión de jóvenes y mujeres rurales, así como a la mejora de ingresos comunitarios mediante actividades como la producción de bioinsumos, energía renovable y derivados del coco. Tal como lo han señalado la FAO (2021) y la OIT (2022), el impulso a cadenas sostenibles basadas en bioeconomía puede fortalecer la empleabilidad en áreas rurales y reducir la dependencia de economías ilícitas, alineándose con los principios de desarrollo territorial sostenible y justicia energética.

Trabajo de Campo

En el mes de octubre de 2024 se realizó una visita a la zona, específicamente a las instalaciones del Centro de Investigación de Agrosavia, El Mira en Tumaco con el objetivo de conocer de primera mano el contexto general productivo del Coco. La labor de este centro es propender por la conservación de recursos naturales y el bienestar de comunidades indígenas y afrodescendientes, al tiempo que se centra en la agricultura del Pacífico colombiano. El centro se especializa en palmáceas de interés económico como palma de aceite, coco y chontaduro, y alberga los Bancos Nacionales de Germoplasma

de la palma de aceite americana (*Elaeis oleifera*) y del chontaduro (*Bactris gasipaes*). Estos bancos preservan la biodiversidad de palmáceas colombianas y contribuyen al mejoramiento genético para el suroccidente del país (Agrosavia, s/f). En la Figura 14 puede observarse las instalaciones del centro de investigación El Mira visitadas en el mes de octubre de 2024.

En la visita se pudo establecer que la palma de Aceite se divide en tres tipos en Tumaco: palma africana, palma americana (noli) y palma híbrida (cruce entre la americana y africana). Esta palma híbrida se desarrolló con fin de encontrar un tipo de palma resistente a la enfermedad del Anillo Rojo. El Anillo Rojo (AR) es una enfermedad recurrente en las zonas palmeras de Colombia, especialmente en las regiones Norte y Oriental. Es transmitida por el picudo negro (*Rhynchophorus palmarum*), que actúa como vector del nematodo *Bursaphelenchus cocophilus*, causante de la enfermedad. Si no se detecta a tiempo y no se eliminan las palmas infectadas, el AR se propaga a las palmas vecinas, causando graves daños a la plantación (Aldana et al, 2015).

Figura 15 Instalaciones de El centro de Investigación de Agrosavia El Mira, en Tumaco





Nota: Fotografía tomada por el autor

Los síntomas del AR incluyen marchitamiento y amarillamiento de las hojas inferiores, secado progresivo de las hojas, manteniendo una posición erecta, presencia de un anillo de color rojizo en la sección transversal del estípote (estructura de soporte).

En conjunto con personal de Agrosavia de El Centro de Investigación El Mira, se logró establecer que para las zonas rurales en promedio una hectárea tiene de 150 a 160 palmas, que es un dato similar al planteado en la investigación bibliográfica.

Con la nueva siembra que actualmente se está realizando y con la expectativa de que en los próximos 4 a 5 años se pueda alcanzar los niveles de producción iguales o superiores a los que se presentaban hace dos años, se puede establecer que la producción estaría alrededor 43.588 toneladas de Coco, que corresponde a un rendimiento promedio de 6.41 toneladas/ha al año con una superficie de 6.800 hectáreas (ICA, 2023).

El cuestionario desarrollado para productores de coco fue aplicado con el apoyo de investigadores pertenecientes al Centro de Investigación el Mira de Agrosavia, quienes encuestaron a los productores de coco de las diferentes organizaciones y consejos comunitarios, donde se obtuvieron 81 respuestas.

Basado en estas encuestas se logró determinar que el 86,42 % son hombres y el 13,58 % son mujeres, lo que probablemente se deriva de que la producción de coco en Tumaco es una actividad históricamente liderada por hombres, principalmente porque las tareas de cultivo, cosecha y transporte están ligada a esfuerzo físico y son menos accesibles para las mujeres, quienes enfrentan barreras por esta razón.

De los datos recolectados pudo establecer que casi la totalidad de productores de coco perteneces a alguna organización o consejo comunitario, siendo que la mayoría se encuentra adscrito a ACAPA, Imbilpi y Tablón Salado. En la Figura 15 puede verse los resultados de la pertenencia de los productores de coco encuestados a las organizaciones o consejos comunitarios.

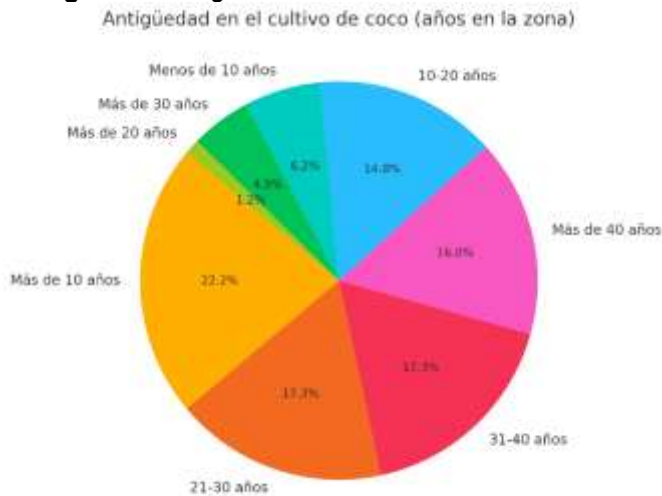
Figura 16 Pertenencia de los productores de coco encuestados a las organizaciones o consejo comunitarios.



Nota: Elaboración propia

Más del 60% de los productores encuestados llevan más de 20 años dedicados al cultivo de coco, lo que demuestra una profunda conexión cultural, técnica y económica con esta actividad. Además, un grupo significativo cuenta con entre 10 y 20 años de experiencia, lo que indica la participación de una segunda generación de productores. Esta combinación de conocimientos tradicionales y una mayor apertura de los más jóvenes a la innovación tecnológica crea un entorno favorable para la implementación de prácticas sostenibles, como la recolección de residuos y el uso de biodigestores para su aprovechamiento energético. En la Figura 16 es posible observar la antigüedad del cultivo de coco en años entre los entrevistados.

Figura 17 Antigüedad del cultivo de coco en los entrevistados.



Nota: Elaboración propia

Igualmente, se logró determinar que el tiempo de cosecha se encuentra en promedio de 52 días aproximadamente, así como que los productores tienen entre 4 y 5 hectáreas cosechadas y en cada hectárea tiene 215 palmas promedio con un peso promedio de 1.125g en la totalidad del Coco. Estos valores sugieren que la mayoría de los productores operan a una escala familiar, lo que implica que pueden existir limitaciones para acceder a tecnologías avanzadas o sistemas intensivos de

transformación sin apoyo externo. Estas áreas cultivadas permiten una producción regular de coco, sin embargo, son insuficientes para sostener una infraestructura de valorización energética (como generación de biogás) de forma individual, por lo cual se haría indispensable lograr asociaciones a nivel comunitario.

No todos los encuestados respondieron la pregunta en relación a los ingresos mensuales que reciben, derivados de la producción del coco, sin embargo, entre los datos recolectados se encuentra que obtienen desde \$400.000 y hasta valores de \$20.000.000. Estos valores dependen no solo de la cantidad de hectáreas cultivadas sino también de la edad del cultivo. Se determina que el valor por unidad de venta promedio por docena es 34.000 COP y su principal cliente son los intermediarios.

Los productores encuestados enfrentan retos logísticos importantes, dado que los tiempos de desplazamiento entre las fincas y los centros de comercialización varían entre 1 y 4 horas, dado que la infraestructura de transporte es limitada y el acceso a centros urbanos depende muchas veces de medios fluviales.

Los resultados del instrumento aplicado a productores de coco permiten identificar condiciones claves para el diagnóstico socio energético del residuo. Por ejemplo, la frecuencia de cosecha, el número de palmas por hectárea y el volumen de residuos generados indican un flujo continuo pero fragmentado de biomasa, lo que dificulta su aprovechamiento si no se consolida colectivamente (Estacio & Cárdenas, 2024). Además, la limitada tecnificación reportada por los encuestados, sumada a las barreras de acceso a formación y acompañamiento técnico, evidencia la necesidad de una solución tecnológica adaptada a pequeñas unidades productivas (Agrosavia, 2023; Cámara de Comercio de Tumaco, 2023). Esta información resulta fundamental para dimensionar el potencial de residuos disponibles, su estacionalidad y la viabilidad de

sistemas energéticos descentralizados, coherentes con las dinámicas territoriales del Pacífico colombiano (FAO, 2020; IEA Bioenergy, 2021).

Se puede establecer que cada 52 días se realiza la cosecha de coco, sin embargo, un porcentaje elevado de la cosecha es adquirido por la industria y mayoristas que finalmente se encuentran ubicados en las grandes ciudades como Bogotá, Cali y Medellín, lo cual deja con un porcentaje aproximado del 12% que se transforma y consume localmente (Cámara de Comercio de Tumaco, 2023).

Finalmente, de los 81 encuestados, 31 manifestaron no haber recibido asesoría de alguna organización para obtener mejoras en el proceso productivo del coco o en la reducción de impactos ambientales y solamente 1 manifestó no tener interés en recibir asesoramiento para reducir el impacto ambiental de su producción. La información completa recolectada en las encuestas se presenta en el Anexo II.

Como punto final para el diagnóstico realizado se revisó el análisis contenido en el documento "Inventario y caracterización de biomasa para producción de energía en Tumaco: Análisis de residuos de coco y semillas de palma de aceite para la generación de biogás en agroindustrias locales". En dicho estudio elaborado por Estacio y Cárdenas (2024) se analizó como se entregan las muestras de coco a los intermediarios. Estas muestras tienen un peso promedio de 905 gramos donde la estopa y concha es de 79 gramos (8%) y 154 gramos (17%) correspondería aproximadamente a residuo para el uso en el biodigestor.

Con la información obtenida de las encuestas se puede establecer que hay disponible alrededor de 860 cocos cada 52 días por hectárea o 6.020 al año. Lo que equivale a un peso de coco pelado de 778,3 kilogramos por ciclo de cosecha por

hectárea y un peso de 194,6 kilogramos de estopa y concha por hectárea para uso como residuo orgánico. En la figura 17 se observa la cantidad de palmas por hectárea y los pesos promedios de los cocos pelados y enteros.

Figura 18 Palmas por hectárea y pesos de cocos.



Nota: Elaboración propia

Tomando como base la cantidad recolectada en el Censo de 2019 (ESCE, 2019) para los seis consejos comunitarios: Acapa-Ensenada, Imbilpí, Rescate Las Varas, Tablón Dulce, Tablón Salado y Bucheli Zona Carretera con un área total sembrada de 1.327 hectáreas el potencial de residuo orgánico de coco específicamente el endocarpio y el sobrante del mesocarpio sería de 258.201 kg o 258 toneladas por ciclo de cosecha para el uso como materia prima para el Biodigestor.

Fase 2 Resultados: Evaluación del potencial de generación de biogás y energía del endocarpio del coco por biodigestión en el municipio de Tumaco.

Esta fase tiene como propósito determinar el potencial energético del residuo del endocarpio del coco mediante biodigestión anaerobia, para lo cual se parte de su caracterización fisicoquímica y se estiman los sólidos volátiles disponibles. A partir de

estos valores y de los criterios técnicos establecidos por FAO (2011), se calcula el volumen de biogás teórico por ciclo de cosecha. Asimismo, se presentan costos técnicos referenciales asociados al sistema de digestión, como insumo para la formulación del modelo en la fase 3.

Como se ha mencionado anteriormente el coco se encuentra dividido en las siguientes partes principalmente donde se encuentra el mesocarpio, endocarpio, endospermo (pulpa) y el agua de coco. El Mesocarpio o estopa, es una capa fibrosa representa aproximadamente el 35% del peso total del coco. Está compuesta principalmente por fibras largas y cortas, además de polvo del tejido medular. En promedio, cada coco seco contiene alrededor de 125 g de fibras secas y 250 g de polvo medular (Anónimo, s.f.)

El Endocarpio o concha, constituye cerca del 12% del peso del fruto. Es una capa dura y leñosa cuya composición química varía según factores como la edad de la planta y las condiciones climáticas. Sin embargo, se estima que contiene altos niveles de lignina, un polímero responsable de la dureza del material (Trujillo & Arias, 2013).

El endospermo o pulpa aporta alrededor del 28% del peso total del coco. Es la parte comestible y presenta la siguiente composición por cada 100 g, calorías 351 kcal grasas 36 g, hidratos de carbono 3,7 g, fibra 10,5 g, potasio 405 mg, magnesio 52 mg, vitamina E 0,7 mg, vitamina C: 2 mg y ácido fólico: 26 mcg (Fundación Española de la Nutrición, s.f.).

Por último, el agua de coco: Representa aproximadamente el 25% del peso del fruto. Es un líquido claro y contiene una variedad de compuestos (Arzeta Ríos, 2022).

Con respecto a la humedad Mesocarpio (estopa) está constituido principalmente por fibras lignocelulósicas, compuestas de celulosa, hemicelulosa y lignina. Un estudio indica que la fibra de coco presenta un contenido de humedad residual del 5,62%, un 1,48% de cenizas, 72,05% de material volátil y 20,85% de carbono fijo. Además, el análisis elemental mostró un 52,7% de carbono, 4,3% de hidrógeno y 0,22% de nitrógeno (Miranda Cantillo & Quintero Torres, 2019). El endocarpio está compuesto principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, componentes que le confieren su dureza característica. (Vaca-Cardenas et al., 2021). Par el endospermo sólido, se presenta un contenido de humedad que oscila entre el 44% y el 51%. Por ejemplo, un estudio encontró que la humedad en el endospermo sólido varió desde 44% hasta 51%, dependiendo del cultivar y las condiciones de cultivo (Robles-Ozuna et al., 2021).

Un estudio preliminar de Díaz-Durán et al. (2024), resultado de la investigación desarrollada por la Universidad Ean en conjunto con Agrosavia indica la caracterización fisicoquímica los de residuos de coco procedentes de Tumaco, presentada en la Tabla 7.

De acuerdo con los resultados de este estudio se puede evidenciar que ambos residuos tienen muy alto contenido de sólidos totales, lo cual indica baja humedad, ideal para procesos térmicos o de digestión controlada. Así mismo el contenido de Sólidos Volátiles (materia orgánica biodegradable) es elevado (>85%), lo que los hace altamente adecuados para digestión anaerobia.

Tabla 8 Caracterización fisicoquímica de los residuos de coco

Parámetro	Mesocarpio	Endocarpio
Humedad (%)	5.39	8.49
Sólidos Totales (ST) (%)	94.88	92.17
Sólidos Volátiles (SV % ST)	85.24	87.91

Cenizas (% ST)	10.16	4.62
Carbono (% base seca)	45.4	50.37
Nitrógeno (% base seca)	0.6	0.67
Relación C/N estimada	~75.6	~75.2

Fuente: Tomado de estudio preliminar realizado por Díaz-Durán et al. (2024)

La relación C/N estimada también es alta, lo que sugiere que podría ser necesario mezclar estos residuos con materiales ricos en nitrógeno (como estiércol) para lograr una digestión balanceada y eficiente, sin embargo, por el objetivo de la investigación no se realizó esta mezcla. Una proporción equilibrada es esencial para el crecimiento óptimo de los microorganismos, se recomienda una relación C/N entre 20:1 y 30:1. Un exceso de carbono puede ralentizar el proceso, mientras que un exceso de nitrógeno puede provocar acumulación de amoníaco, inhibiendo la actividad microbiana (Indus, 2023).

Con la información anterior sobre sólidos totales, sólidos volátiles y materia prima disponible se realiza una proyección de biogás disponible en un ciclo de 52 días para la agroindustria que se presenta en la tabla 8.

En el Anexo III se presentan de forma completa los cálculos de cosecha, sólidos y generación de gas. Donde se está compuesto por ocho hojas de cálculo que integran información técnica, económica y ambiental clave para evaluar la viabilidad del modelo propuesto de valorización energética del residuo del endocarpio del coco.

A continuación, se describe brevemente el contenido de cada hoja, lo cual permite al lector comprender la estructura y propósito de este anexo:

1. Cálculos de cosecha: Presenta estimaciones sobre la producción de coco por hectárea en Tumaco, incluyendo el número de cocos por ciclo de cosecha y el peso

promedio por fruto. Estos datos sirven de base para calcular la cantidad disponible de residuo para el modelo.

2. Cálculo de sólidos: Contiene los valores de humedad, sólidos totales, volátiles y cenizas tanto para el mesocarpio (estopa) como para el endocarpio (concha), lo cual permite estimar el potencial energético del residuo en base seca.

3. Costos del biodigestor: Detalla los componentes técnicos del sistema de biodigestión (como estructura, bolsa, válvulas y sistema de pretratamiento) y los costos asociados para la implementación de dos unidades.

4. Cálculo de digestato: Estima el volumen diario y semanal del digestato producido por el sistema, en función del tiempo de retención hidráulica (TRH) y el volumen del biodigestor. Esta información es fundamental para proyectar la producción de fertilizante orgánico.

5. Variables e Indicadores: indica cómo se operacionalizan las variables dependientes e independientes del estudio, incorporando factores de contexto para dar mayor robustez, validez y aplicabilidad al modelo en el territorio de Tumaco.

6. Gas y electricidad: Enumera los costos y funciones de los equipos necesarios para convertir el biogás en energía eléctrica (generador, gasómetro, banco de baterías), lo que permite estimar la inversión requerida para la fase de conversión energética.

7. Análisis financiero: Presenta las proyecciones a 10 años de ingresos derivados de la venta del digestato, con el fin de calcular indicadores de rentabilidad como VAN, TIR y ROI. Esta hoja se vincula con los cálculos operativos del modelo.

8. Análisis financiero con ayuda estatal: Explora un escenario alternativo con subsidios gubernamentales, permitiendo simular una reducción en la inversión inicial por medio de incentivos fiscales o cofinanciación pública, lo cual mejora la viabilidad del modelo en contextos rurales.

Tabla 9 Cálculo del volumen total de biogás generado

Total de residuo orgánico concha y estopa por Ha por ciclo = 194,6 Kg		
% de residuo orgánico Mesocarpio (estopa)	32%	62,26
% de residuo orgánico Endocarpio (concha)	68%	132,31
Cálculo de los Sólidos Totales (ST) en 62,264 kg de Mesocarpio		59,08
Cálculo de los Sólidos Totales (ST) en 132,311 kg de Endocarpio		121,95
Sólidos Totales (ST)		181,03
Cálculo de los Sólidos Volátiles en Mesocarpio		50,36
Cálculo de los Sólidos volátiles (SV) en Endocarpio		107,21
Sólidos volátiles (SV)		157,56
Biogás por kilogramo de sólidos volátiles (SV) m ³ /kg		0,5
(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011))		
Cálculo del volumen total de biogás generado (m ³) en 52 días		78,78

Nota: Elaboración propia

Tomando como base 52 días de tiempo de cosecha, en ese tiempo se puede obtener una cantidad de 78,78 metros cúbicos de biogás por hectárea, con el cual se propone que construir 2 biodigestores cada uno de 22 m³ teniendo en cuenta que se debe alimentar con material orgánico cada 7 días, considerando un tiempo de retención hidráulica de 30 días que es el tiempo que la materia orgánica debe permanecer en el

biodigestor para degradarse completamente y liberar el gas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2011).

Los valores asociados en la tabla 9 corresponden a la implementación de los 2 biodigestores tipo tubular (flexible tipo Taiwán o PVC reforzado) con un largo por de 20 metros aproximadamente, un ancho de 5.4 metros con márgenes y separación, es decir que un área de 105 m² por unidad (Martí Herrero, 2019).

Importante considerar que el valor estimado de \$1.800.000 COP corresponde al costo total de mano de obra requerida para la instalación completa de la solución del biodigestor tipo tubular. Esta instalación tiene una duración estimada de 4 días calendario y se realiza por un equipo conformado por 2 personas: un maestro de obra con experiencia en estructuras rurales y un auxiliar de apoyo logístico. (FAO, 2020).

Tabla 10 Costos asociados para Biodigestor

Concepto	Costo estimado por unidad (COP)	Total para 2 biodigestores (COP)
Diseño técnico y estudios preliminares	\$ 2.000.000	
Bolsa plástica reforzada (22 m ³)	\$ 4.500.000	\$ 9.000.000
Zona de secado y acopio	\$ 2.500.000	\$ 5.000.000
Tuberías, válvulas, antirretornos	\$ 1.200.000	\$ 2.400.000
Sistema de recolección y pretratamiento (triturado de coco)	\$ 2.000.000	
Sistema de almacenamiento o uso del gas (cocina, caldera)	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
Mano de obra e instalación	\$ 1.800.000	\$ 3.600.000
Total estimado	\$ 27.000.000	

Nota: Elaboración propia

Adicionalmente los costos asociados al mantenimiento se presentan en la tabla 10, donde el valor estimado de \$600.000 COP corresponde al costo del operador para realizar los respectivos trabajos mensualmente durante 4 horas en un día.

En cuanto a la operación del sistema, esta contempla una estructura funcional compuesta por un operario capacitado, responsable de alimentar los biodigestores semanalmente, monitorear parámetros como pH, presión y temperatura, y realizar mantenimiento preventivo (FAO, 2020). Esta operación tiene un costo aproximado de \$600.000 COP mensuales, como se detalla en la Tabla 10. Además, se incluyen gastos en insumos, monitoreo y lubricantes. En total, los costos anuales de funcionamiento ascienden a \$3.600.000 COP, lo cual permite proyectar un costo promedio de generación de biogás por metro cúbico, que será clave para evaluar la rentabilidad del sistema. Estos costos operativos se contrastan con los beneficios derivados del uso del biogás (energía) y del digestato (fertilizante), lo cual permite calcular indicadores como el ahorro energético y el retorno de inversión a lo largo de un período de 10 años, presentado en el Anexo III.

Tabla 11 Costos asociados al mantenimiento anuales Biodigestor

Concepto	Costo por año (COP)
Mano de obra (1 operador capacitado)	\$ 600.000
Mantenimiento básico y preventivo	\$ 1.000.000
Insumos (agua, lubricantes, entre otros)	\$ 800.000
Monitoreo (pH, presión, válvulas)	\$ 1.200.000
Total anual	\$ 3.600.000

Nota: Elaboración propia

Para que la implementación del biodigestor sea consecuente con el modelo circular es necesario evaluar los impactos ambientales asociados a la implementación de esta alternativa de aprovechamiento y las estrategias para su prevención y mitigación. Los impactos ambientales positivos corresponden a la reducción de residuos orgánicos por medio del aprovechamiento del endocarpio y parte del mesocarpio, así mismo la disminución de emisiones de GEI. Otro aspecto positivo es la producción de

biofertilizante (digestato), lo cual ayuda a la salud del suelo debido que hay sustitución de fertilizantes químicos. Por último y muy importante, la sustitución de combustibles fósiles por medio del uso del biogás como fuente energética renovable.

Algunos impactos negativos potenciales identificados corresponden a la contaminación de aguas superficiales o subterráneas debido a fugas o lixiviados en suelos con alto nivel freático como en Tumaco. Igualmente, una acumulación de materia prima sin tratamiento donde existe el riesgo de incendio o explosión por almacenamiento inadecuado.

Para la construcción e instalación de los biodigestores se generan impactos ambientales. Estos impactos se estimaron empleando la metodología de Conesa Fernández-Vitora (1993), que utiliza una matriz de doble entrada combinada con un sistema multicriterio para estimar la importancia (I) de cada impacto según los siguientes atributos: IN Intensidad, EX Extensión, MO Momento de ocurrencia, PE Persistencia, RV Reversibilidad, SI Sinergia, AC Acumulación, EF Efecto, PR Periodicidad, RC Recuperabilidad.

Fórmula de evaluación: $I = (3IN+2EX+MO+PE+RV+SI+AC+EF+PR+RC)$

De acuerdo con los resultados puede estimarse:

$I \leq 25$: Impacto irrelevante

$25 < I \leq 50$: Impacto moderado

$50 < I \leq 75$: Impacto severo

$I > 75$: Impacto crítico

En la tabla 11 se muestran los resultados de dicha evaluación.

Durante la fase de instalación y construcción de los biodigestores, la remoción del suelo y la vegetación representa un impacto ambiental severo, por lo que se recomienda

replantar la zona, utilizar cercas vivas y reducir al mínimo el uso de maquinaria pesada.

En cuanto a la alteración del paisaje, que tiene un impacto moderado, se puede armonizar el equipo instalado con el entorno y, en lo posible, emplear materiales naturales para mantener la estética del lugar. Además, la generación de residuos de construcción como escombros o plásticos también implica un impacto moderado, por lo que es clave contar con un plan adecuado para su gestión y disposición responsable de residuos sólidos.

Tabla 12 Evaluación de impactos ambientales de la construcción e instalación del biodigestor

Impacto	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	RC	I	Evaluación
Remoción de capa vegetal y alteración del suelo	4	4	4	2	2	2	2	4	2	4	60	Severo negativo
Generación de residuos de obra	2	2	4	2	1	1	1	4	2	2	39	Moderado negativo
Alteración paisajística	2	4	2	4	2	2	2	4	2	2	50	Moderado negativo
Ruido y polvo durante la obra	2	2	4	1	1	1	1	4	1	1	34	Moderado negativo
Uso de recursos locales	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	34	Moderado negativo
Empleo de mano de obra local	2	2	2	2	1	1	1	4	2	1	33	Moderado positivo
Desarrollo de capacidades locales	2	2	2	4	1	2	1	4	2	2	40	Moderado positivo

Nota: Elaboración propia con base en Conesa Fernández-Vitora (1993).

El uso del biodigestor puede causar que se viertan líquidos en ciertas zonas (lixiviados), lo cual podría contaminar ríos, quebradas u otras fuentes de agua cercanas. Este impacto es importante, ya que es necesario controlar bien los residuos líquidos que se pueden producir en el biodigestor para evitar daños al ambiente.

En consecuencia, se debe tener requerimientos para prevención y control, especialmente si se ubican cerca de fuentes hídricas o zonas residenciales. Así mismo la capacitación del personal es esencial para generar un alto conocimiento y compromiso en manejo de carga orgánica, control de pH, fugas y mantenimiento. Por último y para

cerrar el ciclo, se debe realizar una gestión adecuada del digestato para uso como fertilizante y así evitar vertimientos sin estabilización previa.

Como complemento a la estimación técnica de biogás, se realizó una conversión del volumen generado en unidades comprensibles para la toma de decisiones. Con base en una producción promedio de 78,78 m³ de biogás por hectárea y por ciclo de cosecha (52 días), y un poder calorífico aproximado de 6 kWh/m³, se estima una generación de 472,68 kWh/ciclo/ha. Esto permitiría abastecer el consumo energético promedio de un hogar rural colombiano (3,5 kWh/día) durante 135 días, o bien a 344 hogares durante un ciclo completo en las 1.327 hectáreas actualmente sembradas. Además, este volumen energético representa la sustitución de aproximadamente 276,73 kg de leña por hectárea, contribuyendo a la reducción de emisiones y presión sobre los bosques locales.

En la tabla 12 se puede observar las equivalencias energéticas y sociales del biogás generado por hectárea (ciclo de 52 días).

Tabla 13 *Equivalencias energéticas y sociales del biogás generado por hectárea*

Indicador	Valor estimado	Unidad	Fuente o referencia
Volumen de biogás generado por hectárea	78,78	m ³	Anexo III, cálculo basado en FAO (2011)
Energía generada por hectárea	472,68	kWh	78,78 m ³ × 6 kWh/m ³
Hogares rurales abastecidos (por hectárea/ciclo)	1,35	Hogares por 100 días	UPME, consumo estimado: 3,5 kWh/día
Hogares rurales abastecidos (total Tumaco, 1.327 ha)	344	Hogares durante 52 días	Proyección sobre área sembrada
Equivalente en leña sustituida	276,73	Kg por hectárea	78,78 m ³ × 3,5 kg/m ³ (FAO, 2020)

Nota: Elaboración propia

Nota: Estas cifras son aproximadas y varían según eficiencia del sistema, humedad del residuo y condiciones operativas locales. Se calcula una eficiencia del 30% en conversión energética para motores eléctricos.

Fase 3 Resultados: Propuesta de un modelo de economía circular para la generación de biogás y energía a partir de la valorización de los desechos del endocarpio o concha en la cadena de abastecimiento del coco en Tumaco, Nariño.

A partir del diagnóstico desarrollado respecto a los residuos generados en la producción y procesamiento del coco en el municipio de Tumaco se plantea la realización del aprovechamiento de estos residuos mediante biodigestores anaerobios, con el objetivo de generar biogás, que puede ser empleado en la generación de energía para los procesos productivos. Principalmente se propone el aprovechamiento del endocarpio o concha, considerando que el aprovechamiento del mesocarpio o estopa viene siendo realizado por otros actores (Coagropacífico y AspfisCoco para la generación de subproductos (chips, ripio, fibra y polvillo de coco, etc.).

Un modelo de economía circular debe garantizar que se cierren ciclos productivos, lo que en este caso implica que los residuos generados de endocarpio o concha no salgan del sistema productivo, sino que se reincorporen como insumos. En la tabla 13 se presentan los elementos del modelo de economía circular del aprovechamiento energético de endocarpio o concha del coco.

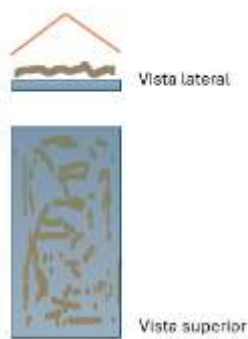
Se debe e iniciar con establecer el punto de recolección interna para los residuos del endocarpio y sobrante del mesocarpio con el objetivo que se encuentre en una zona techada con drenaje y protección para evitar la humedad, en búsqueda que se pueda secar el material orgánico. Se propone que sea una malla metálica con techo ver figura 18 a continuación con capacidad 26 kilos por semana.

Tabla 14 Elementos del modelo de economía circular del aprovechamiento del endocarpio

Elementos del modelo de economía circular	Descripción
1. Recolección	Clasificación y acopio de la concha en puntos de producción.
2. Trituración y pretratamiento	Reducción de tamaño. En caso de estar disponible puede estiércol u otros residuos orgánicos puede mezclarse con estos para optimizar la biodigestión.
3. Biodigestión anaerobia	Proceso biológico donde microorganismos descomponen el residuo en ausencia de oxígeno, generando biogás y biol (digestato).
4. Almacenamiento, tratamiento y uso del biogás	Almacenamiento del gas en el biodigestor, tratamiento mediante trampas de agua y filtro para eliminación de H ₂ S y quema para generación de energía (térmica o eléctrica).
5. Uso del biol o digestato	Subproducto líquido rico en nutrientes, utilizado como fertilizante orgánico para cultivos.

Nota: Elaboración propia

Figura 19 Diseño de zona de secado material orgánico.



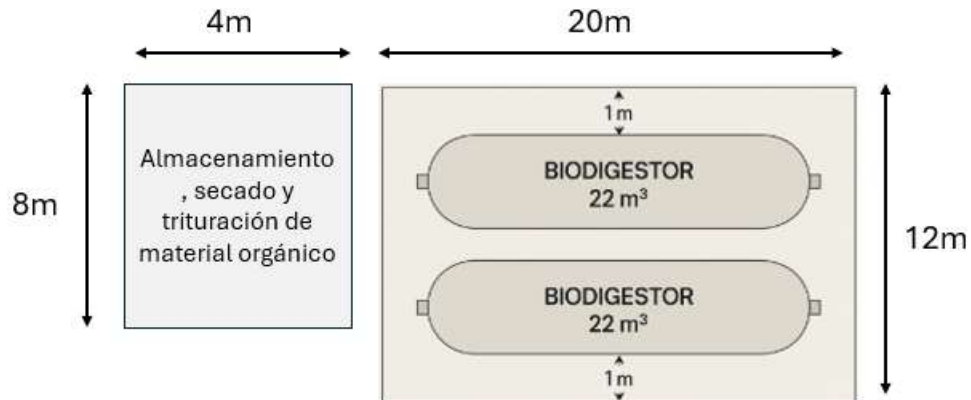
Nota: Elaboración propia

Posteriormente se debe triturar el endocarpio para facilitar su biodigestión o combustión, debido que aumenta la superficie de reacción para el aprovechamiento por parte de las bacterias.

El material triturado se ingresa al biodigestor mezclado con agua y, si es posible, se adiciona estiércol o algún otro producto que pueda apoyar el proceso de digestión.

A continuación, en la figura 19, se muestra un esquema del área a utilizar para la instalación de los biodigestores, zona de almacenamiento, secado y trituración del material orgánico.

Figura 20 Área para utilizar para la instalación de los biodigestores



Nota: Elaboración propia

Con respecto al biol o digestato, la recomendación es retirar el mismo volumen que se ingresa como materia prima (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2011), por lo cual, el valor semana de digestato es de 5,13 m³, como se indica en la tabla 14

Tabla 15 Volumen semanal de digestato

Concepto	Valor	UM
Volumen biodigestor	22	m ³
TRH	30	días
Volumen diario de digestato	0,733	m ³ /día
Volumen semanal de digestato	5,13	m ³ /semana

Nota: Elaboración propia. La información completa se presenta en el anexo III.

Ahora, el digestato tiene valor económico y puede evaluarse desde dos perspectivas, el ahorro que genera al sustituir fertilizantes químicos y su potencial de

comercialización por su riqueza en nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), lo que lo convierte en un fertilizante orgánico de alta calidad (Vega C et al., 2020).

El biol o digestato líquido puede venderse directamente como fertilizante orgánico. Estudios han estimado precios entre \$5 y \$15 USD por tonelada (Climate and Clean Air Coalition, 2018), es decir, que se podría recuperar entre \$ 25 y 75 USD semanalmente por el digestato de 5,13 m³/semana.

Es muy importante considerar que el biogás tiene conversión en electricidad para la integración a una red local o sistema autónomo, ideal la venta de energía o uso propio de las agroindustrias. Basados en la producción semanal de 10,60 m³ o 1,52m³ diarios de biogás se puede disponer de 2,74 kWh/día que corresponden al volumen diario de biogás multiplicado por 6kwh/m³ de poder calorífico del biogás por una eficiencia en la conversión eléctrica (motor/generador) del 30% aproximadamente (Molano Díaz, 2002). Con la disponibilidad de 2,74 kWh/día se pueden operar los siguientes electrodomésticos 27 bombillos LED de 10W por 10 horas, 1 refrigerador clase A+ durante todo el día o y 1 laptop por 5 horas y una bomba de agua pequeña.

Para abordar la comercialización del biogás y la energía generada, el modelo propuesto contempla dos escenarios: uso interno en agroindustrias del coco (autoconsumo energético para refrigeración, secado, iluminación, entre otros) y venta directa a consumidores locales o asociaciones comunitarias bajo esquemas de microrredes o autogeneración distribuida. En Colombia, la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021 permiten a pequeños productores vender excedentes energéticos a la red nacional o a terceros mediante contratos bilaterales, lo cual abre la posibilidad de monetizar la producción de energía (UPME, 2021). En una primera fase, se prioriza el ahorro operativo por sustitución de energía fósil, y en una fase de escalamiento, se

estructurará un modelo de negocio con tarifas competitivas por kWh y estrategias de distribución local de biogás embotellado o canalizado para cocción o calor industrial. Esto permite construir un flujo de ingresos esperados que contribuiría directamente al retorno de la inversión

No obstante, para la conversión se requieren equipos que pueden tener una inversión de 30 millones de pesos aproximadamente como se indica en la tabla 15 (Molano Díaz, 2002).

Tabla 16 Costo de maquinaria para la Generación de energía a partir de biogás

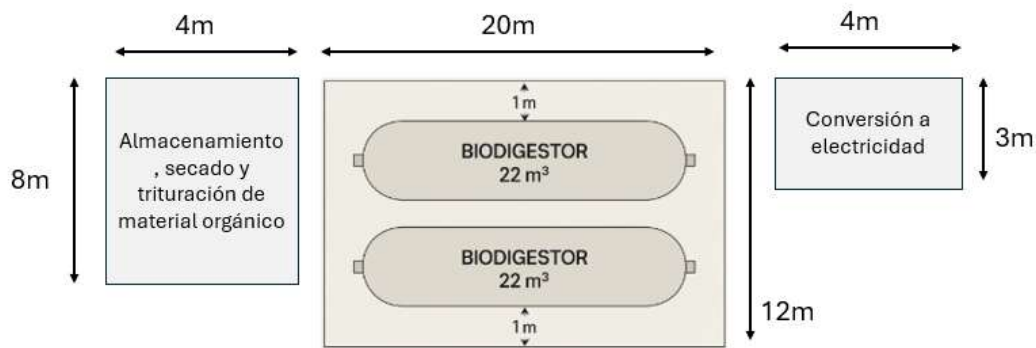
Elemento	Costo aproximado (COP)	Área m ²	Función
Generador a biogás (1–3 kW)	15.000.000,00	6	Convierte biogás en electricidad
Filtro y sistema de presión	1.500.000,00	1	Protege el motor del azufre y el agua
Gasómetro	2.000.000,00	2,5	Almacenamiento
Banco de baterías + inversor	10.000.000,00	2,5	Almacena energía para uso nocturno o intermitente
Instalación y cableado	2.000.000,00		
Total estimado	30.500.000,00	12	

Nota: Elaboración propia

Así mismo el área en la figura 20 que se requiere para que se puede integrar con el biodigestor y sea una solución completa y flexible. Es decir, el usuario de la agroindustria pueda seleccionar el tipo de medio desea utilizar para su beneficio.

Figura 21

Área total del proyecto con conversión a energía



Nota: Elaboración propia

Para fortalecer la pertinencia del modelo propuesto, se realizó un ejercicio de benchmarking con iniciativas exitosas de valorización de residuos de coco y uso de biodigestores en contextos rurales similares. En Tumaco, la Cooperativa Coagropacífico ha transformado la estopa en sustrato, generando empleo local y mitigando impactos ambientales. Asimismo, AspfiCoco en Timbiquí (Cauca) ha desarrollado infraestructura comunitaria para valorizar el residuo en el sector agrícola. Estas experiencias, junto con modelos de biodigestores tubulares utilizados en comunidades rurales de Bolivia (Martí-Herrero, 2019), demuestran la viabilidad de integrar un enfoque modular, comunitario y escalable para el aprovechamiento del endocarpio en Tumaco.

Como toda implementación, se requieren indicadores clave para para medir, controlar y optimizar el funcionamiento, así como los impactos del proyecto de biodigestión, en la tabla 16 se proponen indicadores, técnicos, ambientales y económicos.

Tabla 17 Indicadores técnicos, ambientales y económicos

Indicador	Fórmula / Unidad	Objetivo / Interpretación	Tipo
Producción de biogás diaria	m ³ /día	Medir eficiencia del sistema	Técnico

Volumen de digestato producido	m ³ /semana	Planificar almacenamiento y aprovechamiento	Técnico
Reducción de residuos orgánicos	% = (residuos tratados / residuos totales) × 100	Eficiencia del sistema en tratamiento de residuos	Ambiental
Emisiones evitadas de CH ₄ (Metano) y CO ₂ (Dióxido de carbono)	kg CO ₂ e evitados/año	Cuantificar contribución a mitigación climática	Ambiental
Ahorro por sustitución de energía	\$ COP/año	Valor energético del biogás	Económico
Ahorro por sustitución de fertilizantes	\$ COP/año	Valor del digestato como abono	Económico
Costo por m ³ de biogás generado	\$ COP/m ³	Medir eficiencia y viabilidad económica	Económico

Nota: Elaboración propia

Debido a la alta producción que se tendrá en los próximos años, el modelo de escalamiento para la aplicación de la economía circular en el uso de residuos orgánicos del coco en especial el endocarpio, puede ser una realidad en Tumaco. Se destaca una alta disponibilidad de residuos de coco (endocarpio), no obstante, se puede interpretar como una limitante el recurso financiero por lo cual se debe acceder a fuentes del gobierno y ONGs para poder financiar el proyecto (Valora Analitik, 2023).

Fase 4 Resultados: Análisis del modelo propuesto desde las dimensiones técnica, financiera y social en el municipio de Tumaco

A partir de los resultados que se han establecido como inversiones iniciales y costos de mantenimiento anuales, venta de digestato y energía se realiza un análisis de costos y beneficios para evaluación de la inversión inicial, costos operativos y retorno de inversión (ROI) del aprovechamiento del endocarpio del coco mediante biodigestión. Igualmente se establece la viabilidad financiera por medio de herramientas como VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y análisis de punto de equilibrio para

evaluar la rentabilidad del modelo, como se presenta en la tabla 17. También se puede consultar en el Anexo III para ver los cálculos completos.

A diferencia de lo presentado inicialmente, los egresos del modelo no se limitan únicamente a gastos de mantenimiento. Se contemplan costos operativos anuales que incluyen: i) salario de un operador técnico capacitado responsable de la alimentación del sistema, monitoreo de variables como pH, presión y temperatura (\$600.000 COP/mes); ii) insumos básicos como agua, aceites o lubricantes para mantenimiento (\$800.000 COP/año); iii) monitoreo técnico (kits de medición, reactivos y control de válvulas) estimado en \$1.200.000 COP/año; iv) mantenimiento preventivo estructural del sistema, incluyendo limpieza y control de fugas (\$1.000.000 COP/año); y v) reposición parcial de equipos o componentes menores del sistema cada 2 a 3 años, con una provisión estimada de \$500.000 COP/año. Estos egresos están detallados en el Anexo III, hoja "Gastos Operativos" y permiten proyectar el costo anual de funcionamiento del sistema en \$3.600.000 COP, equivalente a \$300.000 mensuales, lo cual mejora el análisis de retorno a la inversión.

Aunque el proyecto se sostiene por sí mismo, no genera alta rentabilidad. Se puede viabilizar desde el punto de vista social o ambiental, pero para ser atractivo financieramente se requiere, aumentar los ingresos por ejemplo mayor precio del digestato o energía. O reducir la inversión inicial por medio de un subsidio del estado.

Por lo anterior se propone realizar 3 escenarios optimista, base, pesimista. Donde el pesimista no obtener subsidio, el segundo o base obtener un 42,5% de subsidio por el estado o una entidad externa de la inversión inicial y por último el optimista donde se obtiene una ayuda de un 80% de la inversión inicial

Tabla 18 *Indicadores financieros de la inversión y proyecto pesimista*

VAN (12%, 10 años)	-\$ 24.447.612,7	El proyecto pierde valor: no recupera la inversión con una rentabilidad esperada del 12%. Un VAN negativo indica que no es rentable bajo ese criterio.
TIR (Tasa Interna de Retorno)	4,7%	Es la rentabilidad real del proyecto. Como está muy por debajo del 12%, no cumple con los estándares de inversión más exigentes.
ROI (Retorno sobre inversión)	3,65%	El proyecto genera ganancia neta del 3,65% sobre lo invertido, lo cual es positivo, aunque modesto.
Punto de equilibrio	9,65	Se necesita casi 10 años para recuperar la inversión inicial. Esto es justo el límite del análisis (10 años), lo que lo vuelve poco atractivo para muchos inversionistas.

Nota: Elaboración propia

Por lo anterior la inversión del estado debe ser aproximadamente un 42,52% que equivalen a 24.450.000 COP y se tendrían los siguientes indicadores financieros de la tabla 18.

Tabla 19 *Indicadores financieros de la inversión y proyecto con subsidio del gobierno a la inversión inicial, escenario base.*

VAN (12%, 10 años)	\$ 2.387,3	El VAN es positivo, lo que indica que el proyecto es rentable y genera más valor del que cuesta, por lo tanto, debería aceptarse.
TIR (Tasa Interna de Retorno)	16,2%	El proyecto rinde un 16,2% anual. El proyecto rinde un 16,2% anual. La TIR es mayor que el 12%, significa que el rendimiento esperado supera el costo de oportunidad del capital.
ROI (Retorno sobre inversión)	80,32%	El proyecto tiene un alto retorno, lo cual es muy favorable y atractivo para los inversionistas.
Punto de equilibrio	5,55	El proyecto recupera su inversión después de 5,55 años

Nota: Elaboración propia

Para el ultimo escenario la inversión del estado debe ser aproximadamente un 80% que equivalen a 46.000.000 COP y se tendrían los siguientes indicadores financieros de la tabla 19

Tabla 20 Indicadores financieros de la inversión y proyecto con subsidio del gobierno a la inversión inicial, escenario optimista.

VAN (12%, 10 años)	\$ 21.552.387,3	El VAN es positivo, lo que indica que el proyecto es rentable y genera más valor del que cuesta, por lo tanto, debería aceptarse.
TIR (Tasa Interna de Retorno)	51,8%	El proyecto rinde un 51,8% anual. El proyecto rinde un 51,8% anual. La TIR es mayor que el 12%, significa que el rendimiento esperado supera el costo de oportunidad del capital.
ROI (Retorno sobre inversión)	418,23%	El proyecto tiene un alto retorno, lo cual es muy favorable y atractivo para los inversionistas.
Punto de equilibrio	1,93	El proyecto recupera su inversión después de 1,93

Nota: Elaboración propia

Se realizó un análisis DOFA en la tabla 20 para la implementación del modelo de economía circular basados en el residuo del endocarpio del coco en el municipio de Tumaco mediante la generación de energía a partir de los residuos para determinar posibles estrategias de escalabilidad y sostenibilidad del modelo en el tiempo.

Tabla 21 Análisis DOFA de implementación del modelo de economía circular basados en el residuo del endocarpio

Fortalezas	Oportunidades
Alta disponibilidad de residuos de coco como materia prima local.	Interés global en modelos de economía circular y energías renovables.
Reutilización de residuos + generación de energía limpia.	Acceso a fondos de cooperación internacional y programas de desarrollo sostenible.
Potencial de energía descentralizada y autónoma para zonas rurales.	Oportunidad de crear empresas comunitarias con múltiples subproductos (energía, biochar, briquetas).
Alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).	Desarrollo de un clúster agroindustrial sostenible en Tumaco.
	Visibilidad nacional e internacional del modelo desde territorios vulnerables.
Debilidades	Amenazas

Falta de infraestructura y tecnología para procesar biomasa.	Inestabilidad territorial y problemas de seguridad.
Acceso limitado a inversión y capital semilla	Falta de políticas públicas locales que respalden la economía circular en zonas rurales.
Escasez de estudios previos sobre viabilidad energética del endocarpio.	Riesgo de apropiación externa del modelo sin beneficios reales para las comunidades locales.
Débil articulación institucional local para sostener y escalar el modelo.	

Nota: Elaboración propia

Se plantean tres posibles rutas para la escalabilidad y sostenibilidad del modelo de economía circular en Tumaco basado en el endocarpio del coco. En el escenario óptimo, una articulación efectiva entre comunidad, instituciones y empresas permite acceder a recursos, generar empleo, producir energía limpia y replicar el modelo en otros municipios del Pacífico, posicionando a Tumaco como referente en innovación sostenible. En un escenario intermedio, el modelo opera localmente con impactos positivos, aunque con limitaciones por falta de articulación o inversión. Finalmente, el escenario crítico advierte sobre el riesgo de fracaso si no hay apoyo institucional, lo que impediría la apropiación comunitaria y dejaría el modelo inconcluso.

Es indispensable lograr la participación de la comunidad en el proceso de aprovechamiento energético del endocarpio para que el proyecto sea sostenible en el tiempo. Para ello, se propone la realización de talleres comunitarios y sesiones de retroalimentación con los consejos comunitarios y asociaciones de productores de coco, en los que se socializa el modelo, se recogen aportes y se identifican posibles ajustes. Este proceso permite la aceptación del modelo en el territorio, y hace que las comunidades lo sientan como suyo, fortaleciendo el sentido de apropiación por el mismo, y aumentando las probabilidades de éxito en su implementación.

La capacitación técnica de jóvenes y líderes comunitarios es clave para asegurar el conocimiento y la apropiación del modelo a largo plazo. Además, el desarrollo de prototipos funcionales, como plantas piloto de biomasa, permite validar la viabilidad técnica del proyecto. La formalización de las cadenas productivas y la obtención de certificaciones ambientales fortalecen la sostenibilidad económica y normativa. Finalmente, una comunicación efectiva del impacto mediante narrativas locales y datos concretos es esencial para atraer aliados, inversión y apoyo institucional. Estas estrategias son fundamentales para garantizar que el modelo no solo funcione, sino que también crezca, se adapte y beneficie directamente a las comunidades de Tumaco.

Desde el punto de vista operativo, se propone que la gestión del sistema sea liderada por una asociación comunitaria o agroindustrial local que reciba formación técnica en operación y mantenimiento, con el respaldo institucional de AGROSAVIA o el SENA. Este enfoque comunitario permite reducir costos administrativos y salariales, garantizando sostenibilidad y escalabilidad del modelo en zonas rurales. El operador designado se encargará de realizar tareas semanales de carga de biomasa, monitoreo del proceso de biodigestión y extracción del digestato, siguiendo protocolos establecidos. Este esquema de operación simplificada, basado en experiencias rurales exitosas con biodigestores tipo tubular (FAO, 2020; Martí-Herrero, 2019), permite mantener bajos los egresos operativos, al tiempo que promueve la apropiación social del modelo.

Por último se realiza el resumen o tabla 21 que integrador donde se sintetiza de forma clara los principales resultados técnicos, económicos, energéticos y sociales obtenidos en las fases 1 a 4. Su inclusión facilita la comprensión del modelo por parte de tomadores de decisiones y financiadores, mejora la trazabilidad entre los datos y mejora la información visual y comparativa. Además, fortalece la viabilidad del modelo y sirve

como insumo estratégico para la formulación de proyectos y políticas públicas en Tumaco.

Tabla 22 *Tabla Resumen*

Categoría	Valor estimado	Unidad / Descripción
Volumen de residuo disponible	258 toneladas por ciclo (1.327 ha)	Mesocarpio + endocarpio recolectado por 1.327 hectáreas
Energía estimada generada	104.552 m ³ de biogás/ciclo (~627.312 kWh/ciclo)	Cálculo basado en: 78,78 m ³ /ha × 1.327 ha × 6 kWh/m ³
Inversión inicial del sistema	\$27.000.000 COP	Costo total de 2 biodigestores: bolsa, instalación, triturado, secado y sistema básico
Costo anual de mantenimiento	\$3.600.000 COP/año	Operador técnico, monitoreo, insumos, mantenimiento preventivo
Impacto social esperado	Hasta 344 hogares abastecidos por ciclo (52 días)	Reducción de pobreza energética en comunidades rurales
Equivalencias energéticas y ambientales	Sustitución de ~3.664 toneladas de leña por ciclo	Basado en equivalencia FAO: 3,5 kg de leña por m ³ de biogás

Nota: Elaboración propia

Los resultados obtenidos evidencian que el modelo propuesto de valorización energética del endocarpio de coco mediante biodigestión anaerobia es técnica, económica y socialmente viable en el contexto de Tumaco. Sin embargo, para que esta viabilidad se traduzca en impactos reales sobre el territorio, es necesario definir una hoja de ruta que oriente los pasos concretos para su puesta en marcha. En este sentido, se plantea una ruta de implementación que contempla acciones progresivas orientadas a la validación del modelo en escenarios piloto, la articulación con actores locales e institucionales, la identificación de fuentes de financiación, y la definición de estrategias de escalabilidad y monitoreo. Esta ruta busca garantizar no solo la adopción inicial de la tecnología, sino también su sostenibilidad en el tiempo y su capacidad de replicarse en otros territorios del Pacífico colombiano con condiciones agroindustriales similares.

La ruta de implementación del modelo contempla una fase inicial de validación piloto mediante un biodigestor modular en Tumaco para verificar su viabilidad técnica, social y ambiental, acompañada del monitoreo de indicadores de biogás, digestato y reducción de emisiones. Posteriormente, se plantean acuerdos interinstitucionales y comunitarios con organizaciones locales y la creación de mesas de gobernanza participativa. La sostenibilidad del modelo se respalda con la gestión de fuentes de financiación, incentivos de la Ley 2099 de 2021 y cooperación internacional. A nivel estratégico, se prevé la escalabilidad y replicabilidad hacia otras agroindustrias y municipios del Pacífico, mediante transferencia tecnológica y capacitación. Finalmente, se establece un sistema de monitoreo y evaluación continua para ajustar el modelo y garantizar impactos técnicos, económicos, sociales y ambientales sostenibles.

Conclusiones

El proyecto desarrollado tuvo como propósito formular un modelo de economía circular para valorizar el residuo del endocarpio del coco en Tumaco, Nariño, como alternativa sostenible de generación energética para la agroindustria local. Los hallazgos demuestran que la valorización energética del endocarpio de coco en Tumaco es técnica, económica, ambiental y socialmente viable, y que su implementación constituye una estrategia replicable para avanzar hacia una transición energética justa, sostenible y con impacto comunitario en el Pacífico colombiano.

El municipio de Tumaco presenta condiciones socioeconómicas favorables para implementar un modelo de economía circular basado en la valorización energética del endocarpio de coco. Aunque la cadena productiva enfrenta limitaciones estructurales como informalidad, baja tecnificación y deficiencias logísticas, genera una alta disponibilidad de residuo estimada en más de 11.000 toneladas anuales que representa una oportunidad estratégica para la producción de energía limpia.

La caracterización fisicoquímica del endocarpio evidenció un poder calorífico de 16,77 MJ/kg y un contenido de sólidos volátiles superior al 85 %, lo que lo convierte en una biomasa apta para biodigestión anaerobia. Las simulaciones realizadas permiten estimar una producción de hasta 320.000 m³ de biogás anuales (≈640 MWh), con capacidad para abastecer parcialmente a 300 hogares rurales o cubrir entre el 20 % y 40 % de la demanda eléctrica de pequeñas agroindustrias. Estos resultados validan la hipótesis técnica y confirman el potencial del modelo para contribuir a la reducción de la pobreza energética en la región.

En la dimensión ambiental, el modelo permitiría mitigar aproximadamente 3.857 t de CO₂ por año y reducir en más de 1.800 t la disposición inadecuada de residuos

lignocelulósicos, además de disminuir el uso de leña en hogares rurales en hasta un 18 %, con impactos positivos en salud pública y calidad del aire intradomiciliario.

Desde la perspectiva económica, la modelación financiera proyecta un ROI superior al 10 % con un auxilio gubernamental, un VAN positivo y una TIR superior a la tasa de descuento, junto con un ahorro estimado del 15 % en costos energéticos de agroindustrias y beneficios adicionales derivados del uso del digestato como biofertilizante. Esto confirma la viabilidad económica y la rentabilidad del modelo, especialmente en esquemas de producción comunitaria donde más del 80 % de los productores poseen menos de 4 hectáreas.

El estudio también propone una hoja de ruta de implementación, que inicia con un piloto de biodigestor comunitario en alianza con organizaciones como ACAPA, seguido de acuerdos interinstitucionales con la Alcaldía, el SENA y el Ministerio de Minas y Energía, apalancados por incentivos de la Ley 2099 de 2021. Posteriormente, se sugiere gestionar fuentes de financiación (créditos verdes, cooperación internacional) y escalar el modelo hacia otras comunidades rurales del Pacífico colombiano.

Se reconoce limitaciones como la falta de validación en campo del prototipo, la dependencia de datos preliminares y la sensibilidad del modelo a variaciones en precios de energía e insumos. Estas debilidades no invalidan la propuesta, pero sí resaltan la necesidad de pilotos técnicos, análisis de sensibilidad y estudios comparativos con otras tecnologías de biomasa.

El enfoque propuesto en la monografía demuestra que es posible establecer un sistema sostenible bajo los principios de economía circular, capaz de transformar

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia

134

residuos en energía limpia y al mismo tiempo aportar al desarrollo socioeconómico de comunidades vulnerables

Recomendaciones

Es fundamental capacitar a los productores y comunidades de Tumaco en la gestión adecuada de residuos, así como en el uso y mantenimiento de biodigestores y tecnologías limpias. Esta formación técnica fortalecería las capacidades locales para operar de manera eficiente el modelo de economía circular, promoviendo prácticas sostenibles y autónomas. Además, es clave fomentar alianzas estratégicas entre actores como productores, entidades gubernamentales, universidades y empresas privadas, lo que permitiría escalar la iniciativa, garantizar su sostenibilidad en el tiempo y fortalecer el tejido productivo local.

Asimismo, se recomienda acceder a fuentes de financiación nacionales e internacionales, como líneas de crédito sostenibles, subsidios y fondos de cooperación para energías renovables. Estos recursos permitirían costear la infraestructura inicial y apoyar la implementación del modelo en comunidades de bajos ingresos.

Por otro lado, se debe promover el aprovechamiento del digestato, residuo postproceso del biodigestor como biofertilizante, aportando a la fertilidad de los suelos y cerrando el ciclo productivo. Finalmente, se sugiere adaptar esta estrategia a otros departamentos del país con condiciones similares de producción agrícola, especialmente aquellos con alta disponibilidad de coco o biomasa, para replicar el impacto positivo a nivel regional.

El gobierno local debe priorizar la valorización del residuo en planes de desarrollo, crear subsidios para biodigestores comunitarios y promover comunidades energéticas rurales. Las empresas agroindustriales deben invertir en sistemas de biodigestión para reducir costos energéticos, acceder a incentivos tributarios y diversificar su matriz energética. Por último las entidades de cooperación y academia deben apoyar pilotos de validación

tecnológica, formación de líderes locales y proyectos de transferencia de conocimiento que fortalezcan la sostenibilidad del modelo.

Adicionalmente, se propone fortalecer el empoderamiento comunitario mediante la formación de líderes locales en bioenergía, capaces de gestionar y replicar el modelo en sus territorios. La creación de comunidades energéticas rurales, con base en la asociatividad de pequeños productores, permitirá no solo el acceso equitativo a energía limpia, sino también la apropiación social del proyecto como una estrategia de justicia energética.

Por último se realiza una tabla donde clasifica las recomendaciones por horizonte temporal y nivel de impacto (alta, media, baja). Asociado a indicador de evaluación y breve justificación empírica vinculada a los hallazgos del diagnóstico.

Recomendación	Horizonte Temporal	Nivel de Impacto	Indicador de Evaluación	Justificación Empírica
Firmar convenios interinstitucionales para instalar una planta piloto de biodigestión con comunidades como ACAPA o Coagropacífico.	Corto plazo (0–1 año)	Alto	Capacidad instalada de biodigestores (m ³)	En el diagnóstico se identificó disponibilidad de residuo y disposición organizativa de asociaciones locales para implementar soluciones energéticas. Las entrevistas revelaron escasa formación local en tecnologías energéticas y un alto interés por capacitación práctica.
Diseñar un programa de formación técnica en aprovechamiento de residuos y operación de biodigestores con el SENA.	Corto plazo (0–1 año)	Medio	Número de personas certificadas en bioenergía	La apropiación social del modelo es clave para su sostenibilidad, como se evidenció en las fases
Incluir procesos de participación comunitaria para el diseño y gestión del modelo energético.	Corto plazo (0–1 año)	Alto	Número de talleres comunitarios realizados	

				de diagnóstico y validación.
Establecer líneas de crédito verde con Bancóldex y Findeter para el escalamiento del modelo.	Mediano plazo (1–3 años)	Alto	Monto desembolsado en créditos para bioenergía (COP)	El análisis financiero del modelo mostró viabilidad con inversión inicial; se requiere apoyo financiero para replicabilidad.
Implementar incentivos tributarios para empresas que utilicen energía generada por residuos agroindustriales.	Mediano plazo (1–3 años)	Medio	Número de empresas con beneficios fiscales por uso de bioenergía	El modelo es viable para pequeñas agroindustrias; estos incentivos pueden facilitar su adopción.
Promover asociaciones de pequeños productores para operar colectivamente plantas de biogás.	Largo plazo (3–5 años)	Alto	Número de asociaciones operando plantas comunitarias	Más del 80% de los productores de coco tienen menos de 4 hectáreas; la asociatividad es clave para alcanzar escala operativa.

Nota: Elaboración propia

Referencias

- Acosta-Rubio, D., Castro-Camacho, L., & Moreno-Arias, C. A. (2021). Pirólisis rápida para producir biocombustibles con residuos sólidos urbanos: Estudio de caso, Madrid, Cundinamarca. *Gestión y Ambiente*, 24(Supl. 3), 47-58.
<https://doi.org/10.15446/ga.v24nSupl3.97273>
- Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia (APC-Colombia). (2021). Producción de sustrato y fibra de coco en Tumaco. Recuperado de <https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/proyectos/200.pdf>
- Agrosavia. (2010). El picudo negro de las palmas (*Rhynchophorus palmarum* L.): Biología, hábitos y métodos de control. Recuperado de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13256/64446_62224.pdf
- Agrosavia. (2023). Informe técnico sobre cultivos de coco en el Pacífico colombiano. [Informe] Centro de Investigación El Mira.
- Alarcón Chaparro, Á. M. (2017). *Plan de suministro energético en San Andrés de Tumaco* (Trabajo de grado, Universidad de los Andes).
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0cdfde1a-7bc7-46f0-91bd-8eda4d05b729/content>
- Aldana-de la Torre, R. C., Chinchilla, C. M., Burgos, M. A., & Moreno, G. (2011). Insect-nematode association in red-ring disease of coconut and oil palms in Colombia. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(1), 46–55
- Antikainen, M., Uusitalo, T., & Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an enabler of circular Economy. *Procedia CIRP*, 73, 45–49.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.009>

- Aristizábal Álvarez, M., & Valencia Naranjo, L. (2015). *Diseño conceptual de un gasificador para la producción de gas de síntesis a partir de residuos de poda generados en la Universidad EAFIT* [Trabajo de grado, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional Universidad EAFIT.
<https://core.ac.uk/download/pdf/47250806.pdf>
- Arzeta Ríos, A. J. (2022). *Composición química, actividad antioxidante y enzimática de agua de coco (Cocos nucifera) verde y maduro* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/f2b65ef8-6289-4d64-87e9-a659557bc885/content>
- Azeta, O., Ayeni, A. O., Agboola, O., & Elehinafe, F. B. (2021). A review on the sustainable energy generation from the pyrolysis of coconut biomass. *Scientific African*, 13, e00909. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00909>
- Banco de la República. (2023). Informe de inflación - Colombia 2023. [Informe] <https://www.banrep.gov.co>
- Braungart, M., & McDonough, W. (2005). *De la cuna a la cuna: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. McGraw-Hill.
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2003). *Practical Handbook of Material Flow Analysis* (1ª ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203507209>
- Bugge, M. M., Hansen, T., & Klitkou, A. (2016). What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability*, 8(7), 691. <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Burgos-Arcos, C., Caicedo-Concha, D. M., Coz, A., Llano, T., Colmenares-Quintero, J. C., & Colmenares-Quintero, R. F. (2025). Assessment of the potential for biogas production in post-conflict rural areas in Colombia using cocoa residues. *Energies*, 18(12), Article 3091. <https://doi.org/10.3390/en18123091>

- Calvo-Saad, M. J., Solís-Chaves, J. S., & Murillo-Arango, W. (2023). Suitable municipalities for biomass energy use in Colombia based on a multicriteria analysis from a sustainable development perspective. *Heliyon*, 9(10), e19874. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19874>
- Cámara de Comercio de Tumaco. (2023). Caracterización socioeconómica del sector cocotero en Tumaco
- Carus, M., & Dammer, L. (2018). *The circular bioeconomy: Concepts, opportunities and limitations* (nova-Paper No. 9). nova-Institut GmbH. <https://renewable-carbon.eu/publications/product/nova-paper-9-the-circular-bioeconomy-concepts-opportunities-and-limitations-%E2%88%92-full-version/>
- CEPAL (2024). Objetivos de desarrollo sostenible (ODS). <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- CEPAL. (2020). Territorial inequality and development gaps in Latin America and the Caribbean. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CEPAL. (2022). Transición hacia una economía circular en América Latina y el Caribe: Avances, desafíos y oportunidades. Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/48070>
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). *Economía circular: Estrategia y competitividad empresarial* [Economía circular]. *Economía Industrial*, (401), pp. 11–20. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaindustrial/401/CERD%C3%81%20Y%20KHALILOVA.pdf>
- Chan, E., & Elevitch, C. (2006). Cocos nucifera (coconut). In *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*.

- Cheng, Y., Wang, Z., & Liu, J. (2020). Economic viability of biomass-based energy systems in developing countries: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109964. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109964>
- CIVP - Comisión Interétnica de la Verdad del Pacífico. (2020). La verdad del pueblo negro: Informe de la Comisión Interétnica de la Verdad del Pacífico. [Informe] <https://comisiondelaverdad.co>
- Climate and Clean Air Coalition. (2018). A tool for estimating costs for management of separate organic waste at the source. Recuperado de <https://www.ccacoalition.org/resources/organecs-cost-estimating-tool-managing-source-separated-organic-waste>
- Coagropacífico LTDA. (s.f.). Nosotros. Recuperado en marzo 2025 <https://www.coagropacifico.com/nosotros>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). La economía circular en América Latina y el Caribe: Una oportunidad para una recuperación transformadora. Naciones Unidas. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47309-economia-circular-america-latina-caribe-oportunidad-recuperacion-transformadora>
- Conesa Fernández-Vitora, V. (1993). *Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental (2.ª ed.)*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Congreso de Colombia. (1993). Ley 70 de 1993. Por la cual se desarrolla el artículo transitorio 55 de la Constitución Política y se reconocen los derechos de las comunidades negras que habitan en las zonas rurales ribereñas de los ríos de la cuenca del Pacífico colombiano. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>
- Congreso de la República de Colombia. (2014, 13 de mayo). Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no

convencionales al Sistema Energético Nacional. Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Congreso de la República de Colombia. (2017, 29 de diciembre). Ley 1876 de 2017: Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) y se dictan otras disposiciones. Suin-Juriscol. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes%2F30034416>

Corona, B., Shen, L., Reike, D., Carreón, J. R., & Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical Assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104498. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498>

Corvellec, H., Stowell, A. F., & Johansson, N. (2021). *Critiques of the circular economy*. *Journal of Industrial Ecology*, 26(2), 421–432. <https://doi.org/10.1111/jiec.13187>

Correa Díaz, C., & Mosquera Patterson, Z. L. (2007). Diagnóstico socioeconómico del cultivo de la palma de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en el municipio de Tumaco [Trabajo de grado, Universidad de Nariño]. Repositorio Institucional SIREDA. Recuperado de <https://sireda.udenar.edu.co/14792/1/72053.pdf>

Cortés, S & Arango, A (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista de ciencias estratégicas*, 25, (38). 375-390

D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J., ... Toppinen, A. (2020). Green, circular, bioeconomy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123089. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123089>

DANE. (2022). Anexo: Plan estadístico agropecuario 2022-2026. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

<https://www.dane.gov.co/files/acerca/Normatividad/resoluciones/2022/Anexo-plan-estadistico-agropecuario-2022-2026.pdf>

Delgado Eraso, D. A., Grass Ramírez, J. F., & Muñoz, R. C. (2023). Methodology for prioritizing value-added options for agricultural products: Insights from coconut-producing communities in Cauca, Colombia. *Sustainability*, 15(21), 15290. <https://doi.org/10.3390/su152115290>

Departamento Administrativo de la Función Pública. (2021, 10 de julio). Ley 2099 de 2021: Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones [Gestor Normativo]. Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Perfiles Económicos Departamentales: Departamento de Nariño.

Departamento Nacional de Planeación – DNP. (2018). Política pública para el desarrollo integral de los pueblos indígenas, afrocolombianos, raizales y palenqueros.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). Documento CONPES 4020: Política nacional de ciencia, tecnología e innovación en bioeconomía.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/4020.pdf>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia potencia mundial de la vida.

<https://colaboracion.dnp.gov.co>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). Plan Maestro de Transporte Intermodal 2021–2051. DNP y Ministerio de Transporte.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Análisis de Diálogo Regional Vinculante Pacífico Nariñense [Informe técnico].

https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PublishingImages/dialogos_regionales/Analisis-cualitativos/DNP_DRV%2037%20Pacifico%20Narinense.pdf

Díaz-Durán, A. K., Cruz-Reina, L., Cárdenas, D., Forero-Poveda, S. del P., Chery Leal, M. J., Rodríguez-Cortina, J., & León-Velásquez, E. (s.f.). Recuperado en marzo 2025 Valorization of coconut waste through anaerobic biodigestion to produce energy: An approach to sustainable development in rural areas [Manuscrito no publicado]. Facultad de Ingeniería, Universidad Ean.

El-Chichakli, B., von Braun, J., Lang, C., Barben, D., & Philp, J. (2016). Five cornerstones of a global bioeconomy. *Nature*, *535*(7611), 221–223. <https://doi.org/10.1038/535221a>

Ellen MacArthur Foundation (2024). ¿Qué es la economía circular?

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision-general>

Ellen MacArthur Foundation. (2019). Completing the picture : How the circular economy tackles climate change. <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>

Environmental Protection Agency. (2024). El humo de la leña y su salud. Recuperado de [<https://espanol.epa.gov/espanol/el-humo-de-la-lena-y-su-salud>]

Escobar, J. C., Lora, E. S., Venturini, O. J., Yáñez, E. E., Castillo, E. F., & Almazán, O. (2018). Biofuels: Environment, technology and food security. In *Renewable Energy from Bioresources* (pp. 57–88). Springer.

Estacio, J., & Cárdenas, A. (2024). Inventario y caracterización de biomasa para producción de energía en Tumaco: Análisis de residuos de coco y semillas de palma de aceite para la generación de biogás en agroindustrias locales. Universidad EAN.

Estacio, M. F., & Cárdenas, D. (2024). Inventario y caracterización de biomasa para producción de energía en Tumaco: Análisis de residuos de coco y semillas de palma

de aceite para la generación de biogás en agroindustrias locales [Informe técnico inédito]. CI El Mira – Universidad EAN.

Estacio, M. F., & Cárdenas, D. (2024). Inventario y caracterización de biomasa para producción de energía en Tumaco: Análisis de residuos de coco y semillas de palma de aceite para la generación de biogás en agroindustrias locales [Informe técnico inédito]. CI El Mira – Universidad EAN. Recuperado de [https://espanol.epa.gov/espanol/el-humo-de-la-lena-y-su-salud]

Estela-Urbina, Ronald & Contreras-Barsallo, Elisa & Carrasco-Vega, Yajaira & García-Soto, Carlos & Mendoza-Virhuez, Nil & Castro-Vargas, Daniel. (2022). Comparación del poder calorífico de la fibra de coco con la madera del algarrobo (*Prosopis pallida*). *Entorno*. 1. 7-20. 10.5377/entorno.v1i72.13234

Estudios y consultoría socioeconómicas ESCE. (2019). Censo Socioeconómico de Productores de Coco en el Municipio de Tumaco – 2019 [Informe]

European Biogas Association. (2020). Potencial de reducción de GEI de las industrias de biogás y biometano [Infografía]. Recuperado de <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2020/04/20200419-Infographic-Spanish-version.pdf>

European Commission. (2020). Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>

FAO & Global Bioenergy Partnership (GBEP). (2011). Sustainability indicators for bioenergy. FAO.

FAO. (2013). Bioeconomy and food security: A review of linkages and potential implications. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i3672e/i3672e.pdf>

FAO. (2017). Inclusive and efficient value chains for sustainable agriculture and food systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5a5ad0e6-bf28-4d66-a09d-0ce8932a81c8/content>

FAO. (2020). Bioenergía y sistemas alimentarios sostenibles: Guía de buenas prácticas para el aprovechamiento de residuos agrícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2020). Manual para la instalación y uso de biodigestores en zonas rurales.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Recuperado de: <https://www.fao.org/>

FAO. (2021). El potencial del empleo verde en zonas rurales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2021). The State of Food and Agriculture 2021 : Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/df90e6cf-4178-4361-97d4-5154a9213877/content>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). FAO in Latin America and the Caribbean 2022: Modernizing food markets through family farming and territorial development. FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Statistical Yearbook 2023: World Food and Agriculture. FAO.

"Forbes Colombia. (2025, febrero 20). En Yopal entró en operación la primera termoeléctrica del país que opera a base de cascarilla de arroz. Forbes Colombia.

<https://forbes.co/2025/02/20/economia-y-finanzas/en-yopal-entro-en-operacion-la-primer-termoelectrica-del-pais-que-opera-a-base-de-cascarilla-de-arroz>"

Fundación Ellen MacArthur. (2024). Hacia una economía circular: principios y estrategias.

<https://ellenmacarthurfoundation.org>

Fundación Ellen MacArthur. (s.f.). Recuperado en febrero 2025 The Circular Economy in

Detail. <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

Fundación Julio y Astrida Carrizosa. (2022). Producción de sustrato y fibra de coco en Tumaco. Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia.

[<https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/proyectos/200.pdf>]

Fundación Promigas. (2023). Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE)

2023. https://fundacionpromigas-offloadmedia.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2023/09/07112542/IMPE-2023-Promigas_.pdf

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular

Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Giraldo M, Vacca Ramirez R y Urrego Quintanilla A. (2018) Las energías alternativas

¿Una oportunidad para Colombia? *Revista Punto de Vista*, 9 (1 (13)).

<https://revistas.poligran.edu.co/index.php/puntodevista/article/view/1117/843>

Girón, O. E. (2012). Aprovechamiento y comercialización del sector cocotero del municipio de Tumaco a través de la UMATA [Trabajo de grado, Universidad de

Nariño]. Repositorio Institucional SIREN. Recuperado de

<https://sired.udenar.edu.co/3128/1/85634.pdf>

GIZ. (2022). Financiamiento para la economía circular: Una guía para instituciones

financieras. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

<https://www.giz.de/de/downloads/giz2022-es-esp-finance-ce-lowres.pdf>

- González-Eguino, M. (2015). *Energy poverty: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 377-385. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.013>
- González Salcedo, L. O., & Olaya Arboleda, Y. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10762/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf?seq=>
- Heredia Viveros N. (2019) América Latina como epicentro de la energía sustentable. *Journal of Alternative Perspectives in the Social Sciences* (2019) Volume 10 No 1, 49-63. <https://web-p-ebSCOhost-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=11&sid=b6ea b97d-b661-4f03-950e-a93e80a9bb52%40redis>
- ICA (2023). Un logro para el fortalecimiento del sector cocotero: 10 viveros productores de plántulas de coco se registraron ante el ICA Recuperado de:
<https://www.ica.gov.co/noticias/fortalecimiento-del-sector-cocotero-narino#:~:text=Colombia%20es%20un%20potencial%20productor,del%20Cauca%2C%20Valle%20y%20Nari%C3%B1o.>
- "IEA Bioenergy. (2021). Deployment of small-scale biomass heating and CHP in the residential sector – Barriers and recommendations. IEA Bioenergy: Task 32, 37, 40 and 43.
Disponble en: <https://www.ieabioenergy.com/publications/deployment-of-small-scale-biomass-heating-and-chp-in-the-residential-sector-barriers-and-recommendations>"
- IEA Bioenergy. (2021). Small-scale biomass-based CHP systems for distributed energy production. International Energy Agency Bioenergy Task 32.
- Indus. (25 de octubre de 2023). Parámetros clave para el control efectivo en una planta de biogás. *Revista Alimentaria*. Recuperado de

<https://revistaalimentaria.es/industria/sostenibilidad/parametros-clave-para-el-control-efectivo-en-una-planta-de-biogas>

Instituto Colombiano del Petróleo. (2018). De Tumaco competitividad. Recuperado de

<https://icpcolombia.org/dev/wp-content/uploads/2018/06/18.06.08-DIGITAL-TUMACO.pdf>

IRENA. (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5 °C Pathway [Vista previa].

International Renewable Energy Agency. Recuperado de https://esg-library.mgimo.ru/upload/iblock/940/nr0eewvpygdvb3it6vkhqsi63wxiccd/IRENA_WETO_Preview_2023.pdf

ISO. (2006). ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment –

Principles and Framework. International Organization for Standardization.

Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A., Bazouin, G., Bauer, Z. A., Heavey, C. C., Fisher, E., ...

& Morris, S. B. (2017). 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World. *Joule*, 1(1), 108–121.

<https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005>

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An

analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

Klass, D. L. (1998). *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. Academic

Press

Kumar, R., & Sharma, S. (2021). A review on the sustainable energy generation from the

pyrolysis of coconut biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150,

111483.

Lizano M (2003). *Guía Técnica del Cultivo de Coco*. Ministerio de Agricultura y

Ganadería-Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

<http://52.165.25.198/bitstream/handle/11324/7370/BVE19039656e.pdf?sequence=1&is>

Allowed=y

Maldonado, D., & Moreno, A. (2018). Exclusión territorial, conflicto armado y derechos diferenciales en comunidades afrocolombianas. *Revista Colombia Internacional*, (96), 45–73.

Martí Herrero, J. E. (2019). Biodigestores tubulares: Guía de diseño y manual de instalación [Manual técnico, RedBioLAC – IKIAM – CTCN/UNIDO]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/337064154_Biodigestores_Tubulares_guia_de_diseño_y_manual_de_instalación_2019_J_Martí_Herrero

Martí-Herrero, J. (2019). Biodigestores tubulares: Guía de diseño y manual de instalación (RedBioLAC). Ecuador: Redbiolac. https://www.researchgate.net/publication/337064154_Biodigestores_Tubulares_guia_de_diseño_y_manual_de_instalación_2019_J_Martí_Herrero.

Mata-Alvarez, J. (2017). Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. IWA Publishing.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020, 15 de septiembre). Colombia busca ingresar a la Comunidad Internacional del Coco y lograr nuevas oportunidades para productores. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-busca-ingresar-a-Comunidad-Internacional-del-Coco-y-lograr-nuevas-oportunidades-para-productores.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, 26 de enero). Gobierno del Cambio invertirá más de \$200 mil millones para fortalecer la producción de cacao, camarón y coco en Tumaco [Comunicado de prensa]. Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Gobierno-del-Cambio->

Modelo de economía circular mediante la valorización del residuo del endocarpio o concha del coco para la generación de energía para el abastecimiento de la agroindustria en Tumaco, departamento de Nariño, Colombia

151

invertir%20m%C3%A1s-de-24200-mil-millones-para-fortalecer-la-producción-de-cacao-camar%C3%B3n-y-coco-en-Tumaco.aspx

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-2019.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Estrategia nacional de economía circular. [Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI)]. https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular. ANDI. https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf

Miranda Cantillo, C. A., & Quintero Torres, J. (2019). Estudio del efecto del mesocarpio del coco y estiércol bovino en la conductividad térmica y resistencia a la compresión de bloques de mampostería [Trabajo de grado, Universidad de Córdoba]. Repositorio Universidad de Córdoba

Molano Díaz, C. (2002). Aprovechamiento energético del biogás en zonas rurales de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Molano Díaz, I. A. (2002). Generación de potencia eléctrica con biogás [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional Séneca. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/12345>

Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., ... & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators : What do they measure ? Resources,

Conservation and Recycling, 146, 452–461.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>

Muller, P. Fontrodona J (2021). Economía circular. Una revolución en marcha. Cuadernos de la Cátedra CaixaBank de Responsabilidad Social Corporativa. No 48.

<https://www.iese.edu/media/research/pdfs/ST-0609.pdf>

Organización de las Naciones Unidas (2024). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial [Informe] <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2024.pdf>

Oficina Económica y Comercial de España en Manila. (2023). Informe económico y comercial. Filipinas 2023. ICEX España Exportación e Inversiones. [Informe]

Recuperado de

<https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/075/documentos/2023/06/anexos/iec-filipinas-2023.pdf>

OIT. (2022). Empleos verdes para el desarrollo sostenible rural. Organización Internacional del Trabajo.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011).

Manual de biogás. FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023).

Biodigestores para la agricultura familiar: Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. FAO.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b317eeae-270f-48f4-92d7-3e0fff8a7873/content>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2019). Business Models for the Circular Economy : Opportunities and Challenges from a Policy

Perspective. <https://doi.org/10.1787/g2g9dd62-en>

- Parada Lugo, V. (2024). Violencias de género en contextos de cultivos ilícitos: una mirada desde las mujeres del Pacífico nariñense. Universidad de Nariño.
- Parada Lugo, V. (2024, 15 de septiembre). Un oficio invisible y violentado: las cocineras del cocal. El País. Recuperado de <https://elpais.com/america-colombia/2024-09-15/un-oficio-invisible-y-violentado-las-cocineras-del-cocal.html>
- Parlamento Europeo (2023) Economía circular: definición, importancia y beneficios. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Parlamento Europeo. (2023). Economía circular: definición, importancia y beneficios. <https://www.europarl.europa.eu>
- Pico Tola, M. A., Mendoza Ponce, M. A., Pin Napa, I. M., & Calderón Pincay, J. M. (2024). Evaluación de los residuos postcosecha del coco (*Cocos nucifera* L.) en Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte, Manabí-Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 18(2), 636-642. [<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/download/1935/4386/9281>]
- Piotrowski, S., Carus, M., & Carrez, D. (2019). European bioeconomy in figures 2008–2016: Update 2019. nova-Institute for Ecology and Innovation & Bio-based Industries Consortium.
- Preciado-Saldaña, A. M., & Ruiz-Canizales, J. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria: Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2), 92-98. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81373798002>
- Priya, V., & Sampath Kumar, M. C. (2019, diciembre). Anaerobic degradation of raw coconut waste for biogas production. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(2), 3130–3131. <https://doi.org/10.35940/ijeat.B3007.129219>

- Quintero Chamorro, M. N. (s.f.). Diseño del proceso de comercialización de productos agrícolas de uso lícito para consolidar la sustitución de cultivos de uso ilícito, en la vereda Imbilpí del Carmen del municipio de San Andrés de Tumaco. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Recuperado en noviembre 2024
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/37351/mnquinteroc.pdf>
- Quintero, M. N. (2018). Análisis del impacto de las prácticas agrícolas y los medios de transporte en la producción de coco en Tumaco [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD.
[<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/37351/mnquinteroc.pdf>]
- Rao, P. V., Karthikeyan, O. P., & Mehariya, S. (2022). Biogas production from agricultural waste: A systematic review. *Renewable Energy*, 187, 501–514.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.090>
- Raynal-Villaseñor J.A. (2011). Cambio climático global: una realidad inequívoca. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*. Vol. XII, Núm. 4, 2011, 421-42.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v12n4/v12n4a6.pdf>
- Rendón Acevedo, J., Vergara Espitia, C. G., Mora Villalobos, C. A., Gutiérrez Villamil, S., & Martínez Prieto, A. (2023). San Andrés de Tumaco (Nariño): diagnóstico socioeconómico y de producción agropecuaria (2010–2019). Centro de Estudios e Investigaciones Rurales (CEIR), Universidad de La Salle. (PDF) 2023. San Andrés de Tumaco (Nariño): diagnóstico socioeconómico y de producción agropecuaria (2010-2019).
- República de Colombia. (2018, 24 de diciembre). Decreto 2412 por el cual se adiciona el capítulo 7 al Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio (Decreto 1077 de 2015), referente al incentivo al aprovechamiento y tratamiento de

residuos sólidos. Diario Oficial, (...).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=89969>

República de Colombia. (2021). Ley 2099 de 2021 – Ley de Transición Energética. Diario Oficial No. 51.003, 10 de septiembre de 2021. Recuperada de <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30041997>

Restrepo, E., & Rojas, A. (2010). Invisibilidad y autonomía: pueblos negros en Colombia. Universidad del Cauca.

Rimisp – Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. (2017). Modelo de comercialización y priorización de cadenas: Informe final del proyecto Grant FIDA1. [Informe] Rimisp. https://rimisp.org/wp-content/files_mf/1514388277Producto3b_Modelocomercializacion_Priorizacioncadenas_GRANTFIDA1.pdf

Riveros Cepeda, J. (2022). Aprovechamiento de subproductos del beneficio del cacao (*Theobroma cacao* L.) generados en unidades productivas de Casanare con énfasis en la obtención de biometano [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero ambiental, Universidad El Bosque]. Repositorio Institucional Universidad El Bosque. <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/b68d1526-2425-4aa7-8416-af439cd3c17c/content>

Robles-Ozuna, L. E., Martínez-Núñez, Y. Y., Robles-Burgeño, M. del R., Valenzuela-Meléndrez, M., Tortoledo-Ortíz, O., Madera-Santana, T., & Montoya-Ballesteros, L. del C. (2021). Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos en el coco (*Cocos nucifera* L.) y su aceite: Efecto del cultivar y región de cultivo. *Biotecnia*, 23(2), 22-29. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1269>

Rodríguez, M., & Camargo, A. (2020). Gobernanza territorial en comunidades afrodescendientes: Retos para la implementación de políticas públicas en el Pacífico

sur colombiano. *Revista de Estudios Sociales*, (73), 15–30.

<https://doi.org/10.7440/res73.2020.02>

Sánchez Saucedo, A. K. (2019). Propuestas sustentables de ecodiseños a partir de un composite de bioplástico y cáscara de coco, en la comunidad de la Guadalupe, Tecolutla, Veracruz [Trabajo de intervención, Universidad Veracruzana]. Recuperado de https://www.uv.mx/pozarica/mca/files/2012/10/G07_ANA-KARINA-SA%CC%81NCHEZ-SAUCEDO-05_NOVIEMBRE_2019.pdf

Sandivel Valencia Pérez, N., Castro-Rodríguez, D., & Yañez-Fernández, J. (2022, agosto). *El agua de coco no solo una bebida refrescante, sino una bebida con beneficios para la salud*. *Frontera Biotecnológica*, Volumen 20(2). Disponible en ResearchGate:

https://www.researchgate.net/publication/362857295_El_agua_de_coco_no_solo_una_bebida_refrescante_sino_una_bebida_con_beneficios_para_la_salud

Santurde Rubio, L., & Castro Núñez, R. B. (2021). La aportación de la Economía Circular a los ODS frente a las limitaciones del Sistema Lineal. *Revista Iberoamericana de Economía Solidaria e Innovación Socioecológica*, 4(1), 149-170.

<https://doi.org/10.33776/riesise.v4i1.5185>

Sawatdeenarunat, C., Surendra, K. C., Takara, D., Oechsner, H., & Khanal, S. K. (2021). Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities. *Bioresource Technology*, 102(2), 498–506.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.109>

Schimer Soares, R., Weiss, M., Lampis, A., Bermann, C., & Carvalho Metanias Hallack, M. (2023). Pobreza energética en los hogares y su relación con otras vulnerabilidades en América Latina: el caso de Argentina, Brasil, Colombia, Perú y Uruguay (Nota

técnica IDB-TN-02623). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0004702>

Singh, R., Ghosh, P., & Banerjee, R. (2021). Techno-economic analysis of rural biogas systems: A case from coconut waste in India. *Energy Reports*, 7, 5947–5956.

<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.066>

Sistema.bio. (s. f.). Our technology. Recuperado de <https://sistema.bio/our-technology/>

Soo Rosas, E. (2021). Valorización de las cáscaras de coco como potencial fuente para la obtención de azúcares y edulcorantes no calóricos [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC.

<https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/9f7a6321-530d-4e1a-a388-93f741e626ca/content>

Stockholm Environment Institute (SEI). (2023). Energía solar y eólica en Colombia: Panorama y resumen de políticas 2022 (SEI Report No. 2023.016).

<https://www.sei.org/wp-content/uploads/2023/03/solar-eolica-colombia-sei2023.016.pdf>

Thampan, P. K. (2004). "Coconut: The Tree of Life - Proceedings of the International Coconut Conference

"Trienekens, J. H. (2011). Agricultural value chains in developing countries: A framework for analysis. *International Food and Agribusiness Management Review*, 14(2), 51–82

Schejtman, A., & Berdegué, J. A. (2008). Desarrollo territorial rural. CEPAL/FAO."

Trujillo, A. F., & Arias, L. S. (2013). El coco, recurso renovable para el diseño de materiales verdes. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 7(14), 93–100. Universidad Católica de Pereira. <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/2222>

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2010). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia: Sector agrícola [Mapa].

http://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Atlas-Biomasa/2_Mapas_Sector_Agricola.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2022, noviembre). Plan nacional de sustitución de leña y otros combustibles de uso ineficiente y altamente contaminante para la cocción doméstica de alimentos (Tomo II: Diagnóstico con enfoque territorial). Ministerio de Minas y Energía.

https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/publicaciones/Eliminados/Tomo_II_Enfoque_territorial_dic2_obsoleto.pdf

Universidad de Nariño. (2023). Análisis del entorno: Tumaco. Editorial Universitaria. Recuperado de <https://www.udenar.edu.co/recursos/wp-content/uploads/2024/08/An%C3%A1lisis-de-Entorno-T%C3%BAmaco.pdf>

UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

UPME. (2021). Guía de Autogeneración y Comercialización de Energía Renovable en Colombia. Unidad de Planeación Minero-Energética. <https://www1.upme.gov.co>

UPME.(2023). Balance energético colombiano 2022-2023. UPME. [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Beco/Presentacion_Balance_Energetico_Colombiano_2022-2023.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Beco/Presentacion_Balance_Energetico_Colombiano_2022%e2%80%932023.pdf)

Vaca-Cardenas, M. L., González, M., & Vaca, P. (2021). Characterization of the Physical Properties of the Coconut Fiber Residue With a View to its Agroindustrial Use.

ESPOCH Congresses: *The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(1), 339-354.

<https://doi.org/10.18502/epoch.v1i1.9569>

Valora Analitik. (2023, septiembre 20). Colombia firmará millonario crédito para energías renovables. <https://www.valoraanalitik.com/colombia-firmara-millonario-credito-para-energias-renovables/>

Vega C., L. T., Vega C., D. A., & Poveda A., F. A. (2020). Evaluación de un digestado como fertilizante orgánico. *Idesia*, 38(3), 87–96.

<https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v38n3/0718-3429-idesia-38-03-87.pdf>

Velásquez, T. (2011). Territorios colectivos y planes de vida: Gobernanza étnico-territorial en el Pacífico colombiano. Bogotá: Fundación Ford – Universidad del Rosario

Vergara Peña, D., & Agrosavia. (2023). Caracterización del sistema productivo de coco (*Cocos nucifera* L.) en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA.

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37949/Ver_Documento_37949.pdf?sequence=1&isAllowed=y

World Bank. (2023). Harvesting productivity: Technology and productivity growth in agriculture. World Bank Group.

<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/acb134b2-3b82-5ccf-87a0-d6882a53d92e>

Zambrano, J. C., Pérez, M. A., & Rodríguez, A. L. (2023). Bioenergy production from agro-industrial residues in Latin America: Potential and constraints. *Energy Policy*, 175, 113499. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113499>

Anexo I

Encuesta para Productores de Coco en Tumaco

Objetivo: Recopilar información sobre la producción de coco en Tumaco para entender las prácticas agrícolas, desafíos logísticos, impacto en la comunidad y sostenibilidad.

1. Información General

1. ¿Cuáles son las hectáreas sembradas con cultivo de coco?

- Menos de 1 hectárea
- 1 - 5 hectáreas

- Más de 5 hectáreas
2. **¿Cuántas hectáreas actualmente están producción coco ?**
- Menos de 1 hectárea
 - 1 - 5 hectáreas
 - Más de 5 hectáreas
3. **¿Cuál es la variedad principal de coco que cultiva?**
(Puede seleccionar más de una opción)
- Alto
 - Enano
 - Híbrido (injerto)
 - Manila
 - Otras (especifique): _____
4. **¿Cuántos años lleva cultivando coco en esta zona?**
- Menos de 5 años
 - 5 - 10 años
 - Más de 10 años
-

2. Producción y Manejo del Cultivo

5. **¿Cuánto tiempo tarda en obtener la primera cosecha?**

Responda según la variedad y la cantidad de personas a cosechan

- Alto
 - Enano
 - Híbrido (injerto)
 - Manila
 - Otras (especifique): _____
6. **¿Cuánto tiempo tarda en cosechar una hectárea de coco?**
- Menos de 1 semana

- 1 - 2 semanas
- Más de 2 semanas

7. ¿Cuántas docenas se obtienen hectárea cosechada?

Responda según la variedad

- Alto:
- Enano:
- Híbrido:
- Otras (especifique): _____

8. ¿Cuántas veces cosecha al año la misma hectárea?

- 2 veces:
 - 3 a 4 veces:
 - Mas de 4 veces
-

3. Economía y Mercados

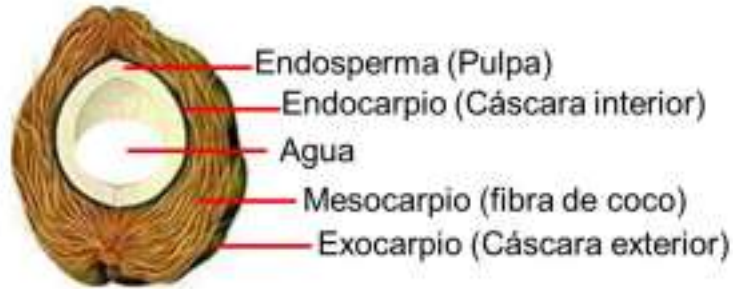
9. ¿Cuál es el costo promedio de una docena de coco?

Responda según la variedad

- Alto:
- Enano:
- Híbrido:
- Otras (especifique): _____

10. ¿Usualmente que tipo de producto se vende en el mercado?

- Coco completo
- Coco sin el cascara y fibra del coco
- Solamente desde la cascara interior, pulpa y agua de coco
- Otros



11. ¿Cómo varía el precio del coco en el mercado local?

- Estable durante todo el año
- Fluctúa según la temporada
- Altamente variable
- No sabe / No aplica

12. ¿Cuáles son los factores principales que afectan el precio del coco en la región?

(Seleccione hasta tres opciones)

- Clima
- Competencia
- Costos de transporte
- Políticas del gobierno
- Plagas
- Otros (especifique): _____

13. ¿Cómo apoya la producción de coco a la economía local?

- Generación de empleo
- Desarrollo de infraestructura
- Mejora en el comercio local
- Otros (especifique): _____

4. Sostenibilidad y Medio Ambiente

14. ¿Qué prácticas utiliza para asegurar la sostenibilidad ambiental en su plantación?

(Seleccione todas las que apliquen)

- Rotación de cultivos
- Uso de abonos orgánicos
- Manejo adecuado del agua
- Reducción de plaguicidas químicos
- Otras (especifique): _____

15. ¿Cómo maneja los residuos generados por la cosecha y el procesamiento del coco?

- Se reutilizan como biomasa
- Se compostan
- Se desechan sin tratamiento especial
- Otro (especifique): _____

16. ¿Ha recibido asesoría de alguna organización para mejorar la sostenibilidad de su producción?

- Sí
 - No
 - No sabe / No aplica
-

5. Desafíos

17. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta en la producción de coco?

(Seleccione hasta tres opciones)

- Falta de acceso a financiamiento
- Problemas con infraestructura (camino, transporte)
- Clima adverso
- Falta de mano de obra
- Plagas y enfermedades

- Otros (especifique): _____

18. ¿Qué tipo de apoyo ha recibido del gobierno u organizaciones locales?

- Capacitación técnica
- Financiamiento
- Subsidios
- Ninguno
- Otro (especifique): _____

19. ¿Qué regulaciones específicas existen para la producción y comercialización de coco en Tumaco?

- Cumple con normas locales
- Cumple con normas nacionales
- No hay regulaciones claras
- No sabe / No aplica

20. Reside actualmente en el sitio donde tiene la unidad productiva?

- Si
- No

En caso que su respuesta anterior sea No, informar cuanto tiempo toma

desplazarse a la unidad productiva

- Menos a 30 minutos
- Entre 30 minutos y 60 minutos
- Entre 61 minutos a 90 minutos
- Mas de 90 minutos