

Producción de Biodiésel a partir del Coco Como Alternativa Energética para el Municipio de
Tumaco

Laura Camila Camargo Duque

Lady Johanna Burgos Montañez

Kenia González Peralta

Universidad Ean

Especialización en Gerencia de Procesos de Calidad e Innovación

Seminario de Investigación Especialización

Grupo Gestión Ambiental

Línea Desarrollo Sostenible

Bogotá, D.C.

2024

CONTENIDO

1.	RESUMEN.....	4
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
2.1	Pregunta de investigación.....	6
3.	OBJETIVOS.....	6
3.1	Objetivo general	6
3.2	Objetivos específicos.....	6
4.	JUSTIFICACIÓN.....	6
5.	MARCO TEÓRICO.....	8
6.	METODOLOGÍA	13
6.1	Enfoque, alcance y diseño de la investigación	13
6.2	Definición de variables.....	14
6.3	Definición conceptual.....	14
6.4	Definición operacional	15
6.5	Población y muestra	15
6.6	Técnica de muestreo	16
6.7	Tamaño de la muestra.....	16
6.8	Métodos e instrumentos para la recolección de información	17
6.9	Técnicas de análisis de datos	19
7.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	20
8.	CONCLUSIONES	28
9.	RECOMENDACIONES	29
10.	REFERENCIAS	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Composición de Ácidos Grasos en Aceites Vegetales</i>	8
Tabla 2. <i>Contenido Energético de Aceites para Biodiésel</i>	9
Tabla 3. <i>Parámetros Óptimos para la Transesterificación del Aceite de Coco</i>	10
Tabla 4. <i>Definición de Variables</i>	15
Tabla 5. <i>Instrumentos y técnicas de análisis de datos</i>	19
Tabla 6. <i>Composición proximal del coco</i>	21
Tabla 7. <i>Emisiones de GEI en Nariño por sector económico</i>	24

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. <i>Actividades Objetivo 1</i>	18
Diagrama 2. <i>Actividades Objetivo 2</i>	18

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. <i>Comparación del contenido energético de aceites vegetales y diesel convencional</i> . 23	
Gráfica 2. <i>Participación GEI en las emisiones totales de Nariño</i>	25
Gráfica 3. <i>Emisiones municipio de Tumaco 2012.</i>	25

1. RESUMEN

Este proyecto surge como una opción para mitigar los efectos del cambio climático generados por la emisión de gases de efecto invernadero en la región de Tumaco, con la producción de biodiésel a partir del coco como alternativa energética para el municipio, dado su rendimiento en el cultivo de cocoteros y su participación en la producción nacional. Para esto, se determina la composición química del coco para establecer su potencial energético y se evalúa el efecto que tendría la implementación del biodiésel de coco en la reducción de emisiones, lo cual representa una oportunidad significativa para el desarrollo económico y ambiental de la región.

Palabras clave: biodiésel, energía renovable, residuos agrícolas, biomasa, coco.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Una de las grandes preocupaciones a nivel mundial es el cambio climático, cuyas causas principales se les atribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero y a los cambios en el uso del suelo, provocando: aumento en la temperatura global, desglaciación, alteración en los hábitats de los ecosistemas, pérdida de biodiversidad y efectos en la salud humana (IDEAM et al., 2021) mediante la propagación de enfermedades.

En Colombia, según el Tercer Informe Bienal de Actualización de Cambio Climático presentado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en 2018 las actividades agropecuarias y el sector energético fueron los mayores contribuyentes a la generación de gases de efecto invernadero, con participación del 59 % y 31 % respectivamente. Cabe resaltar, que del 31% del sector de energía, el 12% corresponde a la participación del sector de transporte, que, si bien no es el sector que mayor contamina, presenta varias oportunidades para su reducción, como el uso de biocombustibles como opción sostenible para sustituir los combustibles fósiles utilizados para la movilidad en el país. En este aspecto, según el Ministerio de Minas y Energía, Colombia se ubica como el segundo país en el mundo con la política de porcentajes de biodiésel más alto, donde se destaca la producción de biodiésel proveniente de aceite de palma en su mayoría de la región caribe y el bioetanol proveniente de la caña de azúcar del Valle del Cauca.

Dado que Colombia es un país megadiverso por sus condiciones tropicales, existe un gran potencial para la generación de biocombustibles a partir de otras fuentes vegetales, especialmente plantas oleaginosas que ya son cultivadas en el territorio como la palma de coco. En este sentido, Tumaco es el municipio líder del departamento de Nariño con 6.800 hectáreas de cocoteros sembrados en la región del pacífico (La Fundación Julio y Astrida Carrizosa, 2022). Esto representa una oportunidad importante para impulsar la agroindustria y la generación de empleo en la región, seguido del uso del biodiésel de coco como alternativa energética para el municipio y de esta manera contribuir con uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionado con la energía asequible y no contaminante que favorece la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en pro de combatir el cambio climático.

La búsqueda de fuentes de energía sostenibles ha llevado a un creciente interés en los biocombustibles derivados de biomasa orgánica, como lo son los residuos de coco. Esta biomasa no solo representa una fuente de energía ecológica, sino que también aborda problemas derivados del manejo inadecuado de residuos.

Un estudio realizado por (Kannan et al., 2024) destaca la optimización del proceso de producción de biodiésel a partir de aceite de coco mediante transesterificación alcalina. En esta investigación, se identificaron condiciones óptimas que incluyen una temperatura de 55 °C, una relación molar metanol-aceite de 6:1, y una concentración de catalizador del 1%. La aplicación de estos parámetros permitió alcanzar un rendimiento del 96,69% de éster metílico, lo que demuestra la alta eficiencia de este proceso para la producción de biodiésel, subrayando la viabilidad técnica del uso de aceite de coco como materia prima para biocombustibles.

Otro enfoque innovador es el presentado por (Muhammed & Shaija, 2023) que desarrollaron un reactor oscilatorio alimentado por energía solar para la producción de biodiésel a partir de aceite de cocina de coco usado. Este reactor no solo logró un rendimiento del 93,72% en 30 minutos, sino que también evitó el uso de energía no renovable. El biodiésel producido mostró propiedades comparables a las del diésel convencional.

Complementando estos estudios (Keasavan et al., 2023) investigaron la conversión de pulpa de coco residual en biodiésel utilizando catalizadores basados en óxido de calcio. En este estudio, se extrajo el 50% del aceite de 10 g de pulpa de coco a 60°C en 4 horas mediante el método de extracción Soxhlet. La transesterificación realizada a 55°C durante 2 horas con

catalizadores basados en óxido de calcio resultó en la conversión exitosa de ácidos grasos libres en ésteres metílicos. Los resultados de GC-FID confirmaron la presencia de cuatro especies de éster metílico en el biodiésel, validando la eficacia del proceso.

Estos estudios demuestran que los residuos de coco pueden transformarse en biodiésel eficiente mediante diferentes métodos de producción los cuales ofrecen beneficios ambientales significativos al reducir las emisiones y evitar el uso de energía no renovable.

2.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es el potencial del residuo de coco como materia prima para la producción de biodiésel y cómo este podría implementarse como alternativa energética y a su vez disminuir la contaminación generada por residuos orgánicos?

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el potencial del residuo de coco como materia prima para la producción de biodiésel en el municipio de Tumaco, para promover una alternativa energética sostenible y disminuir la contaminación generada por residuos orgánicos.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición química y el contenido energético del coco para establecer su potencial energético.
- Determinar el efecto de la implementación del biodiésel de coco en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en Tumaco.

4. JUSTIFICACIÓN

La creciente demanda global de fuentes de energía renovable y sostenible ha impulsado el interés en la producción de biodiésel a partir de diversas materias primas. En el contexto de Tumaco, municipio costero en la región del Pacífico colombiano, el uso del coco como materia prima para producir biodiésel presenta una oportunidad significativa para el desarrollo económico y ambiental, ya que según datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural la

producción nacional ha tenido un crecimiento en el sector cocotero pasando de producir 110.354 toneladas en el año 2010 a 145.578 toneladas en el año 2019 siendo Tumaco el mayor productor con 55.325 toneladas producidas en 2019 (UPRA, 2024). Tumaco, al pertenecer a una región tropical, genera un ambiente propicio para actividades agrícolas para el cultivo de cocoteros, gracias a su clima cálido y húmedo. En estas condiciones los cocoteros son altamente productivos y pueden proporcionar una fuente constante de materia prima para la producción de biodiésel, teniendo en cuenta que el municipio tiene un rendimiento de cultivo de cocoteros en promedio de 7 Ton/ha según las Evaluaciones Agropecuarias Municipales Base Agrícola 2019-2023, superando el promedio mundial que se encuentra en 5,2 Ton/ha. Por lo tanto, la cosecha de cocos puede ofrecer una alternativa de ingresos para los agricultores locales, quienes a menudo enfrentan dificultades debido a la presencia del conflicto armado y olvido del Estado que como factores externos inciden en el desarrollo del municipio (Flórez et al., 2020).

El fortalecimiento del sector cocotero garantiza una materia prima abundante y renovable, y aprovecha una fuente local que puede contribuir a la estabilidad y autosuficiencia energética del municipio, pues promover el desarrollo de una planta de biodiésel proporcionaría empleos directos e indirectos, reduciendo el desempleo, fomentando el crecimiento de la economía local e incluso el abastecimiento de energía eléctrica para zonas rurales que no hacen parte del Sistema Interconectado Nacional (Alarcón, 2017). Adicional, el biodiésel derivado del coco presenta varias ventajas ambientales. En comparación con los combustibles fósiles, el biodiésel produce menos emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Su uso contribuye a la reducción de la huella de carbono del municipio y apoya los esfuerzos globales contra el cambio climático (Llanes et al., 2017). Además, el cultivo de cocoteros ayuda a conservar la biodiversidad local y proteger el suelo, ya que estos árboles son menos invasivos y requieren menos pesticidas y fertilizantes químicos en comparación con otros cultivos. De esta manera esta iniciativa no solo aprovecha los recursos naturales locales, sino que también promueve un ciclo económico cerrado al reutilizar subproductos del coco. Por ejemplo, el residuo de cáscaras y pulpas puede ser utilizado para la producción de compost o alimentos para animales, reduciendo el desperdicio y promoviendo prácticas agrícolas responsables.

El proyecto de producción de biodiésel usando el coco como materia prima, puede actuar como un catalizador para el desarrollo local en Tumaco. Al establecer una infraestructura para la

producción de biodiésel, se fomenta la inversión en tecnologías limpias y se mejora la capacidad técnica de la región. Además, se puede fortalecer la cooperación entre diferentes actores locales, como agricultores, empresarios y autoridades gubernamentales, para alcanzar objetivos comunes de desarrollo sostenible y mejora de la calidad de vida de los habitantes de la región.

5. MARCO TEÓRICO

El coco (*Cocos nucifera* L.) es un cultivo tropical ampliamente valorado por su versatilidad y múltiples aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y energética. De acuerdo con el Food and Agriculture Organization (FAO), el coco es uno de los productos agrícolas más importantes en varias regiones tropicales y subtropicales del mundo, con especial énfasis en países como Filipinas, Indonesia e India, que son los principales productores a nivel mundial (FAO, 2020).

La composición química del coco varía dependiendo de factores como la madurez, la parte del fruto y el entorno de crecimiento. La pulpa del coco es particularmente rica en lípidos, siendo los ácidos grasos saturados los más predominantes, como el ácido láurico (44-52%), mirístico y palmítico, lo que le confiere una alta densidad energética (DebMandal & Mandal, 2011).

Diversos estudios han documentado la composición química del coco, especialmente de su aceite (Ramos et al., 2009);(Schuchardt et al., 1998). A continuación, se presenta una tabla que resume la composición típica del aceite de coco y su comparación con otros aceites vegetales utilizados para la producción de biodiésel.

Tabla 1.
Composición de Ácidos Grasos en Aceites Vegetales

Ácido Graso	Aceite de Coco (%)	Aceite de Palma (%)	Aceite de Soja (%)	Aceite de Canola (%)
Ácido Láurico (C12)	48-52	5-7	0-1	0-1
Ácido Mirístico (C14)	16-20	3-4	0.2-0.5	0.1-0.2

Ácido Palmítico (C16)	8-10	44-46	11-13	4-5
Ácido Oleico (C18:1)	6-8	39-40	23-25	60-65
Ácido Linoleico (C18:2)	1-2	10-11	54-58	25-30
Ácido Esteárico (C18:0)	2-3	4-5	0.5-1	3-4
Otros	9-10	0-1	60-65	0-2

Nota: Fuente, Adaptado de (Ramos et al., 2009) ; (Schuchardt et al., 1998).

El aceite de coco se distingue por su alto contenido de ácidos grasos saturados, especialmente el ácido láurico y mirístico, lo que le confiere estabilidad térmica y química, características favorables para la producción de biodiésel (Ramos et al., 2009). En comparación, otros aceites como el de soja y canola presentan mayor contenido de ácidos grasos insaturados, lo que puede afectar la estabilidad del biodiésel producido (Schuchardt et al., 1998).

El contenido energético del aceite de coco es un factor crucial para evaluar su viabilidad como fuente de energía. A continuación, se muestra una tabla comparativa del contenido energético de diferentes fuentes de biodiésel.

Tabla 2.

Contenido Energético de Aceites para Biodiésel

Fuente de Aceite	Poder Calorífico (MJ/kg)
Aceite de Coco	37.1
Aceite de Palma	37.3
Aceite de Soja	37.6
Aceite de Canola	37.5
Diesel Convencional	45.5

Nota: Fuente, Adaptado de (Ramos et al., 2009).

El contenido energético del aceite de coco es ligeramente inferior al del diesel convencional, sin embargo, es comparable con otros aceites vegetales utilizados para la producción de

biodiésel(Ramos et al., 2009). Esta diferencia puede ser compensada mediante mejoras en la eficiencia de los motores y optimización del proceso de producción de biodiésel (Demirbas, 2007).

El biodiésel es un biocombustible renovable derivado de aceites vegetales o grasas animales mediante un proceso de transesterificación. En el caso del aceite de coco, la estructura de sus ácidos grasos, predominantemente saturados, le otorga ciertas ventajas sobre otros aceites vegetales, como el de soya o palma, en términos de estabilidad y desempeño en motores de combustión interna. Estudios han demostrado que el biodiésel derivado del aceite de coco presenta un comportamiento favorable en climas tropicales y es capaz de cumplir con los estándares internacionales de calidad del biodiésel (Ayetor et al., 2015)

La transesterificación es el proceso químico mediante el cual los triglicéridos presentes en los aceites vegetales se convierten en ésteres metílicos o biodiésel, utilizando un alcohol (generalmente metanol) y un catalizador (como el hidróxido de sodio o potasio) (Ahmad et al., 2022).En el caso del aceite de coco, su alta concentración de ácidos grasos saturados facilita el proceso de transesterificación, logrando altos rendimientos de biodiésel con propiedades adecuadas para su uso en motores (Encinar et al., 2010).

Tabla 3.

Parámetros Óptimos para la Transesterificación del Aceite de Coco

Parámetro	Valor Óptimo
Temperatura	60-65°C
Relación Metanol/Oil	6:1 (mol/mol)
Concentración de Catalizador	1-2% (peso)
Tiempo de Reacción	1-2 horas
Agitación	600-800 rpm

Nota: Fuente, Adaptado de (Encinar et al., 2010).

Mantener los parámetros óptimos durante la transesterificación es crucial para maximizar el rendimiento y la calidad del biodiésel. La temperatura y la agitación adecuadas aseguran una reacción eficiente, mientras que la correcta relación de metanol y la concentración de catalizador evitan la formación de subproductos no deseados (Encinar et al., 2010).

La búsqueda de fuentes de energía sostenibles ha llevado a un creciente interés en los biocombustibles derivados de biomasa orgánica. Un ejemplo de esto son los residuos de coco que su uso no solo representa una fuente de energía ecológica, sino que también mitiga problemas derivados del manejo inadecuado de residuos. Estudios que han optimizado los procesos de transesterificación de aceite de coco con altos rendimientos, como los reportados por (Kannan et al., 2024), quienes lograron una eficiencia del 96.69%. Además, enfoques innovadores, como el reactor oscilatorio solar de (Muhammed & Shaija, 2023), mostraron un rendimiento elevado sin necesidad de energía no renovable. Y, por otra parte, investigaciones sobre residuos de coco, como las de (Keasavan et al., 2023), han demostrado la conversión exitosa de subproductos en biodiésel. Estos estudios lograron demostrar que el biodiésel derivado de la biomasa vegetal, como el coco, es una alternativa viable para reducir las emisiones de carbono y mejorar la calidad ambiental en regiones como Tumaco.

El biodiésel es un combustible alternativo al Diesel tradicional que se obtiene de fuentes biológicas como aceites vegetales, grasas animales y aceite de cocina usados. Su uso no se limita solo al transporte, sino que también se utiliza en la generación de electricidad. En los últimos años, la producción global de biodiésel ha crecido significativamente, pasando de 3.900 millones de litros en 2005 a más de 33.000 millones en 2016, y se proyecta que alcance los 41.400 millones en 2025 (Rouhany & Montgomery, 2019)

En Brasil, el biodiésel se ha convertido en una opción importante para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sobre todo en el sector del transporte. A través del Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiésel (PNPB), el país busca reemplazar parte del diésel derivado del petróleo por biodiésel, lo que no solo reduce la dependencia de combustibles fósiles, sino también el impacto ambiental. Para cumplir con los compromisos de reducción de emisiones establecidos por la Política Nacional de Cambio Climático (PNCC), se estima que para el año 2020 la mezcla de biodiésel en el diésel debe aumentar entre un 31% y un 67%. Este esfuerzo también incluye la participación de pequeños agricultores en la producción de materias primas, promoviendo así la inclusión social y la sostenibilidad. (Gomes & Faria, 2020)

Por otro lado, Colombia se ha convertido en un líder en la producción de biodiésel en Sudamérica. Un estudio del 2015 realizado por estudiantes de la Universidad Nacional (Vidal-Benavides et al., 2017), muestra el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del biodiésel hecho a partir

de aceite vegetal usado (AVU). Los resultados presentan principalmente que, el mayor impacto ambiental ocurre durante la transformación del aceite en biodiésel. Este proceso consume mucha energía y materiales, lo que genera significativas emisiones de gases de efecto invernadero. En detalle, la etapa de limpieza del AVU es la que más contribuye al cambio climático, representando el 89,5% del impacto, debido al uso de diésel para el calentamiento. La producción de hidróxido de sodio suma un 10,5% adicional. Durante la transformación, el metanol también juega un papel importante, siendo responsable del 59,6% del impacto en cambio climático. Además, se observa que tanto la limpieza como la transformación del AVU contribuyen al agotamiento de la capa de ozono, debido a las emisiones de clorofluorocarbonados (CFC) usados en la producción de algunos insumos. También hay un notable impacto en la acidificación, con un 95% de contribución proveniente de la etapa de transformación, principalmente por el uso del metanol, lo que puede llevar a problemas como la lluvia ácida. Las etapas de recolección y distribución tienen un impacto menor, asociado principalmente al uso de combustibles para los vehículos. A pesar de los impactos asociados, el proceso de producción de biodiésel convierte un residuo en una fuente de energía con una carga ambiental menor comparada con los combustibles fósiles. Esto hace que el biodiésel sea una alternativa más ecológica y eficiente en términos energéticos.

Tumaco, conocida por su abundante producción de coco, enfrenta varios problemas ambientales, incluyendo una alta dependencia de combustibles fósiles y una gestión deficiente de los residuos. Una posible solución a estos desafíos es la producción de biodiésel a partir de los residuos de coco. Establecer infraestructuras locales para esta producción no solo mejoraría la sostenibilidad energética en la región, sino que también ayudaría a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a combatir el cambio climático. Investigaciones recientes sugieren que transformar los residuos de coco en biodiésel puede crear una cadena de suministro más sostenible. En lugar de depender de combustibles fósiles importados, se puede utilizar lo que ya se tiene a nivel local, beneficiando a los productores de coco y ayudando a resolver problemas de comercialización y producción. Además, este enfoque puede mejorar la calidad de vida en la comunidad al generar nuevos empleos y fomentar el desarrollo sostenible. (Olguer Emilio Girón, 2012)

También es importante destacar que el uso responsable de cultivos como el coco puede jugar un papel crucial en la recuperación de áreas afectadas por cultivos ilícitos. Promover la reforestación y restaurar la biodiversidad en Tumaco mediante prácticas agroecológicas podría ser fundamental para construir un futuro más verde y próspero para la región (Fernanda Barbosa, 2019)

6. METODOLOGÍA

6.1 Enfoque, alcance y diseño de la investigación

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, no experimental y no de campo, ya que el objetivo es revisar y analizar la información bibliográfica existente relacionada con el uso del coco como materia prima para la producción de biodiésel y su impacto en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el municipio de Tumaco. No se llevarán a cabo experimentos ni mediciones de campo; en cambio, se hará una exploración de estudios previos para fundamentar teóricamente la viabilidad de esta propuesta.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal. Esto significa que no se manipularán variables ni se realizarán intervenciones experimentales, y la recolección de información se hará en un único momento a través de la revisión de literatura. En cambio, el estudio se basará en la recopilación de información bibliográfica existente. La elección de este diseño es adecuada debido a que el objetivo del proyecto es realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre la producción de biodiésel a partir del coco y su potencial impacto en la reducción de gases de efecto invernadero en Tumaco, sin necesidad de realizar experimentos o análisis de laboratorio.

El alcance del estudio es descriptivo ya que se enfocará en describir las características de la materia prima (coco) en términos de su composición química y potencial energético, así como en detallar el impacto que tendría la implementación del biodiésel de coco en la reducción de emisiones en el municipio. Además, el estudio es correlacional, ya que se buscarán relaciones entre el uso de biodiésel y la reducción de emisiones de gases contaminantes, basadas en la literatura científica existente.

La elección del diseño no experimental y transversal es porque el proyecto se limita a la búsqueda bibliográfica y análisis de estudios previos. No se realizarán experimentos ni se modificarán condiciones en el entorno real. Un diseño experimental no sería apropiado para este tipo de investigación, dado que se trata de analizar información ya publicada para establecer una base teórica sólida que respalde la viabilidad del biodiésel de coco como una alternativa energética en Tumaco. Además, el enfoque descriptivo permite estructurar y sintetizar la información sobre el coco como recurso energético y la correlación entre el uso de biodiésel y la reducción de emisiones, lo cual es clave para proyectar los beneficios de su implementación en la región.

6.2 Definición de variables

En esta sección se definen las variables que guiarán la investigación. Cada una se describe desde su perspectiva conceptual y operacional, ya que es necesario comprender su significado y cómo serán abordadas en este estudio de tipo bibliográfico.

6.3 Definición conceptual

Las variables clave de esta investigación son las siguientes:

- **Composición química del coco**

Esta variable se refiere a los componentes del coco (particularmente su contenido de lípidos y ácidos grasos) que lo hacen adecuado como materia prima para la producción de biodiésel. La revisión bibliográfica se enfocará en estudios que analicen estas características del coco.

- **Potencial energético del coco**

El potencial energético del coco se define como la cantidad de energía que puede generarse a partir de la biomasa del coco, en particular su aceite. Esta variable será investigada mediante la revisión de estudios que reporten el valor calórico y el rendimiento energético del coco en procesos de transesterificación para la producción de biodiésel.

- **Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero**

Esta variable está relacionada con la cantidad de gases como CO₂, CH₄ y NO_x que podrían reducirse si el biodiésel de coco se implementa como fuente de energía en el

transporte. La revisión se enfocará en estudios que comparen las emisiones de gases contaminantes antes y después del uso de biodiésel en condiciones similares a las de Tumaco.

6.4 Definición operacional

A continuación, se presenta la definición operacional de las variables, detallando cómo serán abordadas a través de la revisión bibliográfica:

Tabla 4.
Definición de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Composición química del coco	Información sobre los componentes clave del coco (lípidos, ácidos grasos) para la producción de biodiésel.	Búsqueda de estudios previos que analicen la composición del coco y su viabilidad como materia prima para biocombustibles.
Potencial energético del coco	Capacidad del coco para generar energía utilizable en forma de biodiésel, basado en su valor calórico.	Revisión de investigaciones que reporten el rendimiento energético del aceite de coco, enfocándose en estudios de transesterificación.
Reducción de gases de efecto invernadero	Impacto que tiene la utilización de biodiésel en la disminución de emisiones de gases contaminantes.	Búsqueda de estudios que comparen las emisiones de CO ₂ y otros gases antes y después del uso de biodiésel en sectores de transporte similares a los de Tumaco.

Nota: Elaboración propia

6.5 Población y muestra

En el contexto de esta investigación, la población está conformada por estudios científicos, artículos revisados por pares, informes técnicos y documentos académicos publicados a partir del año 2003, los cuales abordan la producción de biodiésel a partir del coco, su composición química, su potencial energético y su impacto en la reducción de gases de efecto invernadero. Esta literatura proviene de bases de datos académicas, publicaciones de organismos

internacionales (como la **FAO, IDEAM, UPRA**), y estudios específicos sobre biocombustibles y energía sostenible en regiones similares a Tumaco, tanto a nivel nacional como internacional.

La población relevante para este proyecto incluye todos los trabajos disponibles que:

- Analicen la viabilidad técnica del coco como materia prima para la producción de biodiésel.
- Evalúen el impacto del biodiésel en la reducción de emisiones de gases contaminantes.
- Contextualicen el uso de biocombustibles en países tropicales o con economías dependientes del cultivo del coco.

Dado que la investigación se centra en la revisión de literatura, la "población" de estudio estará compuesta por fuentes académicas y técnicas sobre la producción de biodiésel, el uso del coco como materia prima y la reducción de gases de efecto invernadero en contextos similares a Tumaco.

Se seleccionará una muestra de estudios académicos y artículos revisados por pares que proporcionen información sobre los temas clave. La técnica de muestreo utilizada será por conveniencia, seleccionando fuentes relevantes de bases de datos académicas.

6.6 Técnica de muestreo

La técnica de muestreo empleada será no probabilística por conveniencia, ya que se seleccionarán estudios, informes y artículos que estén disponibles en las bases de datos consultadas y que resulten más relevantes para cumplir con los objetivos del proyecto. Esta técnica es adecuada para una revisión bibliográfica, donde la selección de las fuentes se basa en su accesibilidad, relevancia y calidad académica, en lugar de realizar un muestreo aleatorio o probabilístico de una población definida.

El muestreo por conveniencia permite enfocarse en aquellos documentos que aporten información valiosa y directamente aplicable al contexto de Tumaco y a los objetivos específicos de la investigación, sin necesidad de abarcar toda la literatura disponible.

6.7 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra será determinado por la cantidad de fuentes relevantes y de calidad disponibles que aborden los aspectos clave del proyecto. Se espera revisar un mínimo de 30

fuentes que incluyan estudios científicos, artículos académicos, y documentos técnicos. Este número de fuentes es suficiente para obtener una base teórica sólida y garantizar una cobertura adecuada de los temas esenciales: composición química del coco, potencial energético y reducción de gases de efecto invernadero mediante el uso de biodiésel.

El tamaño de la muestra también estará limitado por el acceso a las bases de datos académicas y la pertinencia de las fuentes encontradas en relación con el objetivo de la investigación.

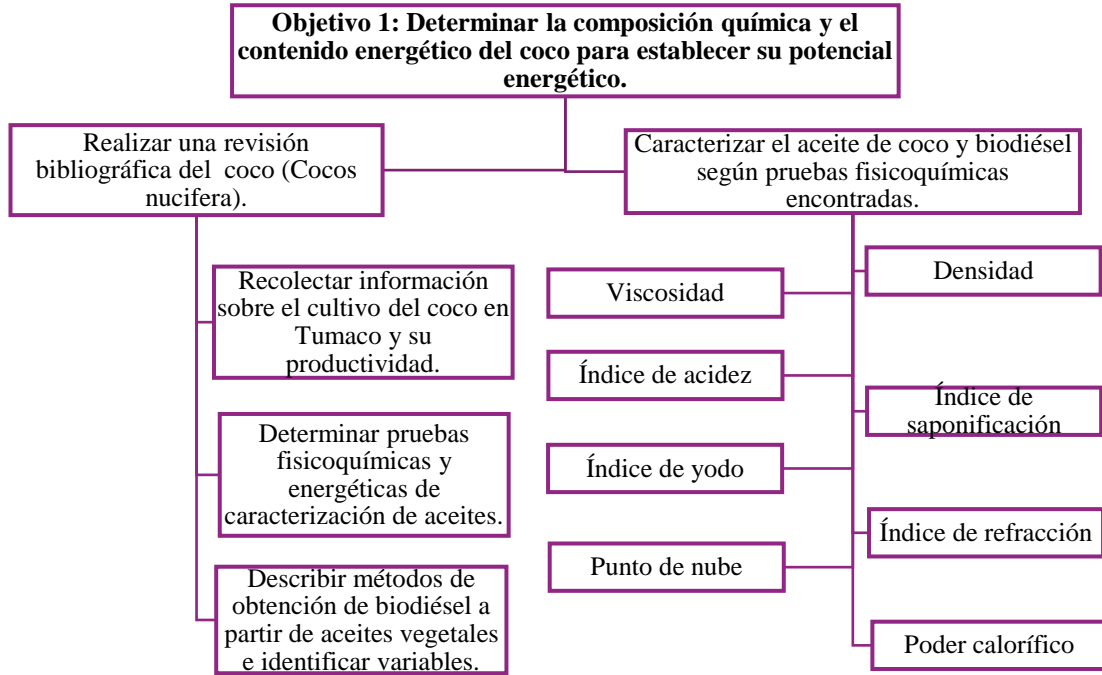
6.8 Métodos e instrumentos para la recolección de información

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos previamente planteados, para el presente proyecto se realizará una recolección bibliográfica a partir de diferentes fuentes secundarias principalmente, acerca de las generalidades del coco como materia prima para la producción de biodiésel, teniendo en cuenta datos sobre su cultivo, productividad, caracterización fisicoquímica y potencial energético tanto del aceite de coco como del biodiésel obtenido. Adicional, se realizará una descripción de las etapas correspondientes a los diferentes métodos de obtención de biodiésel, donde se tabulará y analizará la información con el fin de determinar las variables más influyentes según las condiciones de proceso utilizadas en los diferentes métodos de obtención del biocombustible. Finalmente se llevará a cabo la recolección de datos experimentales de fuentes secundarias para comparar las emisiones de gases de efecto invernadero del biodiésel versus los combustibles fósiles con base en la herramienta de análisis del ciclo de vida de los gases de efecto invernadero (GEI). Posteriormente se realizará la caracterización de la situación actual de Tumaco en cuanto a las principales fuentes que generan GEI para realizar la estimación de la cantidad de emisiones que se generan en el municipio y la situación actual de la producción y uso del biodiésel para poder determinar el impacto que tendrá su implementación en la región como alternativa energética.

Por lo anterior, para poder cumplir con el objetivo principal del proyecto se realizarán una serie de actividades por cada objetivo específico:

Diagrama 1.

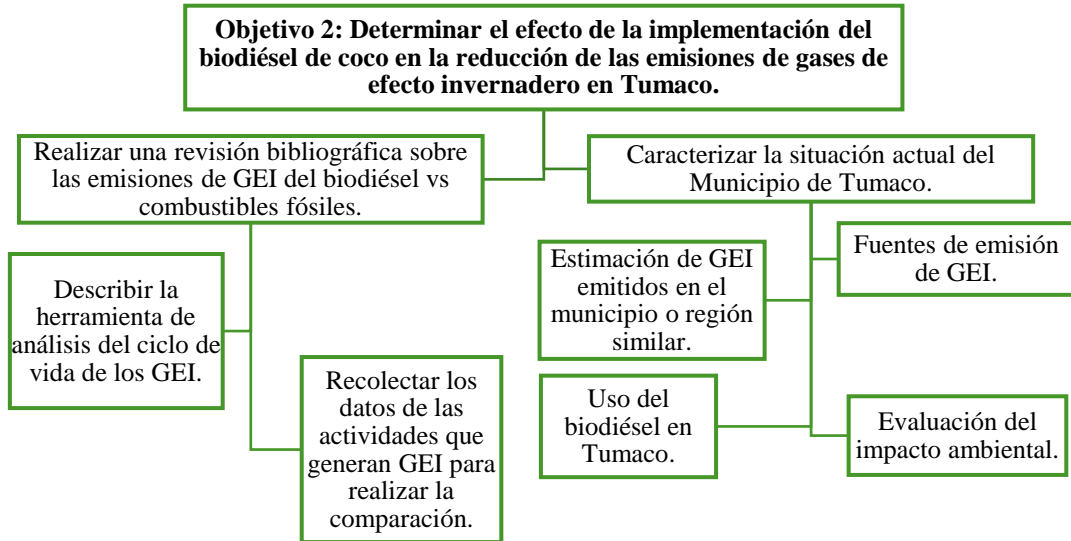
Actividades Objetivo 1



Nota: Elaboración propia

Diagrama 2.

Actividades Objetivo 2



Nota: Elaboración propia

6.9 Técnicas de análisis de datos

Las técnicas para el análisis de los datos se llevarán a cabo a partir de información recopilada de fuentes secundarias que estén relacionadas con la producción de biodiésel y la reducción que puede tener este en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Como análisis se realizará una comparación detallada del rendimiento del biodiésel frente a los combustibles fósiles convencionales en términos de eficiencia energética y su generación de GEI.

Este estudio será cuantitativo, no experimental y no de campo y estará basado en la revisión bibliográfica realizada acerca de los temas mencionados anteriormente. Los instrumentos y técnicas de análisis a utilizar se centrarán en la recopilación, revisión y evaluación de fuentes secundarias como lo son los artículos científicos, libros, informes y estudios previos. Se detalla a continuación en la siguiente tabla la descripción de cada uno de estos.

Tabla 5.

Instrumentos y técnicas de análisis de datos

Instrumento	Técnica	Descripción
Revisión bibliográfica del coco	Análisis de contenido	Se realizará la revisión de artículos científicos y documentos relacionados con la producción de biodiésel a partir del coco y cómo este cambio impacta positivamente en aspectos ambientales
Estudios previos sobre biodiésel	Análisis comparativo	Se analizará la información y se extraerá aquella que esté relacionada a los datos y resultados de investigaciones comparativas del rendimiento energético y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
Datos de organizaciones oficiales	Análisis estadístico	Se utilizarán datos de entidades gubernamentales y organizaciones ambientales sobre la producción de

		biodiésel, emisiones de GEI y estadísticas de energía.
Revisión bibliográfica sobre el ciclo de vida	Análisis del ciclo de vida (ACV)	Se analizará dentro de la literatura la información acerca de las etapas del ciclo de vida del biodiésel y de esa manera poder evaluar las diferencias en eficiencia y sostenibilidad frente a métodos convencionales
Revisión bibliográfica sobre sostenibilidad	Análisis de impacto ambiental	Se analizará dentro de la literatura de los informes de sostenibilidad del biodiésel y su potencial de reducir emisiones en comparación con combustibles fósiles. De la misma manera se tendrá en cuenta el uso del metanol en la fase de transformación, ya que este puede contribuir indirectamente a la formación de gases como el metano.

Nota: Elaboración propia

7. ANÀLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este apartado, se presentan los resultados más relevantes obtenidos a través de la revisión bibliográfica acerca del uso del coco (*Cocos nucifera* L.) como materia prima para la producción de biodiésel y su impacto en la reducción de gases de efecto invernadero en el municipio de Tumaco. Dado que el enfoque de esta investigación es cuantitativo, no de campo y no experimental, se realizó una exhaustiva revisión de la literatura científica y técnica existente. Los resultados están organizados conforme a las variables del estudio: composición química del coco, potencial energético del coco, y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de biodiésel de coco.

El coco tiene una composición en su mayoría de ácidos grasos saturados de cadena media. En la tabla 6 se describe la composición proximal del fruto del coco en base húmeda, esta tabla está basada en el reporte de varios autores en diferentes regiones del mundo.

Tabla 6.

Composición proximal del coco

Humedad (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Carbohidratos (%)	Fibra Cruda (%)	Ceniza (%)
42,2	37	7,5	12,3	14,3	10
46,6	36	3,2	3,7	10,5	-
46,9	33,49	3,33	15,23	9	-
47,3	35,5	3,6	12,6	9	1,1
47	33,5	3,9	6,22	9	0,97

Nota: Tomado de (Nutrición María Clara Restrepo Fernández Lina Marcela Zabala Toro Lizet Guiot Morales Asesor Dubán González Álvarez, n.d.)

El aceite de coco ha sido estudiado como materia prima para la producción de biodiésel debido a su composición química y su potencial energético, ya que, como se observa, este contiene un elevado porcentaje de ácidos grasos saturados, siendo el ácido láurico el principal competente. Su caracterización muestra que el ácido láurico (C12:0) en su composición constituye aproximadamente el 45%-53% de los ácidos grasos totales presentes en este aceite, seguido del ácido mirístico (C14:0) y el ácido palmítico (C16:0) (Ogbeide et al., 2022). Estos ácidos grasos son más fáciles de procesar en la transesterificación, que es la reacción química mediante la cual se produce el biodiésel a partir de aceites vegetales y gasas. Su principal ventaja es que logran mejorar la estabilidad del biodiésel, evitando que se oxide menos en comparación con los ácidos insaturados como los presentes en aceites como el de soya o el de girasol. (Gui et al., 2008)

Asimismo, el ácido láurico, debido a su estructura química facilita conversión a ésteres metílicos, lo que da lugar a un biodiésel con buenas propiedades de flujo a bajas temperaturas y mayor estabilidad oxidativa. Esto es particularmente relevante para la conservación y uso del biodiésel en climas más fríos. (Ogbeide et al., 2022) El ácido mirístico representa entre el 15% y

el 20% del contenido de ácidos grasos del aceite de coco. El ácido mirístico también es útil en la producción de biodiésel debido a su cadena corta, lo que favorece una mayor fluidez del biodiésel en comparación con ácidos grasos de cadenas más largas, como el ácido esteárico o palmítico. (Demirbas, 2009) Y por último el ácido palmítico, aunque el contenido de este ácido graso en el aceite de coco es relativamente bajo en comparación con aceites como el de palma o soya, su presencia (alrededor del 7-10%) contribuye a la viscosidad del biodiésel. (Srivastava & Prasad, 2000)

Por otro lado, el índice de saponificación del aceite de coco es generalmente alto, en un rango de 250-260 mg KOH/g, lo que refleja la presencia de ácidos grasos de cadena corta y media. Este alto índice es indicativo de la capacidad del aceite de coco para formar biodiésel con alta eficiencia de conversión durante la transesterificación. Además, el bajo índice de yodo (alrededor de 6-10 g I₂/100 g) refleja el bajo contenido de ácidos grasos insaturados, lo que contribuye a la mayor estabilidad oxidativa del biodiésel derivado del coco. (Knothe, 2010)

A la vez, posee propiedades fisicoquímicas que lo hacen una buena alternativa para la creación de biodiésel. Principalmente, su viscosidad moderada, de aproximadamente 27-35 mm²/s a 40 °C, facilita el proceso de transesterificación, asegurando una buena fluidez del biodiésel en los motores. Su densidad, que varía entre 0.915 y 0.920 g/cm³ a 20°C, es compatible con los estándares internacionales para biocombustibles, lo que contribuye a una combustión eficiente y segura. Además, el aceite de coco tiene un poder calorífico de alrededor de 37.5 MJ/kg, lo que lo convierte en una fuente de energía atractiva para la producción de biodiésel. Estas características, combinadas con su bajo índice de yodo (6-10 g I₂/100 g) que refleja una alta estabilidad oxidativa, hacen del aceite de coco una opción energética sostenible, con la ventaja de tener una mayor vida útil en almacenamiento en comparación con otros aceites vegetales. (Gui et al., 2008)

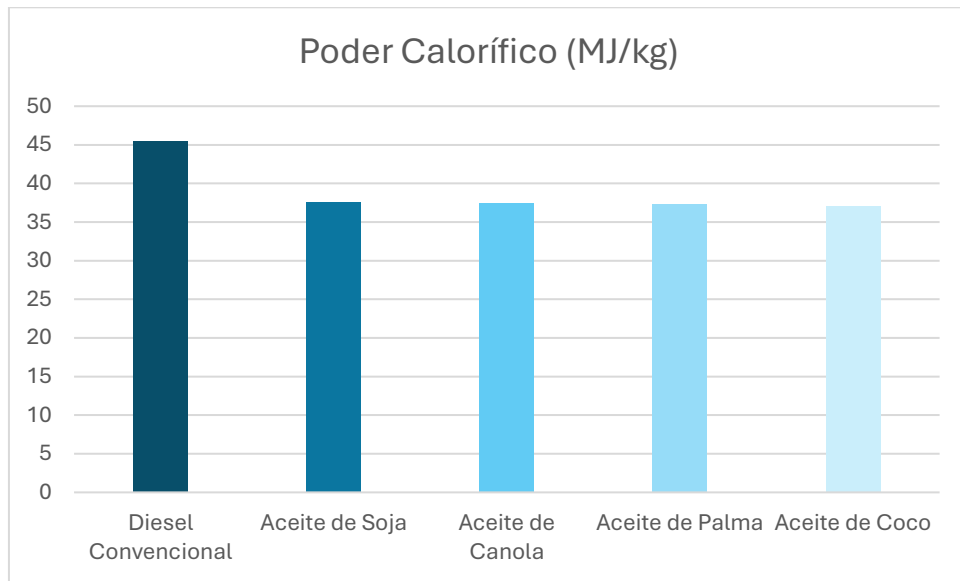
El siguiente aspecto clave de los resultados obtenidos es el potencial energético del coco, que hace referencia al valor calórico que puede obtenerse de su aceite para la producción de biodiésel. De acuerdo con los estudios analizados, el poder calorífico del aceite de coco es de aproximadamente 37.1 MJ/kg, lo que lo sitúa ligeramente por debajo de otros aceites vegetales como el de palma (37.3 MJ/kg), soja (37.6 MJ/kg), y canola (37.5 MJ/kg). A pesar de esta diferencia, la capacidad del aceite de coco para generar energía es suficientemente competitiva y

su rendimiento energético puede mejorarse mediante la optimización del proceso de transesterificación, como se ha demostrado en estudios de campo.

La Grafica 1 muestra una comparación del contenido energético de diferentes aceites vegetales utilizados para la producción de biodiésel.

Gráfica 1.

Comparación del contenido energético de aceites vegetales y diesel convencional



Nota: Elaboración propia, Adaptado de Ramos et al. (2009)

Aunque el poder calorífico del biodiésel de coco es menor al del diésel convencional, esta ligera desventaja puede ser compensada mediante la optimización de los motores y procesos de combustión, como lo sugieren varios estudios sobre biocombustibles (Demirbas, 2007). Además, el biodiésel es una fuente de energía renovable y de menor impacto ambiental. En contextos como el de Tumaco, donde existe abundancia de cocos, la producción de biodiésel local a partir de este recurso no solo resultaría en la disminución de costos de transporte y compra de combustibles fósiles, sino que también contribuiría a la autosuficiencia energética del municipio. Además, al tratarse de una energía renovable, el biodiésel de coco ofrecería un modelo de producción más sostenible, aprovechando recursos locales y disminuyendo la huella de carbono.

De acuerdo con el Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero, en el año 2012, de los 32 departamentos de Colombia, el departamento de Nariño se ubicó en la

posición número 11 con 8,39 millones de toneladas de CO2-eq de emisiones brutas, siendo Pasto, Tumaco e Ipiales los municipios con mayor aporte de emisiones (IDEAM et al., 2016). En la siguiente tabla se observa el porcentaje de participación de las emisiones brutas generadas por sector económico en Nariño, siendo el sector agropecuario el de mayor participación con un 49,74% el cual está relacionado en su mayoría con el crecimiento y resiembra de cultivos permanentes. El sector forestal aportó el 33,52% de emisiones dado el alto consumo de leña y actividades de deforestación en zonas rurales. En cuanto al sector de transporte este participó en un 10,07% representado en su mayoría por el transporte de carga y de pasajeros y el sector residencial y otros aportaron el 6,67% relacionados con la quema de combustibles y las emisiones generadas por los residuos sólidos y rellenos regionales del departamento (IDEAM et al., 2016).

Tabla 7.
Emisiones de GEI en Nariño por sector económico

Sector Económico	Participación	Kton CO2-Eq
Agropecuario	49,74%	4173
Forestal	33,52%	2812
Transporte	10,07%	845
Residencial	3,11%	261
Otros	3,56%	299

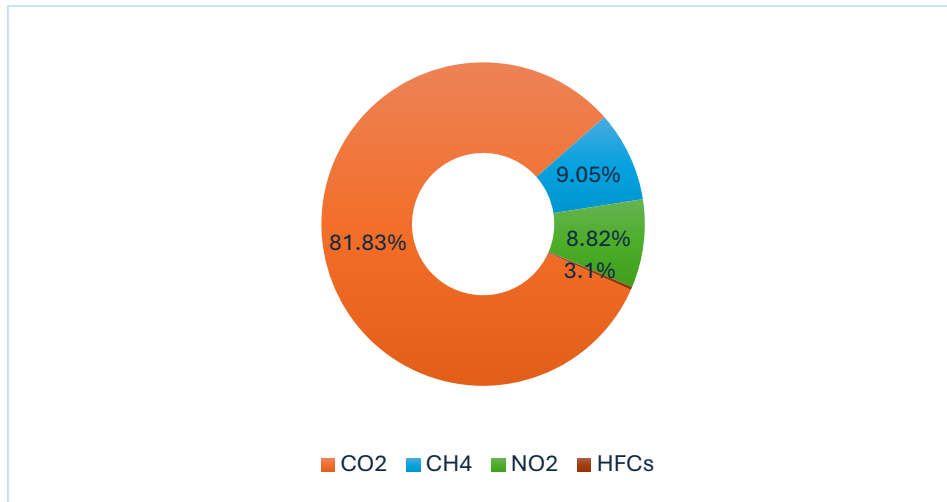
Nota: Elaboración propia adaptado de (IDEAM et al., 2016).

Del total de emisiones generadas en Nariño, es importante resaltar la participación de los diferentes gases de efecto invernadero, la cual se muestra en la siguiente gráfica, siendo el dióxido de carbono el de mayor participación dado que la actividad económica principal del departamento es la agrícola, generando cambios de uso de suelo. Adicional, Nariño es uno de los 10 departamentos de Colombia con una tasa de deforestación alta vinculada a la expansión de cultivos de uso ilícito lo cual genera la pérdida de bosques y afectación en la biodiversidad de la región (Sarmiento, 2024). En segundo lugar, se encuentran las emisiones generadas de metano relacionadas principalmente por actividades de ganadería bovina producto de su proceso digestivo, que por su estructura química tiene un efecto mayor que el dióxido de carbono ya que tiene la capacidad de atrapar más calor lo que lo hace potencialmente dañino (Apréaz et al.,

2016). En tercer lugar, se encuentra el óxido nitroso generado en suelos gestionados los cuales son ricos en materia orgánica y en cuarto lugar hidrofluorcarbonos relacionados con el uso de aire acondicionado y otros sistemas de refrigeración.

Gráfica 2.

Participación GEI en las emisiones totales de Nariño

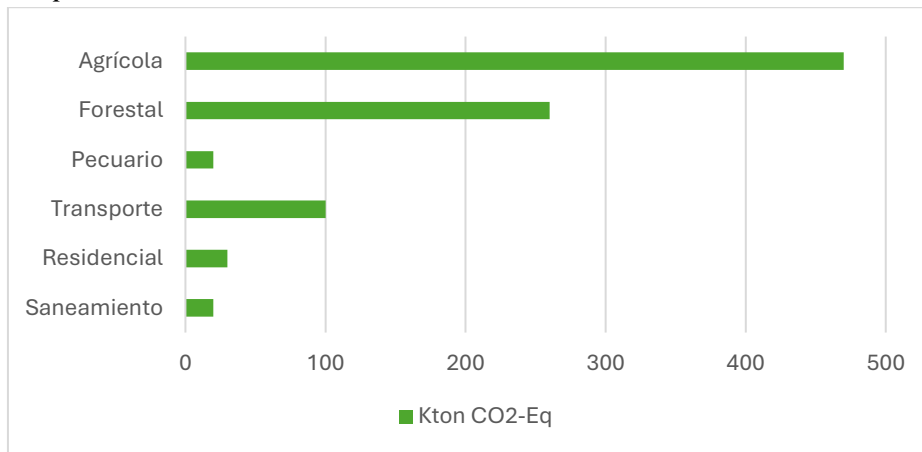


Nota: Elaboración propia adaptado de (IDEAM et al., 2016).

Con respecto al municipio de Tumaco, las emisiones generadas en el año 2012 fueron de aproximadamente 900 Kton CO2-Eq según lo indicado en el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial de Nariño.

Gráfica 3.

Emisiones municipio de Tumaco 2012.



Nota: Elaboración propia, adaptado de (GOBERNACIÓN DE NARIÑO, 2019).

En la gráfica se observa que el sector agrícola y forestal son los de mayor participación, pues Tumaco es el segundo municipio en el país con 14780 hectáreas sembradas de cultivos de coca (Granados, 2023), que desde los años 2000 ha sufrido la afectación de cultivos tradicionales y contaminación de fuentes hídricas debido al uso del glifosato para erradicar los cultivos ilícitos generando pérdida de cobertura vegetal lo cual se traduce en una disminución de la absorción de del carbono y la liberación de carbono almacenado cuando los bosques se talan o se queman. Esto ha impulsado proyectos productivos entorno al uso sostenible de cultivos en los cuales se destacan productos como el cacao y el coco los cuales han permitido el reemplazo de más de 2000 hectáreas de coca en el municipio (Barbosa, 2019). En cuanto al sector transporte, este tuvo un aporte importante de emisiones de CO₂-Eq correspondientes a 100 Kton de CO₂-Eq aproximadamente. En este sentido, el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) en alianza con una compañía de gas, ejecutaron el proyecto “NautiGLP – Pacífico Sostenible” el cual consistió en reemplazar los motores a gasolina con los que cuentan las embarcaciones pesqueras en Tumaco, por motores que funcionan con gas licuado de petróleo, los cuales han beneficiado a los pescadores de la región debido a una reducción en el costo del combustible, motores mas eficientes y la reducción de gases de efecto invernadero estimada de 180 Ton de CO₂ anuales (Caro, 2024).

La Gobernación de Nariño en el marco de la Política Nacional de Cambio Climático tiene como estrategia la promoción de energías alternativas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la región (GOBERNACIÓN DE NARIÑO, 2019). En Tumaco, la generación de biocombustibles a partir de materias primas agrícolas ha tomado fuerza teniendo en cuenta la gran variedad de cultivos que se encuentran en el territorio. El uso de residuos agrícolas para la generación de biocombustibles ha sido fundamental para el crecimiento de la agroindustria, pues se busca aprovechar estos residuos realizando transformaciones fisicoquímicas para obtener fuentes alternativas de energía y que los habitantes y el medio ambiente sean los principales beneficiados. Un ejemplo de esto es el aprovechamiento de cascaras de coco para la producción de biogás debido a su alto contenido de lignina, la cual es resistente a la degradación dado su alto contenido de carbono, lo que hace que tenga un gran potencial energético (Tooy et al., 2014). El biogás puede ser utilizado en el sector energético o para la generación de calor en sistemas de combustión a gas en el sector residencial.

En el sector de transporte, el uso del biodiésel de coco para el municipio de Tumaco presenta gran relevancia dado su potencial energético para uso en motores diésel descrito anteriormente. De acuerdo con esto, algunas investigaciones se han enfocado en evaluar las características de las emisiones generadas con el uso del aceite de coco mezclado con diésel convencional en busca de alternativas para contribuir con el medio ambiente, dado que el diésel convencional es un combustible fósil que tiene gran cantidad de compuestos aromáticos y azufre que generan contaminación ambiental, produciendo mayor cantidad de material particulado, hidrocarburos no quemados debido a la combustión incompleta, óxidos de nitrógeno y de azufre y dióxido de carbono (Kalam et al., 2003).

Una de las investigaciones realizadas en Malasia utilizando un motor diésel de inyección indirecta alimentado con mezclas de biodiésel de coco y diésel convencional, mostró como resultado que a medida que aumentaba la cantidad de biodiésel de coco en las mezclas, las emisiones de escape en cuanto a hidrocarburos no quemados (HC), humo y monóxido de carbono (CO) disminuían debido a la cantidad de oxígeno contenido en el aceite de coco, generando combustión completa (Kalam et al., 2003). Adicional, se redujeron los óxidos de nitrógeno (NO_x) al manejar una combustión a una temperatura baja. Sin embargo, en esta investigación se evidenció que en términos de CO₂, a medida que aumentaba la cantidad de biodiésel en las mezclas, las emisiones aumentaban a causa del contenido de oxígeno en el aceite. En cuanto a los hidrocarburos aromáticos policíclicos, estos también se redujeron a medida que aumentaba la cantidad de aceite de coco en las mezclas, dado que en general el biodiésel contiene menos compuestos aromáticos que el diésel convencional y además no contiene azufre, lo que también reduce las emisiones de material particulado y óxidos de azufre (Gutierrez et al., 2015).

Los resultados de otra investigación donde se determinaron las características de combustión y emisión de biodiésel a base de coco en un quemador de combustible líquido arrojaron que la composición química del biodiésel de coco mejoró la eficiencia de la combustión a temperaturas más bajas. Adicional, el aumento en el contenido del biodiésel de coco en las mezclas de diésel redujo las emisiones de NO_x, ya que el biodiésel a base de coco se compone por cadenas hidrocarbonadas más cortas que las del diésel convencional, lo que dará como resultado una temperatura de llama más baja disminuyendo la formación de NO_x hasta en un 18,03% menos

que el diésel, en la mezcla de 25% biodiésel de coco y 75% diésel convencional (B25) (Abdul et al., 2017). En cuanto a las emisiones de SOx, su formación incrementaba a medida que la temperatura y la cantidad de oxígeno aumentaban, sin embargo, en condiciones estequiométricas la mezcla B25 redujeron las emisiones en un 53.85% comparado con el diésel convencional. Finalmente, las emisiones de CO se redujeron considerablemente en un 90.48% dado que el diésel convencional produjo 21 ppm de CO y la mezcla B25 1 ppm de CO, resaltando su potencial en la reducción de emisiones de gases dañinos al ambiente (Abdul et al., 2017).

Los estudios anteriores mostraron el uso del biodiésel de coco como alternativa para ser usado en mezclas con el diésel convencional en motores diésel sin alguna modificación, debido a que presenta propiedades cercanas a las del combustible fósil (Musa et al., 2016). Adicional, la caracterización de las emisiones de las diferentes mezclas, indicaron una reducción significativa de gases como el COx, SOx, HC y NOx en comparación con el diésel convencional, lo cual indica su viabilidad para ser utilizado en el municipio de Tumaco en el sector de transporte como aliado para la reducción de emisiones.

8. CONCLUSIONES

- El análisis bibliográfico realizado confirma que el coco (*Cocos nucifera* L.) es una materia prima viable para la producción de biodiésel gracias a su composición rica en ácidos grasos saturados y su contenido energético (37.1 MJ/kg), comparable con otros aceites vegetales, así las cosas, estas características identificadas, junto con su disponibilidad en Tumaco, lo posicionan como una alternativa sostenible para generar energía renovable y contribuir a la reducción de emisiones contaminantes.
- El análisis de las propiedades del aceite de coco evidencia su gran potencial para la producción de biodiésel en la región de Tumaco. Sus características, como la estabilidad oxidativa, un adecuado poder calorífico y una composición química favorable, lo posicionan como un recurso eficiente y sostenible para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el aprovechamiento del residuo de coco no solo genera un beneficio energético, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y económica de la región, promoviendo

un modelo de economía circular.

- El cultivo de coco se presenta como una alternativa sostenible para Tumaco, ya que fomenta el aprovechamiento de recursos agrícolas locales. Las cáscaras de coco se utilizan para la producción de biogás, mientras que la pulpa se emplea en la obtención de biodiésel. Esta práctica contribuye a la transición hacia fuentes de energía más limpias y reduce la dependencia de los combustibles fósiles, promoviendo así la sostenibilidad ambiental de la región. Además, impulsa el desarrollo de la agroindustria local, beneficiando directamente a los habitantes del municipio.
- El uso de biodiésel de coco en mezclas con diésel convencional ayudaría significativamente a reducir las emisiones de gases contaminantes en Tumaco en el sector transporte. La implementación de biodiésel de coco en motores diésel ha demostrado reducir las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), material particulado y óxidos de nitrógeno (NOx), gracias a su capacidad para generar una combustión más eficiente y completa. Además, la ausencia de azufre en el biodiésel se traduce en una menor cantidad de contaminantes atmosféricos, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire en el municipio.

9. RECOMENDACIONES

- Promover la producción y el uso de biocombustibles en el municipio de Tumaco a partir de productos agrícolas sostenibles propios de la región, a través de programas de capacitación dirigidos a agricultores, ganaderos y comunidades. Estos programas deben centrarse en el aprovechamiento de cultivos dentro del marco agroindustrial, incorporando prácticas sostenibles, manejo eficiente de recursos y gestión de residuos, con el objetivo de facilitar la transición hacia una economía baja en carbono, al tiempo que se generan puestos de trabajo y crecimiento en la región.
- Fomentar alianzas estratégicas entre el sector público, empresas privadas y otras instituciones para desarrollar sistemas de monitoreo de emisiones más robustos en todos

los sectores, con el propósito de obtener datos confiables en ciertos rangos de tiempo que permitan evaluar la efectividad de las políticas implementadas en los proyectos de reducción de emisiones.

- Se recomienda evaluar la rentabilidad ambiental, económica y social de la producción de biodiésel a partir del coco en el municipio de Tumaco y desarrollar políticas que incentiven su producción y uso para promover tecnologías sostenibles que permitan aprovechar eficientemente este recurso.

10. REFERENCIAS

- Abdul, M., Mohamad, A., Mohd, I., Mohd, M., & Mohamad, A. (2017). Combustion and Emission Characteristics of Coconut-Based Biodiésel in a Liquid Fuel Burner. *Energies*, 10(458). <https://doi.org/doi:10.3390/en10040458>
- Ahmad, A. F., Zulkurnain, N., Rosid, S. J. M., Azid, A., Endut, A., Toemen, S., Ismail, S., Abdullah, W. N. W., Aziz, S. M., Yusoff, N. M., Rosid, S. M., & Nasir, N. A. (2022). Catalytic Transesterification of Coconut Oil in Biodiésel Production: A Review. In *Catalysis Surveys from Asia* (Vol. 26, Issue 3). <https://doi.org/10.1007/s10563-022-09358-8>
- Alarcón, A. (2017). *Plan de suministro energético en San Andrés De Tumaco* [Universidad De Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0cdfde1a-7bc7-46f0-91bd-8eda4d05b729/content>
- Apráez, J., Delgado, D., & Solarte, C. (2016). Evaluación In vitro de la producción de metano en variedades de pastos neozelandeses del altiplano de Nariño. *VeterinariayZootecnia*, 10(2), 90–105.
- Ayeter, G. K., Sunnu, A., & Parbey, J. (2015). Performance evaluation of biodiésel-biodiésel blends in a dedicated CIDI engine. *International Journal of Renewable Energy Research*, 5(1), 168–176. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v5i1.1873.g6482>
- Barbosa, F. (2019, July 15). *Colombia: cultivos tradicionales reemplazan a la coca en Tumaco*. MONGABAY. <https://es.mongabay.com/2019/07/colombia-cultivos-tradicionales-ayudan-a-recuperar-territorio-afectado-por-la-coca-en-tumaco/>
- Caro, R. (2024, October 10). *Proyecto de NautiGLP, combustible para embarcaciones a base de Gas LP, benefició a comunidad de pescadores en Tumaco*. GASNOVA. <https://www.gasnova.co/proyecto-de-nautiglp-beneficio-a-comunidad-de-pescadores-en-tumaco/>

- DebMandal, M., & Mandal, S. (2011). Coconut (*Cocos nucifera* L.: Areaceae): In health promotion and disease prevention. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(3), 241–247. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60078-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60078-3)
- Demirbas, A. (2007). Importance of biodiésel as transportation fuel. *Energy Policy*, 35(9). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.04.003>
- Demirbas, A. (2009). Biodiésel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. *Energy Conversion and Management*, 50(4), 923–927. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.12.023>
- Encinar, J. M., González, J. F., Pardal, A., & Martínez, G. (2010). Rape oil transesterification over heterogeneous catalysts. *Fuel Processing Technology*, 91(11). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.05.034>
- FAO. (2020). *Coconut production statistics*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org>
- Fernanda Barbosa. (2019, June 15). *Cultivos tradicionales reemplazan a la coca en Tumaco*. <https://Es.Mongabay.Com/2019/07/Colombia-Cultivos-Tradicionales-Ayudan-a-Recuperar-Territorio-Afectado-Por-La-Coca-En-Tumaco/>.
- Flórez, L., Suárez, D., & Vargas, L. (2020). *Estrategias de fortalecimiento de la cadena de valor de los productores agrícolas de coco en Tumaco* [Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1555&context=finanzas_comercio
- GOBERNACIÓN DE NARIÑO. (2019). *Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial de Nariño - PIGCCT NARIÑO, Nariño actúa por el clima 2019-2035*.
- Gomes, V., & Faria, A. (2020). Limits on Use of Diesel in Brazil: Measurement of Increase of Biodiésel in Mitigation of GHG. *Studies of Applied Economics*, 31, 171. <https://doi.org/10.25115/eea.v31i1.3265>
- Granados, J. (2023, September 12). *El área sembrada con coca en Colombia llega a 230 000 hectáreas y alcanza su máximo histórico*. MONGABAY. <https://es.mongabay.com/2023/09/area-sembrada-con-coca-en-colombia-aumenta-estudio/>
- Gui, M. M., Lee, K. T., & Bhatia, S. (2008). Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiésel feedstock. *Energy*, 33(11), 1646–1653. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.06.002>
- Gutierrez, J., Miranda, J., Palacios, R., & Castellanos, C. (2015). Producción de combustible Biodiésel alternativo sustentable con biomasa y aceite de coco. *Revista de Energía Química y Física*, 2(3), 330–337. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol2num3/Re

vista%20de%20Energ%C3%ADa%20Qu%C3%ADmica%20y%20F%C3%ADsica%20V2%20N3_4.pdf

- IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLEÍA. (2021). *Tercer Informe Bienal de Actualización de Cambio Climático de Colombia (BUR3) dirigido a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*.
<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLEÍA. (2016). . *Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero Colombia*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.
- Kalam, M., Husnawan, M., & Masjuki, H. (2003). Exhaust emission and combustion evaluation of coconut oil-powered indirect injection diesel engine. *Renewable Energy*, 28(15), 2405–2415. [https://doi.org/doi:10.1016/s0960-1481\(03\)00136-8](https://doi.org/doi:10.1016/s0960-1481(03)00136-8)
- Kannan, R., Sampath, S., Ramalingam, S., Nedunchezhiyan, M., Dillikannan, D., & Jayabal, R. (2024). Optimization and synthesis process of biodiésel production from coconut oil using central composite rotatable design of response surface methodology. *Journal of Process Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1177/09544089241230251>
- Keasavan, T., Dzilalu, A., Mohd, N., Binti Wan, W. N., & Mat, S. (2023). Catalytic Conversion of Coconut Pulp into Biodiésel through Transesterification using Calcium Oxide-Based Catalysts. *Malaysian Journal of Chemistry*, 25(4), 123–124.
<https://doi.org/https://doi.org/10.55373/mjchem.v25i4.123>
- Knothe, G. (2010). Biodiésel and renewable diesel: A comparison. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3), 364–373.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.004>
- La Fundación Julio y Astrida Carrizosa. (2022). *Producción de sustrato y fibra de coco en Tumaco*. <https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/proyectos/200.pdf>
- Llanes, E., Rocha, J., Salazar, P., & Medrano Johanna. (2017). Producción e impacto del biodiésel: una revisión. *INNOVA Research Journal*, 2(7), 59–76.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33890/innova.v2.n7.2017.229>
- Muhammed, M., & Shaija, A. (2023). Biodiésel production from coconut waste cooking oil using novel solar powered rotating flask oscillatory flow reactor and its utilization in diesel engine. *Thermal Science and Engineering Progress*, 40(1).
- Musa, N., Teran, G., & Yaman, S. (2016). Emission Characterization of Diesel Engine Run on Coconut Oil Biodiésel its Blends and Diesel . *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 20(2), 303–306. <https://doi.org/10.4314/jasem.v20i2.10>

- Nutrición María Clara Restrepo Fernández Lina Marcela Zabala Toro Lizet Guiot Morales
Asesor Dubán González Álvarez, A. Y. (n.d.). *ACEITE DE COCO: CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y POSIBLES APORTES A LA SALUD HUMANA* trabajo de grado para optar al título de Especialista en.
- Ogbeide, O., Omorotionmwan, E., Igenumah, O., Ifijen, I., & Akhigbe, I. (2022). *Comparative Analysis on Physicochemical Properties and Chemical Composition of Coconut and Palm Kernel Oils 1**. 13, 70–75.
- Olguer Emilio Girón. (2012). *Aprovechamiento artesanal del coco en el municipio de Tumaco Nariño : informe final*. <http://sired.udenar.edu.co/id/eprint/3128>
- Ramos, M. J., Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., & Pérez, Á. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, 100(1). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.039>
- Rouhany, M., & Montgomery, H. (2019). *Global Biodiesel Production: The State of the Art and Impact on Climate Change: From Production to Combustion* (pp. 1–14). https://doi.org/10.1007/978-3-030-00985-4_1
- Sarmiento, J. (2024, July 31). Con imágenes satelitales monitorean pérdida de bosque en Nariño. *AgenciaUNAL*.
- Schuchardt, U., Sercheli, R., & Vargas, R. M. (1998). Transesterification of vegetable oils: A review. In *Journal of the Brazilian Chemical Society* (Vol. 9, Issue 3). <https://doi.org/10.1590/S0103-50531998000300002>
- Srivastava, A., & Prasad, R. (2000). Triglycerides-based diesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 111–133. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(99\)00013-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00013-1)
- Tooy, D., Nelwan, L., & Pangkerego, F. (2014, June). Evaluation of Biomass Gasification Using Coconut Husks in Producing Energy to Generate Small-Scale Electricity. *Int'l Conference on Artificial Intelligence, Energy and Manufacturing Engineering*. https://www.researchgate.net/publication/265779695_Evaluation_of_Biomass_Gasification_Using_Coconut_Husks_in_Producing_Energy_to_Generate_Small-Scale_Electricity/citation/download
- UPRA. (2024). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales 2019-2023*. <https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva.aspx>
- Vidal-Benavides, A. I., Díaz, J. C. Q., & Herrera-Orozco, I. (2017). Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado. *DYNA (Colombia)*, 84(201), 155–162. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.54469>