



TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Área Académica Agroforestal

Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

Trabajo Final Graduación sometido al Tribunal del Área Académica Agroforestal del Tecnológico de Costa Rica para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

**Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de los materiales con potencial de uso como biocombustible en la planta extractora de aceite de palma
Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. bajo el estándar internacional ISCC 205**

Versión 4.0

José Ignacio Castro García

Campus Tecnológico Central Cartago, Costa Rica

Octubre, 2022

Hoja de Aprobación del Trabajo Final de Graduación

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

Ing. Laura Quesada Carvajal, MDA

Profesor Tutor

Ing. Rooel Campos Rodríguez, Ph.D

Profesor Lector

Ing. Dagoberto Arias Aguilar, Ph.D

Presidente de Tribunal

Coordinador del Área Académica Agroforestal

José Ignacio Castro García

Sustentante

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora Ing. Laura Quesada, por todo el apoyo, compromiso y paciencia durante la elaboración de este proyecto.

A Carlos Playa, por ser mi mejor amigo e impulsarme a dar lo mejor de mí cada día.

A Ing. Sergio García, por sus enseñanzas, oportunidades, por creer en mí y apoyarme en cada momento.

A Ing. Alfredo Villavicencio, por la oportunidad brindada de crecer profesionalmente.

A Julio Chinchilla, Stephanie Calvo y Miguel García, por su ayuda con los datos de entrada para el cálculo de las emisiones.

A mis amigos Kendall Vargas, Lorena Cordero, Adrián Murillo, Joseline Araya y Carlos Morera por todo su apoyo.

A Enderson Vividea y Mark Rivera, amigos y compañeros de trabajo.

A mis compañeros de maestría Pablo Rodríguez, Eduardo Alvarado, David García, Luis Martínez y Pablo Gómez, por todas las experiencias tan enriquecedoras que compartimos durante este proceso.

A Charlyn Masís y Daniela Alpízar, por su amistad, compañerismo y equipo de trabajo durante toda la maestría, se les aprecia.

A cada uno de los profesores que fueron parte de esta formación académica.

A mi familia, por estar ahí en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Problema de investigación y su importancia.	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Desarrollo Sostenible.....	4
2.1.1. Sostenibilidad.....	5
2.2. Biocombustibles.....	6
2.2.1. Cálculo de las emisiones GEI en el ciclo de vida de los biocombustibles.....	7
2.3. ISCC.	8
2.3.1. Criterios de sostenibilidad de ISCC.	9
2.3.2. ISCC 205 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Versión 4.0.....	9
2.3.3. ISCC Modelo Balance de Masas.....	10
2.3.4. Materiales elegibles para la certificación ISCC.	10
2.3.5. Alcances y referencias normativas.....	13
2.4. La palma aceitera.	14
2.4.1. Potencial como biocombustible.	16
2.4.2. Fuentes de emisión en el cultivo de palma aceite y extracción de productos.	16
2.5. Emisiones de nitrógeno en suelos agrícolas.....	17
3. MARCO METODOLOGICO	18
3.1. Enfoque y tipo de investigación.....	18
3.2. Marco espacial.	18
3.3. Marco temporal.....	19

3.4.	Estimación del inventario de GEI.....	19
3.4.1.	Metodología estándar aplicada para la estimación.....	19
3.4.2.	Metodología de cálculo del inventario de GEI.....	20
3.5.	Cálculo del factor de balance de masas.	25
3.6.	Distribución de las emisiones para productos y coproductos intermedios.	26
3.7.	Cálculo de ahorro de emisiones GEI.	27
3.7.1.	Comparación de los ahorros de emisiones obtenidos con respecto a los valores establecidos por la RED II.....	28
3.8.	Identificación de opciones de mejora y reducción de las emisiones en la operación productiva.	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1.	Identificación de las fuentes emisoras de CO ₂ eq.....	30
4.2.	Cálculo de las emisiones de CO ₂ eq bajo el estándar ISCC.....	32
4.2.1.	Resultado de la estimación de emisiones de CO ₂ eq por elemento.....	33
4.2.1.	Resultado consolidado de la estimación de emisiones de CO ₂ eq.....	36
4.2.2.	Distribución de las emisiones de CO ₂ eq por tipo de biocombustible.	37
4.2.3.	Ahorro de emisiones por tipo de biocombustible.....	39
4.3.	Opciones de mejora para la reducción de emisiones de GEI.	42
4.3.1.	Tratamiento del POME.	42
4.3.2.	Aplicación de fertilizante químico.	43
4.3.3.	Incorporación de la reducción de emisiones por buenas prácticas agrícolas (e _{sca}) a la fórmula del cálculo.	45
4.3.4.	Migración al modelo de segregación física.....	46
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1.	Conclusiones.....	48
5.2.	Recomendaciones.	49
6.	REFERENCIAS	50
7.	ANEXOS	55
8.	APÉNDICES.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones de la sostenibilidad empresarial. Fuente: Mihajlovi et al. (2018).	5
Figura 2. Proceso de producción de biocombustible. Fuente: Silalertruksa & Kawasaki (2015).	7
Figura 3. Productos certificados con ISCC en el mundo. Fuente: Schmitz (2019).....	8
Figura 4. Manejo de producto certificado como sostenible bajo el modelo de balance de masas. Fuente: ISCC System GmbH (2019).	10
Figura 5. Proceso para determinar si un material es producto o residuos de acuerdo con ISCC. Fuente: ISCC System GmbH (2018).	11
Figura 6. Pasos para la declaración de emisiones en la cadena de suministro agrícola para un biocombustible. Fuente: ISCC System GmbH (2021b).	12
Figura 7. Alternativas del uso integral de los productos y subproductos industriales y biotecnológicos reportados para el fruto de la palma africana. Fuente: Sierra et al. (2017).	15
Figura 8. Fuentes y vías del N provocadas por las emisiones directas e indirectas de N ₂ O de suelos y aguas. Fuente: IPCC (2019).	17
Figura 9. Ubicación del área en estudio.	19
Figura 10. Elementos de la fórmula de emisiones dentro del alcance de investigación.....	31
Figura 11. Distribución de las emisiones de cultivo e_{cc}	34
Figura 12. Distribución de las emisiones del proceso e_p	35
Figura 13. Distribución de las emisiones de transporte e_{td}	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Algunos Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus metas al 2030 relacionados con el presente estudio.	4
Cuadro 2. Materiales que se pueden certificar como productos acuerdo con ISCC.	11
Cuadro 3. Valores de referencia de emisión de combustible fósil para el cálculo de ahorro de emisiones por el uso de biocombustibles.	13
Cuadro 4. Porcentaje mínimo de ahorro que deben tener las empresas que operan en la Unión Europea según los lineamientos de la RED II.	14
Cuadro 5. Productos derivados del cultivo de palma aceitera y su potencial calorífico (LHV).	16
Cuadro 6. Criterio de significancia respecto al porcentaje de emisiones de CO ₂ eq de cada fuente emisora de GEI.	29
Cuadro 7. Justificación del descarte de elementos de la ecuación para el cálculo de GEI en la producción de biocombustible.	30
Cuadro 8. Fuentes emisoras de CO ₂ eq identificadas en la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. durante la operación en el año 2021.	31
Cuadro 9. Resultados de la estimación de CO ₂ eq para el año 2021.	33
Cuadro 10. Resultados de la estimación de CO ₂ eq por fuente generadora para el año 2021.	37
Cuadro 11. Estimación de la energía total producida por el aceite crudo de palma, aceite crudo de almendra y harina de almendra para el año 2021.	38
Cuadro 12. Emisiones de GEI totales anuales asignadas para la producción de aceite crudo de palma, aceite crudo de almendra y harina de almendra.	39
Cuadro 13. Porcentajes de reducción de emisiones GEI de los productos con potencial de biocombustible de acuerdo con el estándar internacional ISCC V 4.0.	41
Cuadro 14. Factores de conversión para el cálculo de CO ₂ eq de acuerdo con el tipo de laguna de tratamiento de POME.	43
Cuadro 15. Emisiones de CO ₂ eq vinculadas al uso de fertilizantes químicos.	43

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
CPO	Aceite crudo de palma
CSA	Carbono actual en el suelo en kilogramos por hectárea
CSR	Reserva de carbono en el suelo antes de convertirse en tierra agrícola
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EF	Factor de emisión
EFB	Racimos vacíos de palma aceitera (que ya no tienen frutos)
EM	Emisiones
GEI	Gases de efecto invernadero
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
ISCC	Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono
LHV	Potencial calórico inferior
N	Nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
PKE	Harina de almendra
PKO	Aceite crudo de almendra
POME	Efluente de la planta extractora de aceite de palma
RED II	Directiva Europea de Energías Renovables
RFF	Racimos de fruta fresca de palma aceitera
Ton	Tonelada métrica
UE	Unión Europea
WFD	Directiva Marco de Residuos

RESUMEN

En el sector energético se ha evidenciado la necesidad de migrar a nuevas fuentes de energía más amigables con el medio ambiente, y que esto sea demostrable mediante normas de certificación. En este trabajo se desarrolló el inventario de gases de efecto invernadero para el año 2021 en la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. ubicada Quepos, Costa Rica, mediante la metodología del estándar internacional para biocombustibles ISCC en el apartado 205 versión 4.0 obteniendo como resultado la identificación de 11 fuentes de emisión las cuales en total emitieron un estimado de 21 859 toneladas de CO₂eq.

Se obtuvo una asignación por contenido energético para los productos con potencial de biocombustible de 793 kg CO₂eq/Ton base seca para el aceite crudo de palma y el aceite crudo de almendra y 350 kg CO₂eq/Ton base seca para la harina de almendra. A nivel del cálculo de los porcentajes de ahorro, estos cumplieron con los mínimos establecidos según los lineamientos de la RED II.

El POME fue la principal fuente de emisiones de GEI, con un 62,05% del total CO₂eq emitido, como opción para reducir las emisiones de este tipo se recomienda encarar las lagunas de tratamiento para capturar el metano y aprovecharlo como fuente energética, reduciendo esta emisión en su totalidad, además se identificaron otras opciones para reducir emisiones como una gestión adecuada de los programas de fertilización así como la medición de carbono en el suelo para incorporar este apartado en los ahorros de emisiones por buenas prácticas agrícolas.

Palabras clave: Gas de efecto invernadero, biocombustible, aceite de palma, estándar internacional.

ABSTRACT

The need to migrate to new energy sources that are friendlier to the environment has become evident in the energy sector and this has been demonstrated through certification standards. In this project the inventory of greenhouse gases for the year 2021 was improved in the Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. located in Quepos, Costa Rica, through the methodology of the international standard for biofuels ISCC section 205 version 4.0, obtaining as a result the identification of 11 emission sources which in total emitted an estimated 21 859 tons of CO₂eq.

An energy content adjuster was obtained for products with biofuel potential of 793 kg CO₂eq/ton dry for crude palm oil and palm kernel oil and 350 kg CO₂eq/ton dry for palm kernel expeller. At the level of the calculation of the percentages of savings, these complied with the minimum established according to the guidelines of the RED II.

The Palm Oil Mill Effluent (POME) was the main source of GHG emissions, with 62.05% of the total CO₂eq emitted. As an option to reduce emissions of this type, it is recommended to cover the treatment lagoons to capture the methane and use it as an energy source, minimizing this emission in its entirety. Other options were also identified to reduce emissions such as proper management of fertilization programs as well as the measurement of carbon in the soil to incorporate this section in the emission savings due to good agricultural practices.

Keywords: Greenhouse gas, biofuel, palm oil, international standard.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

En la actualidad, las industrias se han visto en la necesidad de implementar normas relacionadas con criterios enfocados en sostenibilidad. Las tendencias de mercado hacen que las empresas ajusten su proceso de producción con miras hacia la responsabilidad ambiental y social resguardando la viabilidad económica y generando progreso y bienestar.

Dado el impacto en el ambiente que genera la producción agrícola, el cálculo de la huella de carbono ha tomado relevancia debido a que funciona para estimar la emisión de CO₂eq, determinar parámetros de aceptabilidad y a partir de esto establecer planes y metas que conlleven a disminuir el flujo volumétrico de las emisiones gaseosas que genere el proceso productivo.

Para hacer la estimación del inventario de GEI se han diseñado metodologías que se ajusten a diferentes sectores. En el caso de los biocombustibles se ha diseñado la norma de certificación ISCC (Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono, por sus siglas en inglés), la cual establece criterios que deben cumplir las entidades que quieran ingresar al mercado de los biocombustibles con certificación en sostenibilidad y las emisiones de CO₂eq forma parte de la declaración de sostenibilidad del producto certificado.

La agroindustria relacionada con la producción y extracción de aceite de palma ha tenido un auge en los últimos años debido no solo a la importancia de este producto en el mercado como materia prima para alimentos de consumo humano, sino también como una potencial fuente de energía tanto por la capacidad calórica de sus productos y de los residuos biomásicos que se generan durante el proceso industrial.

Para ingresar en el mercado de los biocombustibles sostenibles, la agroindustria de palma aceitera ha incursionado en la implementación del estándar internacional ISCC en sus sistemas de gestión, lo que le permite demostrar su compromiso con la sostenibilidad, así como asegurar los controles respectivos durante la fase de cadena de suministro bajo su responsabilidad.

El presente trabajo se ha desarrollado en la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A., en la planta extractora de aceite de palma Planta Naranja, ubicada en Llorona, Quepos, utilizando la metodología del estándar internacional ISCC 205 versión 4.0. bajo el modelo de cadena de suministro de balance de masas.

1.2. Problema de investigación y su importancia.

El problema de investigación está enfocado en que cada vez los mercados relacionados con la cadena de suministro del aceite de palma son más exigentes en cuanto al tema de la sostenibilidad, por lo que se vuelve necesario implementar mecanismos de métrica de los impactos negativos de la operación y establecer medidas que conlleven a mitigar estos impactos, principalmente sobre los recursos naturales, y en el caso de la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. no cuenta con este tipo de métrica, por lo que le resta competitividad en el mercado y no se tienen identificadas las principales fuentes de emisión de GEI en su proceso, por lo que no se puede definir el plan a seguir con el fin de reducir el impacto negativo que posee la operación actual sobre los recursos naturales.

La importancia de la investigación va enfocada en dos ejes: el cálculo de las emisiones de carbono forma parte del esquema para obtener la certificación internacional ISCC, la cual permite demostrar la sostenibilidad en los procesos de producción de biocombustibles, dado el auge en los últimos tiempos de migrar a sistemas energéticos que promuevan un ambiente más limpio, además, con el trabajo se pretende identificar las principales fuentes de emisión de GEI y a partir de esto, determinar potenciales mejoras vinculadas en la producción y proceso que conlleven a una disminución de estos de acuerdo con las tendencias actuales, de esta forma mitigar el impacto al ambiente del proceso productivo.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Estimar el inventario de gases de efecto invernadero mediante la norma de certificación internacional para biocombustibles ISCC en el apartado 205 versión 4.0. en el proceso de producción de aceite crudo de palma y coproductos en Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. ubicada en Llorona, Quepos, Costa Rica.

1.3.2. Objetivos Específicos.

Identificar las fuentes emisoras de gases de efecto invernadero en el proceso de producción de aceite de palma en Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A.

Calcular el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero mediante el modelo de balance de masas y la estimación de ahorro en emisiones de los productos con potencial de uso como biocombustible.

Identificar opciones de mejora y reducción de las emisiones en la operación productiva de la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Desarrollo Sostenible.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 estados miembros que la suscribieron y será la guía de referencia para el trabajo en pos de esta visión durante los próximos 15 años, los cuales son conocidos como los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) 2030 (Naciones Unidas, 2018), algunos de estos y sus metas se observan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Algunos Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus metas al 2030 relacionados con el presente estudio.

ODS	Meta
Energía asequible y no contaminante	De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
Industria, innovación e infraestructura	De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.
Producción y consumo responsables	De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
Acción por el clima	Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

Fuente: Naciones Unidas (2018).

2.1.1. Sostenibilidad.

Ben Eli (2015), define la sostenibilidad como un equilibrio dinámico en el proceso de interacción entre una población y la capacidad de carga de su entorno, de tal forma que se fomente una alineación de buen funcionamiento entre la sociedad, la economía y el ambiente, según se presenta en la Figura 1.

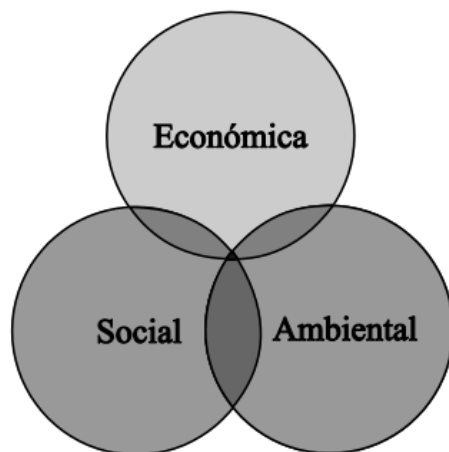


Figura 1. Dimensiones de la sostenibilidad empresarial. Fuente: Mihajlovi et al. (2018).

Mihajlovi et al., (2018), indican que la protección del medio ambiente se convierte en una condición previa esencial para obtener la ventaja competitiva sostenible y parte integral de la gestión proactiva de las empresas. Las nuevas tendencias en las empresas tienen un impacto significativo en la necesidad de construir relaciones y asociaciones más sólidas con todas las partes interesadas, lo que crea la entidad compleja, con el objetivo común de lograr un impacto global en todos los aspectos de la vida humana.

De acuerdo con Gil Lafuente & Barcellos (2011), la necesidad de impulsar el desarrollo económico de forma sostenible es un desafío para empresas e instituciones gubernamentales, que en las últimas décadas han buscado soluciones en este sentido a través de protocolos, convenios y acuerdos que han sido pactados en varias cumbres internacionales. A la vez, la creación de guías, normas y sistemas de certificación proporcionan a las empresas un amplio debate acerca de las herramientas de gestión que se utilizarán para velar por la planificación del desarrollo sostenible.

2.2. Biocombustibles.

El uso de la energía se ha convertido en requisito básico para la subsistencia humana y la fuente principal viene los combustibles derivados del petróleo, sin embargo, uno de los principales desafíos actuales es el agotamiento de estos combustibles sumado a los efectos nocivos al ambiente que generan su uso (Ortiz et al., 2016), por lo que hay necesidad de buscar nuevas fuentes y una de las alternativas propicias está en los biocombustibles, (Fontalvo et al., 2014).

De acuerdo con Torroba (2020), en la actualidad los biocombustibles forman parte de una transición más limpia en el marco de un paradigma de movilidad basada en la combustión interna, al tiempo que constituyen alternativas de movilidad ambientalmente más sostenibles que los combustibles fósiles.

Los avances en bioenergía ocupan un lugar destacado en las agendas de muchos países en un esfuerzo por mejorar el acceso a la energía, la seguridad energética y en el contexto de para reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero, además de ofrecer un enorme potencial para impulsar el crecimiento agrícola (Maltsoglou, Irini and Khwaja, 2010).

Rueda & Ahumada (2013), establecen que algunos beneficios del uso de los biocombustibles son los siguientes:

- Facilidad para biodegradarse (alrededor de 21 días), por lo que, en caso de un derrame o accidente, no contaminará ni el suelo ni el ecosistema a su alrededor.
- No es peligroso debido a que su punto de inflamación se encuentra por encima de los 110°C.
- No contiene azufre y por ello no emite óxidos de azufre a la atmósfera.
- Por sus propiedades lubricantes es un buen aditivo que reduce el desgaste del motor de los vehículos.
- El biodiesel merma las emisiones de hollín, produce menor cantidad de CO₂ durante su combustión
- No contiene benceno u otras sustancias cancerígenas o contaminantes que favorecen la aparición de enfermedades respiratorias.

Para que los biocombustibles sustituyan, incluso a una pequeña fracción de los combustibles fósiles que se utilizan en la actualidad, deben adoptarse prácticas agrícolas intensivas, prácticas que se sabe que tienen un gran impacto en suelo, suministro de agua y biodiversidad, por lo que se debe tomar en cuenta el criterio de sostenibilidad (Gomiero, 2015).

Para ser calificado de sostenible, el uso de una fuente de energía debe ser técnicamente factible, económicamente asequible y ambiental y socialmente viable, considerando a la sociedad en su conjunto (Gomiero, 2015). Basado en esto, los biocombustibles deben producirse siempre respetando los principios de sostenibilidad, (Maltsoglou, Irini and Khwaja, 2010).

Además, el uso de biomasa para fines no alimentarios dada la creciente competencia con los alimentos requiere soluciones que garanticen seguridad alimentaria. Por lo que es necesario un marco conceptual que respete el derecho humano a una alimentación adecuada y sugerir esto como criterio relevante para estándares de sostenibilidad de biomasa (Mohr et al., 2016).

2.2.1. Cálculo de las emisiones GEI en el ciclo de vida de los biocombustibles.

Según Trigo et al. (2021), la diversificación en el uso integral y eficiente de la biomasa para producir biocombustibles genera valor agregado, puede aumentar la eficiencia y la seguridad de los sistemas agroalimentarios y contribuye a la reducción de GEI, sin embargo, los resultados finales de emisiones pueden resultar afectados por los cambios en el uso de la tierra y por las emisiones generadas durante el proceso productivo (Seyboth et al., 2011).

La Figura 2 muestra el sistema de ciclo de vida del biocombustible, en donde en cada etapa del ciclo se contabilizan la emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de biocombustible / bioenergía como parte del proceso de evaluación (Silalertruksa & Kawasaki, 2015).



Figura 2. Proceso de producción de biocombustible. Fuente: Silalertruksa & Kawasaki (2015).

Según la Directiva de la Unión Europea 2018-2001, art 29, a partir del 2019 solo puede utilizarse biocombustibles en toda la Unión Europea (EU) que reduzcan en un 70% la emisión de carbono con respecto al potencial de emisión en referencia de los combustibles fósiles en términos energéticos (García, 2019) y la certificación reconocida para esta medición es el estándar ISCC, (Junker, 2016).

2.3. ISCC.

La Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono (ISCC por sus siglas en inglés) es una organización independiente que proporciona un sistema de certificación para la sostenibilidad de materias primas y productos, según se muestra en la Figura 3, la trazabilidad a través de la cadena de suministro, y la determinación de emisiones y ahorros de gases de efecto invernadero. Este sistema de certificación asegura la sostenibilidad de materias primas y productos para diversos mercados, incluyendo el de bioenergía, alimentos, forrajes, y mercados químicos y técnicos, (ISCC System GmbH, 2016).



Figura 3. Productos certificados con ISCC en el mundo. Fuente: Schmitz (2019).

2.3.1. Criterios de sostenibilidad de ISCC.

Brinkmann (2013) indica que los requisitos de sostenibilidad de ISCC para la producción de biomasa comprenden seis principios de sostenibilidad:

- La biomasa no se obtiene de tierras con un alto valor de biodiversidad o un alto contenido de carbono.
- La biomasa se produce de forma responsable con el ambiente.
- Condiciones de trabajo seguras y asistencia adecuada y oportuna en caso de accidentes.
- La producción de biomasa no viola los derechos humanos, laborales o territoriales.
- La producción de biomasa se lleva a cabo de conformidad con todas las leyes locales y nacionales aplicables y seguirá las normas internacionales pertinentes.
- Se implementan buenas prácticas administrativas y mejoramiento continuo.

2.3.2. ISCC 205 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Versión 4.0.

La intención del apartado 205 de la norma ISCC es explicar las opciones para declarar las emisiones de GEI a lo largo de la cadena de suministro y proporcionar la metodología, reglas y directrices para calcular y verificar dichas emisiones y reducciones. Los requisitos establecidos en dicho documento se aplican a todos los elementos relevantes de la cadena de suministro, desde la producción de materia prima hasta la distribución del producto final, incluyendo el cultivo, todas las etapas de procesamiento, el transporte y la distribución de productos intermedios y finales (ISCC System GmbH, 2021b).

A la hora de calcular las emisiones de GEI, es obligatorio utilizar los factores de conversión que se encuentran en el anexo I de la norma, en caso que se utilicen otros el cambio se deben justificar mediante la aportación de documentos que los respalden (Gomez et al., 2014).

2.3.3. ISCC Modelo Balance de Masas.

El sistema de balance de masa es la opción de la cadena de suministro de ISCC en la cual se permite la mezcla física de material con diferentes características de sostenibilidad y la mezcla de material sostenible y no sostenible. En este caso las características de sostenibilidad permanecen asignadas a lotes de material sobre una base contable según se muestra en la Figura 4, mientras que cualquier tipo de operación y cálculo de balance de masa sólo debe estar relacionado con el material considerado sostenible bajo este sistema de certificación, (ISCC System GmbH, 2019).

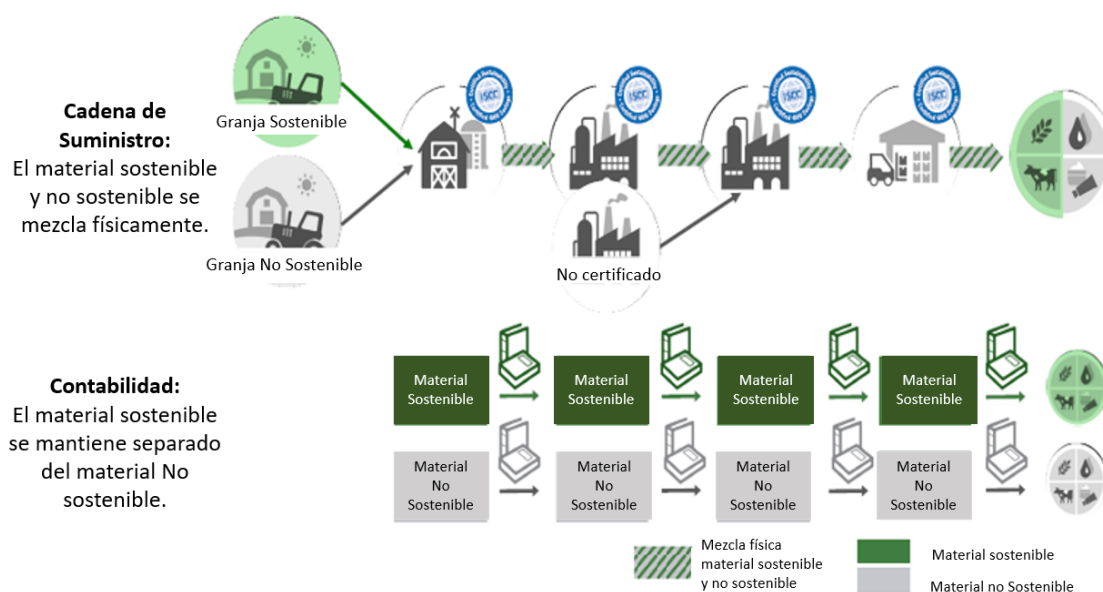


Figura 4. Manejo de producto certificado como sostenible bajo el modelo de balance de masas. Fuente: ISCC System GmbH (2019).

2.3.4. Materiales elegibles para la certificación ISCC.

ISCC System GmbH (2018) establece que la certificación ISCC puede cubrir todos los tipos de biomasa. Sin embargo, el proceso de certificación va enfocado al tipo de material ya sea producto principal o coproducto, o en el caso que sea considerado como desecho/residuos, estos últimos no tienen emisiones de CO₂e_q asignadas (ISCC System GmbH, 2021b).

Para determinar si un tipo de biomasa es considerada como producto o como residuos se aplica el proceso de selección mostrado en la Figura 5.

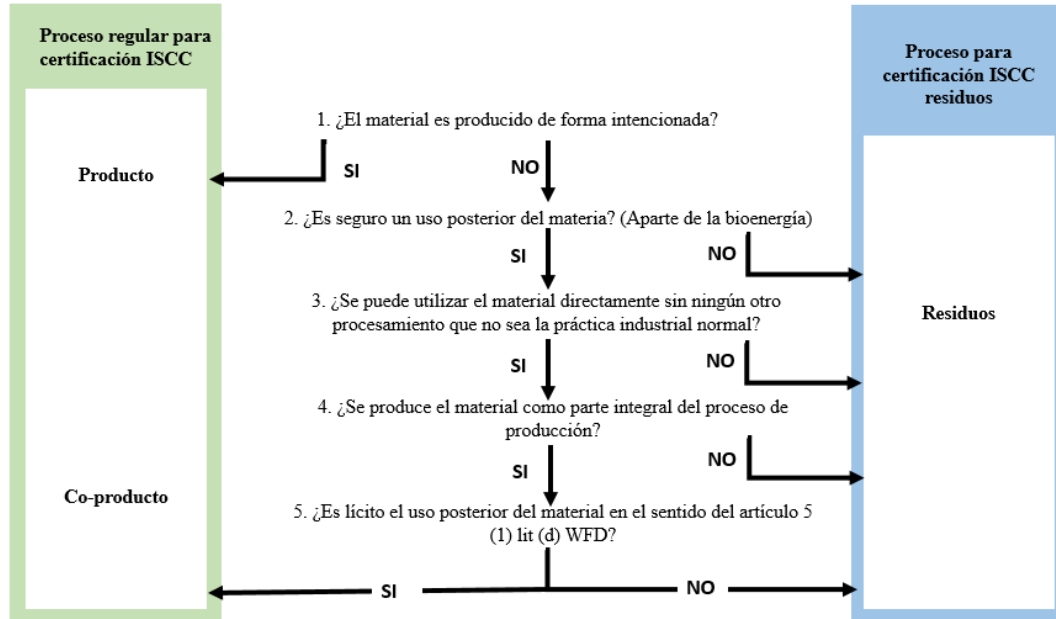


Figura 5. Proceso para determinar si un material es producto o residuos de acuerdo con ISCC. Fuente: ISCC System GmbH (2018).

En este sentido, el artículo 5 (1) lit (d) de la Directiva Marco de Residuos (WFD) establece que el uso posterior de un producto debe ser lícito, es decir, la sustancia u objeto cumple con todos los requisitos pertinentes de protección del producto, del medio ambiente y de la salud para el uso específico y no dará lugar a impactos generales negativos para el medio ambiente o la salud humana (Environment Agency, 2012).

Algunos de los materiales que son elegibles para la certificación ISCC se observan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Materiales que se pueden certificar como productos acuerdo con ISCC.

Tipo de material	Material certificable	Fuente de materia prima
Producto intermedio y final	Aceite crudo	Palma
	Ácidos grasos	
	Oleína	
	Aceite refinado	
Producto intermedio y final	Aceite crudo	Almendra de palma
	Harina	

Fuente: ISCC System GmbH (2018).

Los procesos de declaración de sostenibilidad en cuanto a las emisiones de CO₂eq varían de acuerdo a cada fase de la cadena de suministro hasta llegar al final del ciclo de vida en donde las emisiones del producto final se declaran en unidades de gCO₂eq/ MJ y se compara contra las referencias para obtener los porcentajes de ahorro en emisiones, la Figura 6 se muestra el proceso de declaración de producto sostenible.

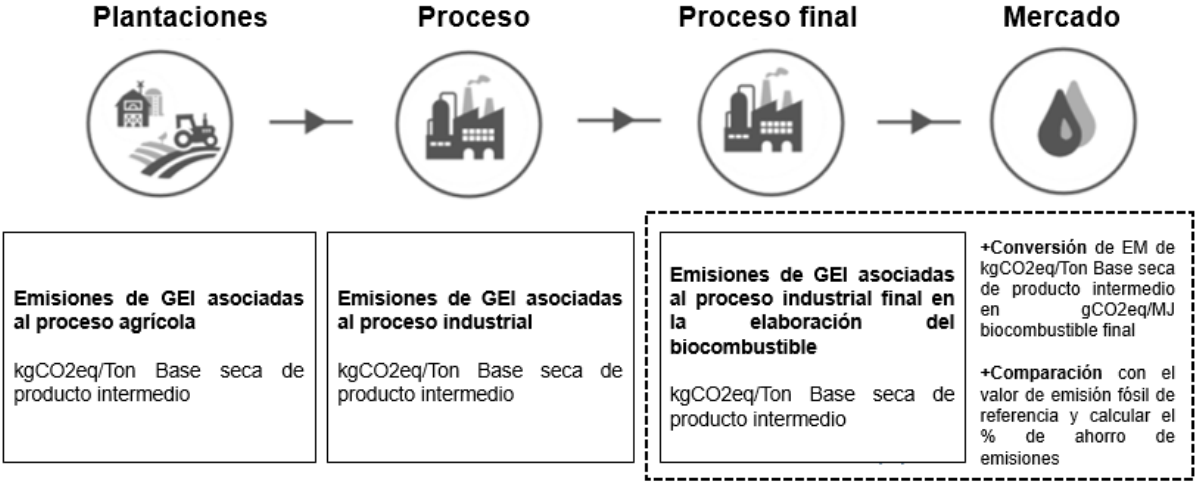


Figura 6. Pasos para la declaración de emisiones en la cadena de suministro agrícola para un biocombustible. Fuente: ISCC System GmbH (2021b).

Para la comparación con el valor de emisión fósil de referencia, indicado en la Figura 6, se utilizan valores que se presentan en el Cuadro 3, indicando la emisión de se tiene establecido en unidades de gCO₂eq/MJ según el tipo de operación y área de consumo de combustible.

Estos valores se comparan contra los resultados de las emisiones de cada producto con potencial de biocombustible evaluado mediante la metodología de estimación de cálculo de CO₂eq de ISCC y de esta manera determinar el porcentaje de ahorro de emisiones que conlleva a la declaración final objetivo de este estándar internacional.

Cuadro 3. Valores de referencia de emisión de combustible fósil para el cálculo de ahorro de emisiones por el uso de biocombustibles.

Área de consumo de biocombustibles	Valor de emisión fósil de referencia (g CO₂eq/MJ)
Biocombustible para transporte	94
Biocombustible para electricidad	183
Biocombustible para producción de energía para calefacción y refrigeración	80
Biomasa para la producción de electricidad	183
Biomasa para de energía para calefacción y refrigeración	80
Biomasa utilizada para la sustitución de carbón	124

Fuente: ISCC System GmbH (2021).

2.3.5. Alcances y referencias normativas.

De acuerdo con los requisitos de la Directiva Europea de Energías Renovables (RED II) (2018/2001/EC), a través del sistema de certificación ISCC, se requiere en las empresas que operan dentro de la Unión Europea, un nivel mínimo de ahorro de GEI para biocombustibles, biolíquidos y combustibles de biomasa (ISCC System GmbH, 2021b).

Con el resultado obtenido de ahorro de las emisiones, indicado en la Figura 6, se realiza comparativo con los valores de reducción establecidos por la RED II, los cuales se presentan en el Cuadro 4, de ahí se determina el cumplimiento final de las empresas que operan en la UE, demostrando con las estimaciones finales y a través de un proceso auditable, que su operación cumple con estos porcentajes mínimos de ahorro, que incluye la contabilización de las emisiones desde la fase de producción, el procesamiento, transporte hasta el uso final en el mercado .

De ahí la relevancia de la valoración y análisis de los resultados de CO₂eq en los biocombustibles y la competitividad de estos en los mercados de internacionales en donde se le da este valor agregado al tema de la sostenibilidad.

Cuadro 4. Porcentaje mínimo de ahorro que deben tener las empresas que operan en la Unión Europea según los lineamientos de la RED II.

Área de generación de GEI	Porcentaje mínimo de ahorro (%)
Biocombustibles y biogás consumidos en el sector transporte, en instalaciones en funcionamiento antes del 5 de octubre de 2015.	50
Biocombustibles y biogás consumidos en el sector transporte, en instalaciones en funcionamiento desde el 6 de octubre de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2020.	60
Biocombustibles y biogás consumidos en el sector transporte, en instalaciones en funcionamiento a partir del 1 de enero de 2021.	65
Producción de electricidad, calefacción y refrigeración a partir de biomasa utilizados en instalaciones que entren en funcionamiento a partir del 1 de enero de 2021 hasta el 31 de diciembre de 2025.	70
Producción de electricidad, calefacción y refrigeración a partir de biomasa utilizados en instalaciones que entren en funcionamiento a partir del 1 de enero de 2026.	80
El ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles de transporte líquidos y gaseosos de origen no biológico.	70

Fuente: ISCC System GmbH (2021).

2.4. La palma aceitera.

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) pertenece a la familia palmaceae, tiene su origen en las costas del Golfo de Guinea en África Occidental y es considerado el cultivo oleaginoso más productivo y capaz de satisfacer la creciente demanda de aceites vegetales. Por hectárea de tierra de cultivo puede dar de 3 a 8 veces más aceite que cualquier otra planta de clima templado o cultivo tropical. (Barcelos et al., 2015).

Sus productos se esparcen en todo el mundo en forma de aceites comestibles, alimentos concentrados para animales, cosméticos, pintura, jabones, detergentes, tintas para impresión,

velas, biocombustibles, otros derivados de la biomasa y productos de la oleoquímica, así como múltiples insumos de primera necesidad, (Julio, 2017). Los principales productos de la palma aceitera se observan en la Figura 7. Alternativas del uso integral de los productos y subproductos industriales y biotecnológicos reportados para el fruto de la palma africana. Fuente: Sierra et al. (2017)..

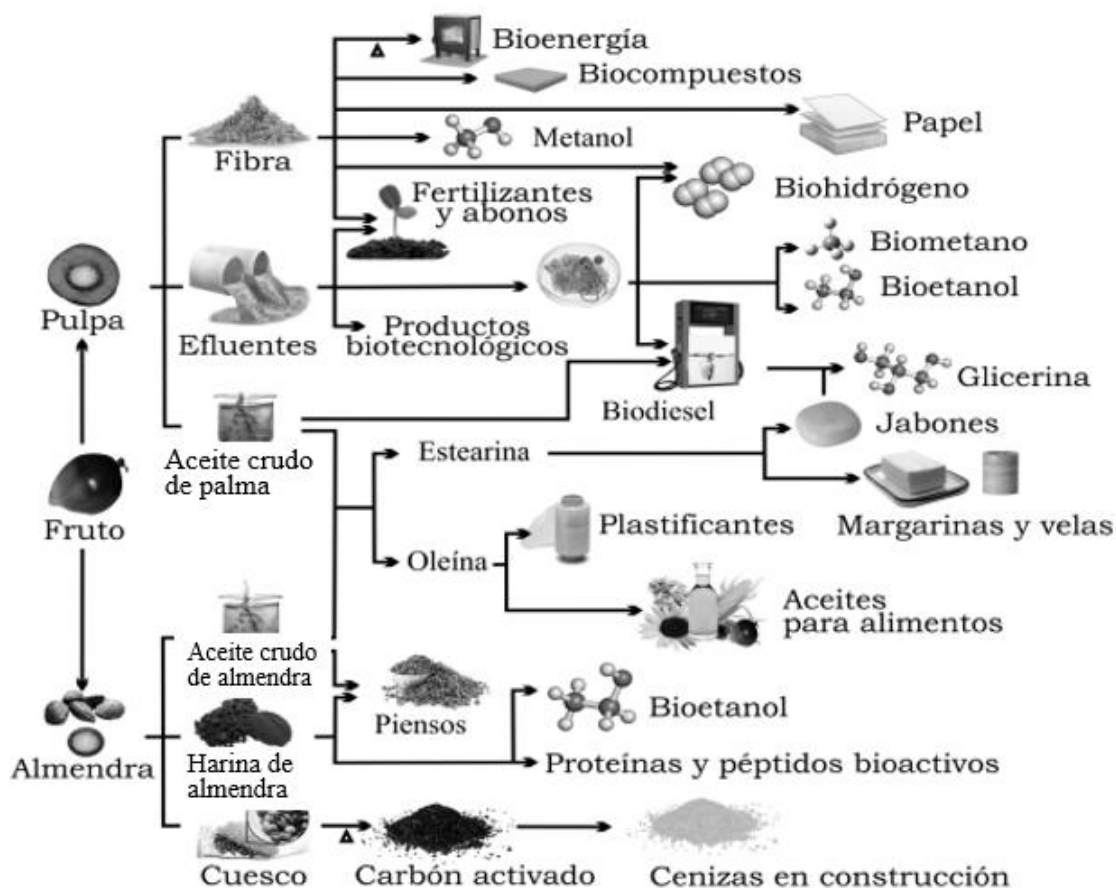


Figura 7. Alternativas del uso integral de los productos y subproductos industriales y biotecnológicos reportados para el fruto de la palma africana. Fuente: Sierra et al. (2017).

De acuerdo con último informe de INEC (2020), el cultivo de palma es el más extenso de Costa Rica con un total de área sembrada de 87 148 hectáreas y una producción de 1 033 721 de toneladas métricas de racimos de fruta fresca para el 2019, siendo el potencial de extracción de estos racimos un 22,5% de aceite crudo de palma, 1,8% de aceite crudo de almendra y un 2,2% de harina de almendra (Chinchilla, 2021).

2.4.1. Potencial como biocombustible.

La biomasa de palma aceitera ha sido identificada como uno de los mayores recursos en cuanto a la producción energética que se puede desarrollar fácilmente (Sumathi et al., 2008).

Además presenta ventajas competitivas para la producción de biodiesel dado su alto nivel de triglicéridos (Fontalvo et al., 2014), siendo este uno de los biocombustibles más estudiados con el objetivo de reducir emisiones GEI (Singh & Singh, 2010; Sierra et al., 2017), donde el biodiesel producido a partir de aceite de palma puede generar una reducción entre el 30-75% con respecto al diesel y la gasolina, (HLPE, 2013).

Algunos de sus productos con potencial para uso de biocombustible se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Productos derivados del cultivo de palma aceitera y su potencial calorífico (LHV).

Tipo de producto	Potencial Calorífico LHV (MJ/kg)
Aceite Crudo de Palma	37
Aceite Crudo de Almendra	37
Harina de Almendra	17

Fuente: ISCC System GmbH (2021).

2.4.2. Fuentes de emisión en el cultivo de palma aceite y extracción de productos.

El impacto del cultivo de la palma de aceite está dominado principalmente por efectos directos en el cambio de uso del suelo mientras que las asociadas al procesamiento son causados principalmente por el vertimiento de aguas residuales del efluente de las fábricas, las cuales poseen valores elevados en DQO, que al pasar por los sistemas de tratamiento emiten grandes cantidades de metano, (Fontalvo et al., 2014).

Las plantaciones de palma aceitera cuentan con insumos de materiales generadores de emisiones que incluyen fertilizantes, electricidad, herbicidas y combustible, en tanto en el proceso industrial donde se lleva a cabo el procesamiento y extracción de aceite de palma posee generadores de emisiones dentro de los cuales están el combustible, la energía en forma de electricidad, combustible para generadores, agua para calderas, efluentes y combustible para camiones, (Wahyono et al., 2020).

2.5. Emisiones de nitrógeno en suelos agrícolas.

Según señala IPCC (2019), el óxido nitroso se produce naturalmente en los suelos a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación. El óxido nitroso es un producto intermedio gaseoso en la secuencia de reacción de la desnitrificación y un producto derivado de la nitrificación que se fuga de las células microbianas al suelo y, en última instancia, a la atmósfera.

Las emisiones de N_2O producidas por agregados antropogénicos de Nitrógeno (N) o por mineralización de este se producen tanto por vía directa (es decir, directamente de los suelos a los que se agrega o libera el N) y a través de dos vías indirectas:

a) A partir de la volatilización de NH_3 y NO_x de suelos gestionados y de la combustión de combustible fósil y quemado de biomasa, y la subsiguiente redeposición de estos gases y sus productos NH_4^+ y NO_3^- en suelos y aguas.

b) Después de la lixiviación y el escurrimiento del N, principalmente como NO_3^- , de suelos gestionados.

Las principales vías se ilustran en la Figura 8.

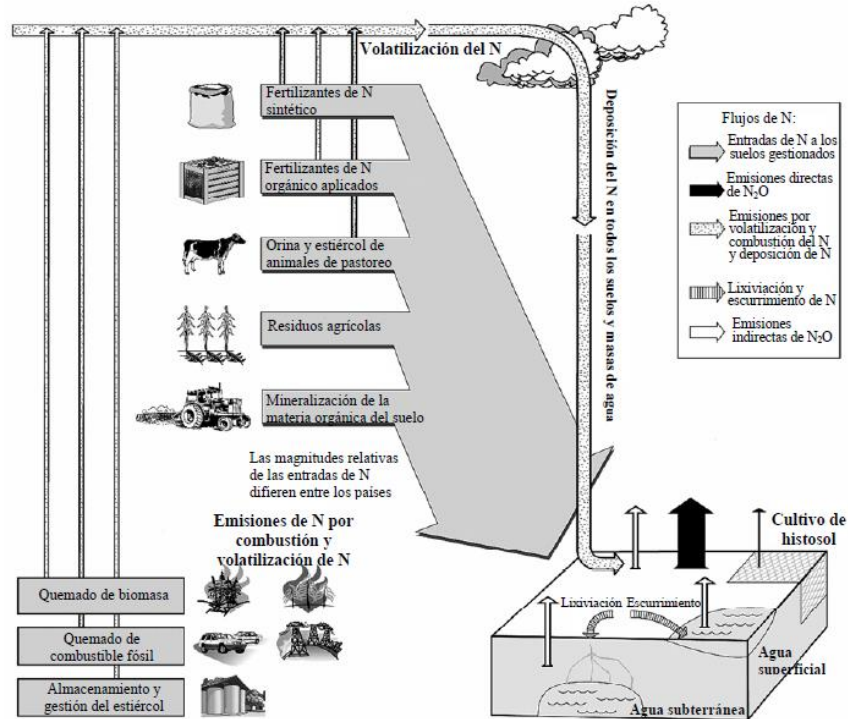


Figura 8. Fuentes y vías del N provocadas por las emisiones directas e indirectas de N_2O de suelos y aguas. Fuente: IPCC (2019).

3. MARCO METODOLOGICO

3.1. Enfoque y tipo de investigación.

Con base a lo señalado por Hernández (2014), el enfoque de la presente investigación es mixto debido a que implica la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos y se hace una integración y discusión conjunta.

La investigación posee características cualitativas como la identificación de fuentes emisoras de GEI y clasificación de estas dentro de los diferentes elementos que constituyen la ecuación general de emisión de los biocombustibles, por otro lado, hay características cuantitativas como el establecimiento de un año base y recopilación de datos numéricos y cálculos matemáticos para la obtención de resultados en cuanto a la estimación de emisiones de CO₂eq, finalmente se analizan los resultados obtenidos y a partir de esto se investiga posibles acciones a implementar de tal forma que se reduzca el impacto negativo de la operación sobre los recursos naturales.

En cuanto al tipo de investigación se considera como descriptivo dado que se hace una identificación de fuentes, se define como variable a estimar la cantidad de CO₂eq que se emite por fuente en un lapso de tiempo determinado, se recolectan datos en diferentes lugares y con los resultados se permite concluir cuales son las de mayor significancia y establecer acciones para su mitigación.

3.2. Marco espacial.

La investigación se realizó en la planta extractora de aceite Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. - Planta Naranjo ubicada en Llorona, Quepos, Puntarenas, utilizando como base de suministro la fruta de palma producida por las plantaciones agrícolas de la Compañía Palma Tica S.A. División Quepos Distrito Naranjo, ubicadas en la zona aledaña a la planta extractora, según se presenta en la Figura 9. La zona posee una precipitación anual de 3875 mm y una temperatura promedio anual de 27 °C. Las principales actividades económicas de la zona son la agricultura, la pesca y el creciente desarrollo del turismo. (Lathop & Madrigal, 2018).

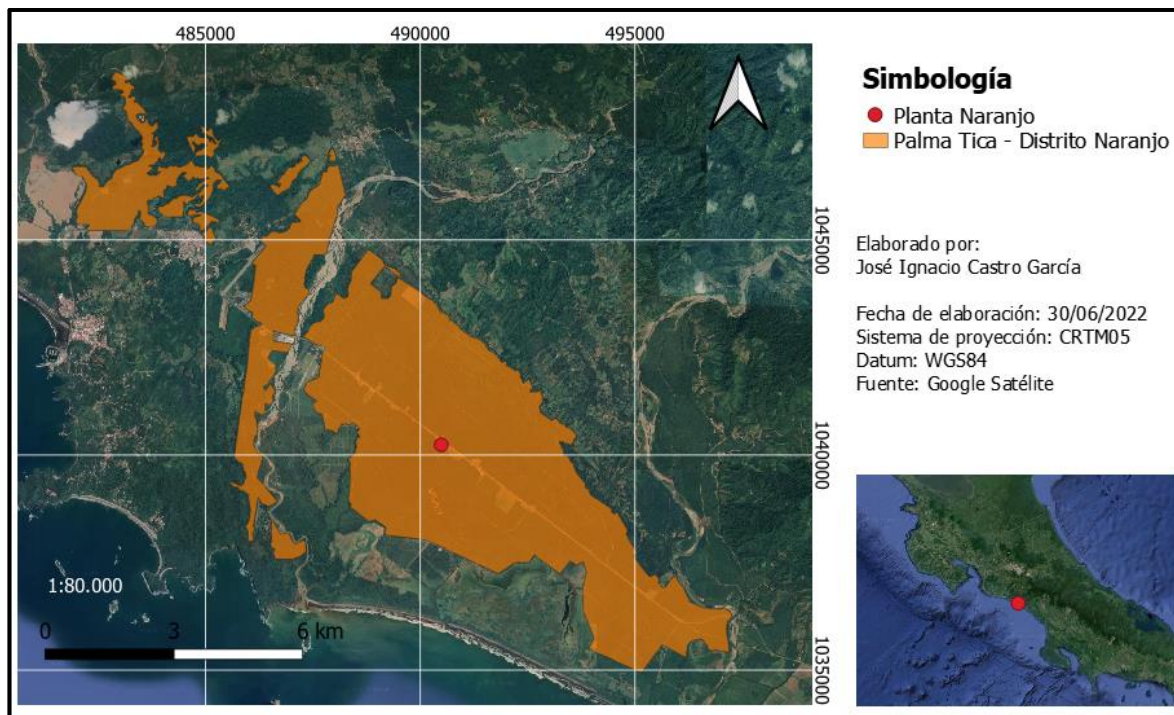


Figura 9. Ubicación del área en estudio.

3.3. Marco temporal.

Las fuentes de emisión se identificaron a través de análisis del proceso operacional tanto en la parte agrícola como en la industrial durante el periodo anual comprendido entre los meses de enero a diciembre de 2021, y determinando qué fuentes se deben de tomar en cuenta para el cálculo según lo establece la metodología de ISCC y la experiencia previa de la Compañía en el tema, a partir de esto se solicitó la información a cada uno de los departamentos que manejan los datos ya sea de consumo o producción para proceder con el cálculo de las emisiones.

3.4. Estimación del inventario de GEI.

3.4.1. Metodología estándar aplicada para la estimación.

La estimación de las emisiones de GEI se realizó utilizando la metodología estándar establecida en el documento ISCC 205 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Versión 4.0 (ISCC System GmbH, 2021b), mediante el uso de valores actuales que implica el cálculo individual de cada una de la fuentes emisoras de GEI, basado en la metodología RED II y en las especificaciones de la ISCC establecidas en dicho documento.

La ecuación (1) es la indicada para el cálculo de GEI en la producción de biocombustible y se manejan bajo la unidad de medición de kg CO₂eq/Ton de biocombustible en el caso de producto intermedio o g CO₂eq/ MJ en caso de producto final.

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} \quad (1)$$

Donde:

- E = emisiones totales por uso de combustible,
- e_{ec} = emisión por la extracción o cultivo del biocombustible,
- e_l = emisión anual por cambio en el uso del suelo,
- e_p = emisión del procesamiento del biocombustible,
- e_{td} = Emisión por el transporte y distribución,
- e_u = Emisión por uso de combustible,
- e_{sca} = Ahorro en emisiones por acumulación de carbono en el suelo a través de prácticas agrícolas mejoradas,
- e_{ccs} = Ahorro en emisiones por captura geológica de CO₂.
- e_{ccr} = Ahorro en emisiones por captura y reemplazo de carbono.

3.4.2. Metodología de cálculo del inventario de GEI.

La información base requerida para el cálculo de cada una de las entradas (EM) se encuentran en el Apéndice 1, y los respectivos factores de emisión (EF) se muestran en el Anexo 1: Factores utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI en la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A.

3.4.2.1.1. Emisión por el cultivo de material: e_{ec} .

La fórmula de emisión de GEI para la extracción o cultivo de materias primas e_{ec} incluyó todas las emisiones (EM) del propio proceso de extracción o cultivo; incluidas las emisiones de la recogida, secado y almacenamiento de materias primas, de residuos y fugas, y de la producción de productos químicos o productos utilizados en la extracción o el cultivo. Se excluyó la captura de CO₂ en el cultivo de materias primas, la fórmula 2 presenta los elementos que se incluyeron en este cálculo.

$$e_{ec} \left[\frac{kg \ CO_2eq}{ton} \right] = \frac{(EM_{fertilizante} + EM_{N_2O} + EM_{entrada} + EM_{combustible} + EM_{electricidad}) \left[\frac{kg \ CO_2eq}{ha * año} \right]}{cantidad \ de \ materia \ prima \left[\frac{ton}{ha * año} \right]} \quad (2)$$

La suma de las emisiones de GEI de fertilizantes, productos fitosanitarios, combustibles y electricidad (EM, aquí en kg CO₂eq por ha por año) se dividió por el rendimiento de materia prima en toneladas por hectárea y año para recibir los GEI específicos emisión por tonelada de materia prima. Para todo tipo de materias primas, el rendimiento se refirió al contenido de materia seca.

Para calcular el EM combustible y el EM electricidad, se determinó el consumo de combustible y electricidad de todas las actividades durante la preparación del campo, el cultivo, la cosecha o el procesamiento posterior de la materia prima y se multiplicó por el factor de emisión del combustible y electricidad, según se presenta en las fórmulas 3 y 4. Dado que la electricidad se consume de la red, se utilizó el factor de emisión nacional en Costa Rica aportado por el Instituto Meteorológico Nacional.

$$EM_{combustible} = consumo \ de \ combustible \left[\frac{l}{ha * año} \right] * EF_{combustible} \left[\frac{kg \ CO_2eq}{l} \right] \quad (3)$$

$$EM_{electricidad} = consumo \ de \ electricidad \left[\frac{kWh}{ha*año} \right] * EF_{electricidad} \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kWh} \right] \quad (4)$$

La EM pesticidas se refiere a la emisión relacionada con el uso de productos pesticidas, principalmente herbicidas aplicados en el campo. La unidad de entrada para este cálculo fue kg ingrediente activo (i. a.) del pesticida, según se observa en la fórmula 5.

$$EM_{pesticida} = pesticidas \left[\frac{kg \ i. \ a.}{ha * año} \right] * EF_{pesticida} \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg} \right] \quad (5)$$

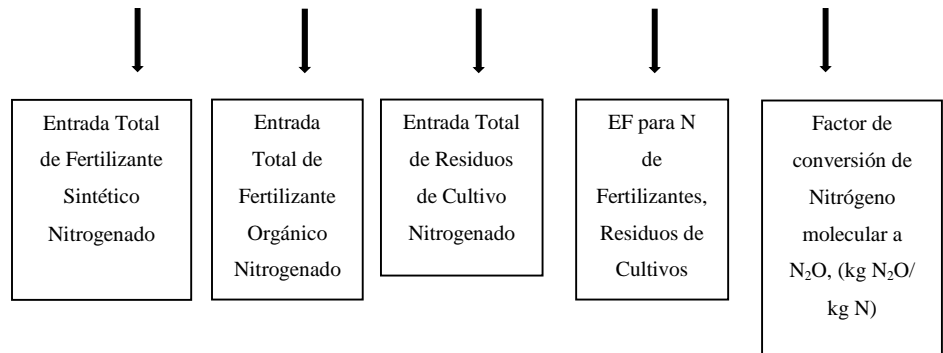
La cantidad de fertilizante utilizada se refirió al principal nutriente activo, y para el cálculo se siguió la fórmula 6.

$$EM_{fertilizante} = \text{entrada de fertilizante} \left[\frac{\text{kg nutriente}}{\text{ha} \cdot \text{año}} \right] * EF_{fertilizante} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg nutriente}} \right] \quad (6)$$

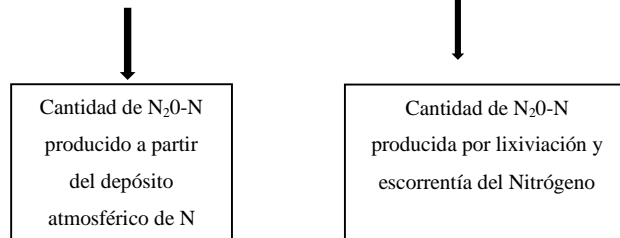
En el caso de los fertilizantes nitrogenados sintéticos, además de la producción de EF, se calcularon las emisiones de campo de N₂O, según se presenta en la fórmula 7, incluidas las que se describen como emisiones de N₂O “directas” e “indirectas” de fertilizantes nitrogenados sintéticos, orgánicos y residuos de cultivos necesarios para completar la fórmula 7, el cálculo de estos se realizó siguiendo las fórmulas 8 y 9, según lo establecido en la guía establecida en las Directrices del IPCC de 2019: refinamiento de la guía 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, capítulo 11, apartado 11. 2, (IPCC, 2019).

$$EM_{N_{20}} \left(\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{ha}} \right) = \left[E_{N_{20}\text{-directo}} \left(\frac{\text{kg N}_{20}}{\text{ha}} \right) + E_{N_{20}\text{-indirecto}} \left(\frac{\text{kg N}_{20}}{\text{ha}} \right) \right] * 298 \left(\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg N}_{20}} \right) \quad (7)$$

$$E_{N_{20}\text{-directo}} \left(\frac{\text{kg N}_{20}}{\text{ha}} \right) = \left[l_N \left(\frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \right) + F_{ON} \left(\frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \right) + F_{CR} \left(\frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \right) \right] * EF_1 \left(\frac{\text{kg N}_{20} - N}{\text{kg N}} \right) * 44/28 \quad (8)$$



$$E_{N_{20}\text{-indirecto}} \left(\frac{\text{kg N}_{20}}{\text{ha}} \right) = \left[N_{20} - N_{(ATD)} \left(\frac{\text{kg N}_{20} - N}{\text{ha}} \right) + N_{20} - N_L \left(\frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \right) \right] * 44/28 \quad (9)$$



3.4.2.1.2. Emisión por el proceso de material: e_p .

El cálculo en las emisiones del proceso se basó según se presenta en la fórmula 10.

$$e_p \left[\frac{kgCO_2eq}{ton} \right] = \frac{(EM_{electricidad} + EM_{combustible} + EM_{insumos\ químicos} + EM_{aguas\ residuales}) \left(\frac{kgCO_2eq}{año} \right)}{\text{rendimiento de producto} \left[\frac{ton}{año} \right]} \quad (10)$$

Las emisiones de los diferentes insumos (EM) se calcularon según las fórmulas siguientes y dividieron por el rendimiento del producto principal, en cuanto a los factores de conversión se utilizaron los establecidos por la ISCC y para el de la electricidad se utilizó como valor regional el establecido para Costa Rica por el IMN.

Los componentes de la fórmula para calcular EM son:

$$EM_{electricidad} = \text{consumo de electricidad} \left[\frac{kWh}{año} \right] * EF_{regional\ eléctrica} \left[\frac{kgCO_2eq}{kWh} \right] \quad (11)$$

$$EM_{combustible} = \text{consumo de combustible} \left[\frac{l}{ha * año} \right] * EF_{combustible} \left[\frac{kg\ CO_2eq}{l} \right] \quad (12)$$

$$EM_{insumos\ químicos} = \text{insumos químicos} \left[\frac{kg\ ó\ l}{año} \right] * EF_{insumos\ químicos} \left[\frac{kgCO_2eq}{kg\ ó\ l} \right] \quad (13)$$

$$EM_{agua\ proceso} = \text{aguas proceso} \left[\frac{kg}{año} \right] * EF_{agua\ proceso} \left[\frac{kgCO_2eq}{kg\ agua\ proceso} \right] \quad (14)$$

3.4.2.1.3. Emisión por el transporte y distribución: e_{td} .

Las emisiones de GEI del transporte de la materia prima del producto se calcularon con base en lo presentado en la fórmula 15.

$$e_{td} \left[\frac{kgCO_2eq}{ton} \right] = \frac{\text{cantidad material transportado en tipo de transporte [ton]} * \text{distancia transporte [km]} * EF_{\text{tipo de transporte}} \left[\frac{kgCO_2eq}{tkm} \right]}{\text{material transportado en tipo de transporte [ton]}} \quad (15)$$

3.4.2.1.4. Emisión por cambios en las reservas de carbono causadas por el cambio en el uso de la tierra: e_i .

El cambio de uso de la tierra es un cambio de una de las siguientes categorías de cobertura del suelo del IPCC: tierras forestales, pastizales, humedales, asentamientos u otras tierras, a tierras de cultivo o tierras de cultivo perenne. Las 'tierras de cultivo' y las 'tierras de cultivo perennes' (especificadas como palmas y monte bajo de rotación corta) se consideran como un solo uso de la tierra.

Para calcular las emisiones en kg CO₂eq/tonelada seca de materia prima, la reserva de carbono del uso real de la tierra (CS_A) se resta de la reserva de carbono del uso de la tierra de referencia (antes del cambio de uso de la tierra) (CS_R). El resultado se divide por el rendimiento de materia prima y se anualiza en 20 años. Para convertir las emisiones de carbono en CO₂eq, se debe aplicar el factor de conversión de 3,664, correspondiente a la relación molar de CO₂/C (44/12). Para su cálculo se debe aplicar la fórmula 16.

$$e_i \left[\frac{kgCO_2eq}{ton} \right] = \left(\frac{CS_R \left[\frac{kg C}{ha} \right] - CS_A \left[\frac{kg C}{ha} \right]}{\text{materia prima producida} \left[\frac{ton}{ha * año} \right] * 20[\text{año}]} * 3,644 \right) - e_B \quad (16)$$

3.4.2.1.5. Ahorro de emisiones por acumulación de carbono en el suelo a través de una gestión agrícola mejorada: e_{sca} .

Se permite aprovechar ahorros de emisiones (e_{sca}), debido a la acumulación de carbono en el suelo impulsada por la adopción de una gestión agrícola mejorada.

Para calcular el ahorro de emisiones en kg CO₂eq/tonelada seca de materia prima, la reserva de carbono del uso de la tierra de referencia (antes del cambio de uso de la tierra) (CS_R) se le resta la reserva de carbono del uso real de la tierra (CS_A). El resultado se divide por el rendimiento de materia prima y se anualiza por el periodo de cultivo del material. Para convertir las emisiones de carbono en CO₂eq, se debe aplicar el factor de conversión de 3,664 que corresponde a la relación molar de CO₂/C (44/12).

Para su cálculo se debe aplicar la fórmula 17.

$$e_{sca} \left[\frac{kg CO_2 eq}{ton} \right] = \left(\frac{CS_R \left[\frac{kg C}{ha} \right] - CS_A \left[\frac{kg C}{ha} \right]}{materia\ prima\ producida \left[\frac{ton}{ha * año} \right] * n[año]} * 3,644 \right) \quad (17)$$

3.4.2.1.6. Ahorro de emisiones por captura y almacenamiento geológico de CO₂: e_{ccs}.

El ahorro de emisiones por captura y almacenamiento geológico (e_{ccs}) solo se puede tener en cuenta si estas no se han contabilizado ya en las emisiones de procesamiento (ep). Es necesario aportar pruebas válidas de que el CO₂ se capturó y almacenó de forma segura de conformidad con la Directiva 2009/31/CE, para su cálculo se utiliza la fórmula 18.

$$e_{ccr/ccs} \left[\frac{g CO_2 eq}{MJ} \right] = \frac{(CO_2\ producido[kg] - energía\ consumida [MWh] * EF \left[\frac{kg CO_2 eq}{MWh} \right] - materiales\ de\ entrada[kg] * EF \left[\frac{kg CO_2 eq}{kg} \right]) * 1000}{cantidad\ de\ biocombustible[τ] * 1000 * potencial\ calorífico \left[\frac{MJ}{kg} \right]} \quad (18)$$

3.5. Cálculo del factor de balance de masas.

Dado que se trata de un cálculo de emisiones en un balance de masas donde se toma como referencia únicamente la fruta de palma entregada por Palma Tica y en la planta extractora se recibe fruta de productores particulares, se proporcionó las emisiones de la planta a un factor que represente únicamente a la fruta entregada en dicho alcance, para esto se calculó dicho factor bajo fórmula 19.

$$FBM = \frac{RFF\ PTDN}{TOT\ RFF\ PE} \quad (19)$$

Donde:

- FBM es el factor de balance de masas,
- RFF PTDN es la cantidad de racimos de fruta fresca entregada por Palma Tica Agricultura Naranja durante el periodo en estudio (toneladas),
- TOT RFF PE es la cantidad de racimos de fruta fresca recibidos por la planta extractora durante el periodo en estudio (toneladas).

3.6. Distribución de las emisiones para productos y coproductos intermedios.

Las emisiones totales generadas en cada elemento de la ecuación se denominaron emisiones no asignadas. Estas se asignaron a cada producto dentro del alcance para determinar la cantidad de CO₂eq por unidad de masa o energía.

La asignación se realizó sobre la base del factor de asignación (AF), que reflejaba la relación del contenido energético total del producto principal intermedio con el contenido energético total de todos los productos.

El contenido de energía se calculó a partir del poder calorífico inferior y el rendimiento del producto respectivo. Se aplicaron las siguientes fórmulas a todas las emisiones de los materiales recibidos y las emisiones producidas en la unidad respectiva al calcular el AF:

$$AF_{Producto\ intermedio} = \frac{Energía\ contenida_{producto\ intermedio} [MJ]}{Total\ de\ energía\ contenida\ (energía_{producto} [MJ] + energía_{Coproducto} [MJ])} \quad (20)$$

Con:

$$Energía_{producto\ intermedio} = Masa_{producto\ intermedio} \left[\frac{kg_{base\ seca}}{año} \right] * LHV_{producto\ intermedio} \left[\frac{MJ}{kg} \right] \quad (21)$$

Y:

$$Energía\ contenida_{co-producto} = Masa_{co-producto} \left[\frac{kg_{base\ seca}}{año} \right] * LHV_{co-producto} \left[\frac{MJ}{kg} \right] \quad (22)$$

Después del cálculo del AF, se procedió a realizar el cálculo de las emisiones asignadas al producto intermedio siguiendo la siguiente fórmula:

$$e_{ec} \left[\frac{kgCO_2eq}{ton\ base\ seca} \right] = e_{ec\ no\ asignada} \left[\frac{kgCO_2eq}{ton\ base\ seca} \right] * AF \quad (23)$$

3.7. Cálculo de ahorro de emisiones GEI.

El cálculo de ahorro de emisiones está establecido para productos considerados como finales (ISCC System GmbH, 2021b), en el caso del producto y coproductos en estudio pueden interpretarse como productos intermedios dado que necesitarían un proceso posterior de refinado, pero también corresponden a biomasa que podría utilizarse como combustible final según los requisitos del cliente, por lo que su definición como tal depende de las características del mercado al que se dirija.

Para el presente estudio se realizó este cálculo con el fin de obtener los resultados finales en unidades de gCO₂eq/MJ y de esta forma hacer el comparativo con los valores de emisión de combustibles fósiles de referencia establecidos por la RED II presentados en el Cuadro 3 y los porcentajes de reducción establecidos de cumplimiento presentados en el Cuadro 4.

Para el cálculo del ahorro de emisiones GEI se realizó la siguiente metodología.

- 1) El resultado obtenido en referencia de acuerdo con la fórmula 1 relacionada con la declaración de emisión de GEI (kgCO₂eq/ Ton base seca de biocombustible), se dividió por el potencial calórico del producto en cuestión (MJ/kg), con esto se obtuvo el resultado de la emisión que es equivalente a g CO₂eq/MJ.
- 2) El ahorro se calculó con la fórmula 24.

$$\text{Ahorro de emisiones (\%)} = \frac{Ef - Eb}{Ef} \times 100 \quad (24)$$

Donde:

- Ef emisión de comparador fósil de referencia en g CO₂eq/MJ (los valores se presentan en el Cuadro 3).
- Eb es el total de emisión del biocombustible en g CO₂eq/MJ.

Para realizar este cálculo se empleó la plantilla de declaración de sostenibilidad aportada por la ISCC, en donde los resultados obtenidos de la ecuación 1, para que sean datos comparables y estén en las mismas condiciones se colocan en unidades de g CO₂eq/MJ.

La plantilla emitió los porcentajes de ahorro para cada una de las áreas en las que la RED II ha determinado se deben reducir emisiones, de acuerdo con la información en el Cuadro 4, esta declaración es obligatoria presentarla al momento de hacer las ventas de material certificado como parte de los movimientos en la cadena de suministro.

3.7.1. Comparación de los ahorros de emisiones obtenidos con respecto a los valores establecidos por la RED II.

Los valores de ahorro de emisión obtenidos a través de la fórmula 24, se compararon con los valores estándar establecidos por la RED II para verificar el cumplimiento de los mismos en las diferentes áreas que aplican, según se presentó en el Cuadro 4, y de esta forma se determinó si es viable, a través de la certificación ISCC, la utilización del aceite crudo de palma y coproductos como biocombustible, a través del cumplimiento con la disminución de las emisiones establecidas por la Unión Europea.

3.8. Identificación de opciones de mejora y reducción de las emisiones en la operación productiva.

El resultado obtenido de la estimación de emisiones de CO₂eq se analizó por fuentes de emisión, clasificándolos según el criterio de significancia propuesto en el Cuadro 6.

A partir de esta clasificación se establecieron las oportunidades de mejora relacionadas directamente con las fuentes de emisión alta con el fin de lograr reducir las emisiones actuales de CO₂eq y generar una declaración de carbono de mayor competencia en el mercado.

La identificación de las mejoras se realiza a través de una revisión bibliográfica con respecto a las tendencias actuales relacionadas con el ambiente en el sector agroindustrial, haciendo énfasis en materia de mejores prácticas a aplicar que favorezcan la reducción de las emisiones.

Cuadro 6. Criterio de significancia respecto al porcentaje de emisiones de CO₂eq de cada fuente emisora de GEI.

Porcentaje en emisiones (%)	Significancia
< 0,5	Despreciable
0,5 - 10	Baja
10 - 25	Media
>25	Alta

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de las fuentes emisoras de CO₂eq.

De acuerdo con el alcance establecido en el punto 3.2., algunos elementos de la ecuación 1 no fueron considerados dentro de la estimación de las emisiones de GEI bajo el estándar ISCC 205 V 4.0, debido a la naturaleza del proceso y las condiciones actuales.

La justificación del descarte de estos elementos se especifica en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Justificación del descarte de elementos de la ecuación para el cálculo de GEI en la producción de biocombustible

Elemento descartado	Punto de la norma*	Justificación
e_l	4.3.2	No aplica dado que no ha habido cambio en el uso de suelo en los últimos 20 años, además la norma específica que para cultivos perennes como la palma se considerarán como un solo uso de suelo.
e_u	4.3.9	No se incluyen de forma explícita dado que estos valores de emisión por combustible ya se calculan dentro de las emisiones del proceso (e_{cc}) y de procesamiento (e_l). Según lo especificado en la norma, el e_u se aplica en el producto final que no es el caso en estudio.
e_{sca}	4.3.3	No se llevan los datos de la acumulación del suelo a causa de mejora en la actividad agrícola, aunque esta se ejecute, es necesario llevar los registros y estudios que demuestren el aumento del carbono en el suelo, de acuerdo con lo establecido en la norma.
e_{ccr} e_{ccs}	4.3.6	No hay prácticas ni tecnologías implementadas para el depósito mineral del CO ₂ emitido durante el proceso, por lo que no puede tomarse en cuenta según lo establecido en la norma.

*Estándar Internacional ISCC 205 V 4.0.

A partir de este descarte, los elementos de la ecuación para el cálculo que GEI en biocombustibles que aplican al trabajo se observan en la Figura 10.

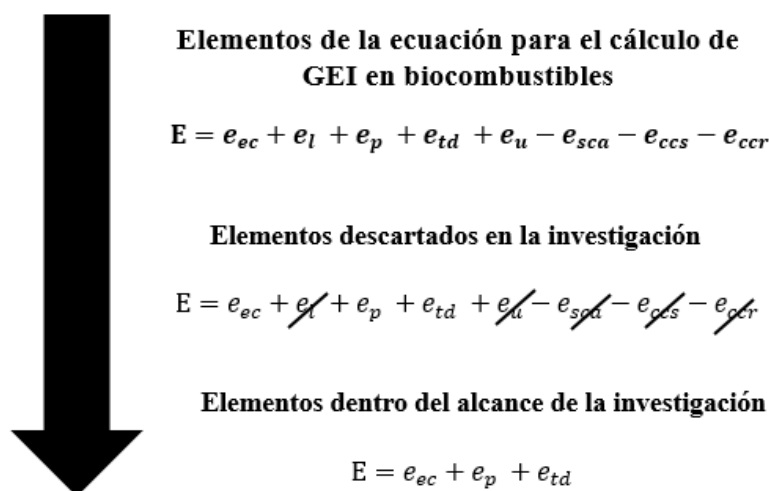


Figura 10. Elementos de la fórmula de emisiones dentro del alcance de investigación.
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 8 se presentan las fuentes emisoras identificadas de acuerdo con los elementos individuales presentados en la Figura 10, mismas que se deben tomar en cuenta para el cálculo de emisiones finales de CO₂eq para el aceite crudo de palma y los coproductos aceite crudo de almendra y harina de almendra, según lo establecido en la norma ISCC.

Cuadro 8. Fuentes emisoras de CO₂eq identificadas en la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. durante la operación en el año 2021.

Elemento	Tipo de fuente	Fuente emisora
Emisiones de cultivo (e _{ec})	Combustible	Diesel
		Urea
	Fertilizante	Nitrato de amonio (NAM)
		Fosfato diamónico (DAP)
		Sulfato de amonio (SAM)
		Emisión directa de N ₂ O del suelo

Continuación Cuadro 8

Emisiones de cultivo (e_{cc})	Fertilizante	Emisión indirecta de N ₂ O del suelo
		deposición atmosférica
	Pesticidas	Emisión indirecta de N ₂ O del suelo
		lixiviación
Emisiones de proceso (e_p)	Agua residual	Glifosato
		Pesticidas
	Compostaje	Electricidad
		Electricidad
	Agua de proceso	POME
		Compostaje EFB- POME
Transporte (e_{td})	Transporte	Agua proceso
		Combustible
		Diesel
		Electricidad
Transporte (e_{td})	Transporte	Hexano
		Hidróxido de sodio
		Marítimo
		Terrestre-tanque lleno
		Terrestre- tanque vacío

Fuente: elaboración propia.

4.2. Cálculo de las emisiones de CO₂eq bajo el estándar ISCC.

Se realizó la estimación de emisiones de CO₂eq para la producción de aceite crudo de palma, aceite crudo de almendra y harina de almendra de la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. siguiendo la metodología de ISCC 205 V 4.0, con los datos de entrada aportados por cada departamento responsable relacionado con la fuente emisora identificada en el Cuadro 8, los cuales se presentan en Apéndice 1, y utilizando los factores de conversión a CO₂eq respectivos establecidos por la ISCC y el factor para la electricidad emitido por el IMN, estos factores se muestran en el Anexo 1.

4.2.1. Resultado de la estimación de emisiones de CO₂eq por elemento.

De acuerdo con los elementos identificados dentro del alcance, según se presenta en la Figura 10, se presentan los cálculos relacionados con la producción (e_{ec}) y del proceso (e_p), en el Apéndice 2, en tanto los cálculos relacionados con las emisiones directas e indirectas de NO_x siguiendo la guía del IPCC se presenta en el Apéndice 3, el consolidado de estos datos forman parte del cálculo de emisiones de producción.

En cuanto a las emisiones relacionadas con el transporte, su cálculo se presenta Apéndice 4, siguiendo la guía de cálculo para este rubro, tanto para la parte terrestre como para la parte marítima.

Cuadro 9 presenta los resultados de la distribución de las emisiones, para un total de 21 859 toneladas de CO₂eq emitidas durante el año 2021, siendo las emisiones de proceso las que presentan un mayor porcentaje en la emisión de CO₂eq, siguiéndole las emisiones por cultivo, y ya con un porcentaje más bajo con respecto a las anteriores, se encuentran las emisiones por transporte.

Cuadro 9. Resultados de la estimación de CO₂eq para el año 2021.

Elemento	Emisión (Ton CO₂eq)	Porcentaje
Emisiones de cultivo (e _{ec})	6414	29%
Emisiones de proceso (e _p)	14615	67%
Transporte (e _{td})	829	4%

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 11 se presenta la distribución porcentual de las emisiones asociadas a las fuentes en el cultivo de palma, los datos numéricos se presentan en el Apéndice 2. Se observa que en este elemento de la ecuación, la fuente con la mayor emisión es el fertilizante, la cual representa un total del 93% de la emisión de CO₂eq debido a la cantidad de nitrógeno contenido y el asocia con las emisiones directas e indirectas de NO_x, cuyo cálculo se presenta en el Apéndice 3, lo cual eleva el cálculo de emisión ya que el factor de conversión del nitrógeno corresponde a 298 Ton CO₂eq/Ton N₂O, según se presenta en el Anexo 1.

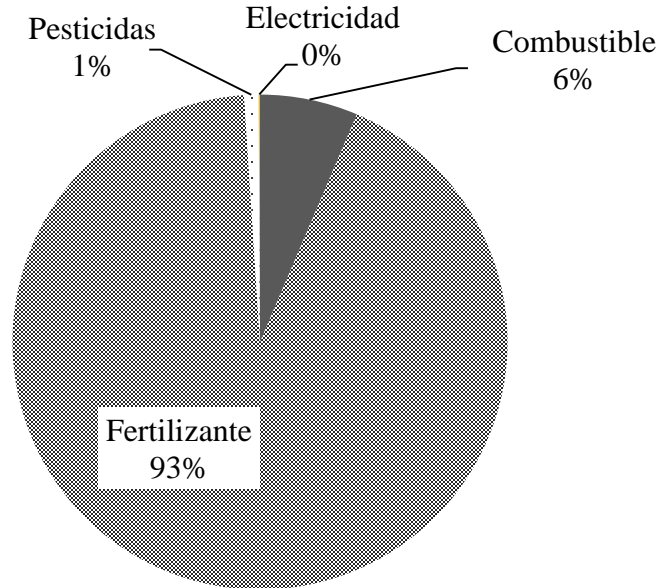


Figura 11. Distribución de las emisiones de cultivo e_{cc}.
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 12 se presenta de forma porcentual las emisiones asociadas al proceso por cada fuente identificada según se indica en el Cuadro 8. De acuerdo con los resultados obtenidos el POME representa la mayor fuente de emisión, un 93% del total de emisiones asignadas al elemento de la ecuación, esto debido al alto contenido de materia orgánica que posee al salir del proceso industrial y el proceso de tratamiento se realiza de forma convencional en sistemas lagunares abiertos, por lo que durante el proceso anaeróbico se produce metanol el cual también corresponde a un GEI. ISCC tiene un factor directo para el POME que corresponde a 0,16 Ton CO₂eq/Ton POME, de ahí que su valor final y relevancia en la distribución sea significativo con respecto a las otras fuentes identificadas.

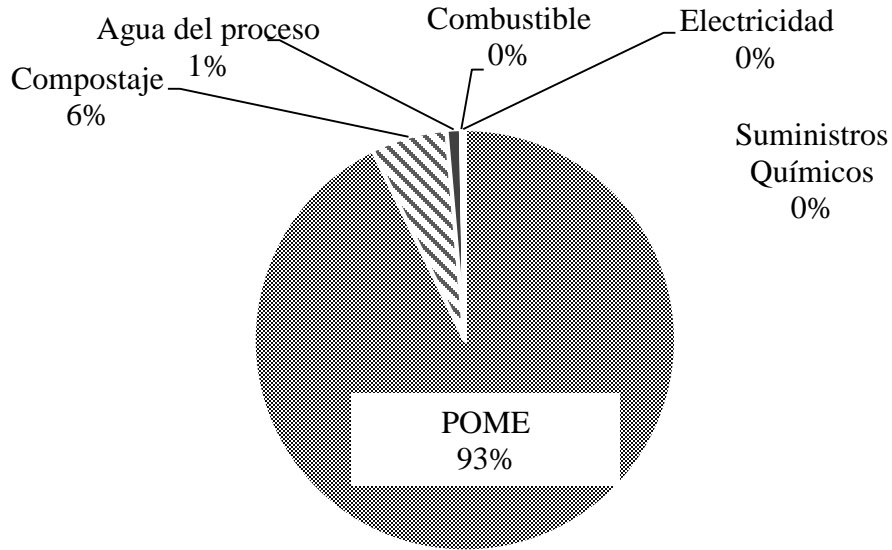


Figura 12. Distribución de las emisiones del proceso e_p .
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 13 se presenta la distribución porcentual de las emisiones asociadas al elemento transporte, en donde se denota que la mayor fuente de emisión corresponde al transporte marítimo con un 67%, esto debido a las distancias recorridas utilizando este medio para llegar a su sitio final, después el segundo en relevancia es el transporte terrestre lleno con un total de 22% de la estimación de emisiones, este rubro es asignado a la distancia que recorre el medio de transporte terrestre cuando va cargado del material con potencial de biocombustible, y el tercero en relevancia corresponde al transporte terrestre vacío con un 11% del total de emisiones de transporte y se refiere a las emisiones cuando el medio de transporte va vacío de regreso luego de hacer entrega el material, este valor corresponde a la mitad del transporte lleno ya que en los factores establecidos por ISCC así lo determinan, según se muestra en el Anexo 1.

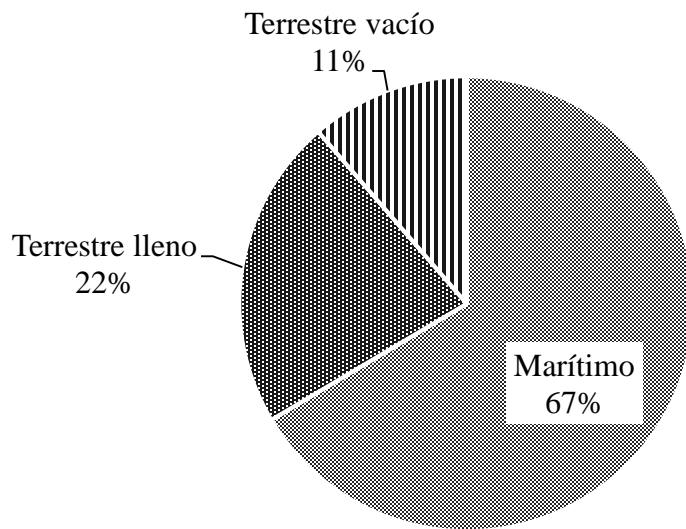


Figura 13. Distribución de las emisiones de transporte e_{td} .
Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Resultado consolidado de la estimación de emisiones de CO_2eq .

En el Cuadro 10 se presentan los resultados de emisión en Ton CO_2eq por cada fuente generadora identificada, en donde se evidencia, de acuerdo con la significancia planteada en el Cuadro 6, que las fuentes generadoras con una significancia alta corresponden al fertilizante con un 27,17% y el POME con un porcentaje de 62,05% del total de emisiones, lo que las constituyen como las principales fuentes de emisoras de CO_2eq dentro del alcance.

Otras fuentes como el compostaje, agua del proceso, combustible y transporte, la emisión que aportan es baja de acuerdo con los criterios de significancia, debido a que las mismas no superan el 10% del total de la emisión del alcance, y las fuentes emisoras de pesticidas, electricidad y suministros químicos son consideradas como despreciables, incluso podrían excluirse del cálculo ya que la misma norma ISCC 205 V 4.0, en el apartado 4.1 establece que las fuentes emisoras con un porcentaje menor al 0,5% pueden ser excluidos ya que no tienen impacto en el resultado de la estimación (ISCC System GmbH, 2021b).

Cuadro 10. Resultados de la estimación de CO₂eq por fuente generadora para el año 2021.

Fuente	Emisión (Ton CO ₂ eq)	Porcentaje	Significancia
Transporte	829	3,79%	Baja
Suministros químicos	0	0,00%	Despreciable
Electricidad	44	0,20%	Despreciable
Pesticidas	60	0,27%	Despreciable
Fertilizante	59	27,17%	Alta
Combustible	416	1,90%	Baja
Agua de proceso	160	0,73%	Baja
Compostaje	848	3,88%	Baja
POME	13 564	62,05%	Alta

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Distribución de las emisiones de CO₂eq por tipo de biocombustible.

Los productos con potencial de biocombustible aplicables a la norma ISCC corresponden al aceite crudo de palma como producto y el aceite crudo de almendra y la harina de almendra como coproductos, la distribución de las emisiones por cada uno de estos se hace a través del potencial calorífico, los resultados de estos cálculos se presentan en el Apéndice 5.

Con los datos de la cantidad de biomasa del producto, utilizando la fórmula 21, los datos de entrada ubicados en el Apéndice 1 y los potenciales caloríficos presentados en el Cuadro 5, se obtiene:

$$Energía_{CPO} = 24716000 \left[\frac{kg_{base\ seca\ CPO}}{año} \right] * 37 \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 914484696 \left[\frac{MJ}{año} \right]$$

Para el cálculo del factor de asignación, se utiliza la fórmula 20 de la siguiente manera:

$$AF_{ACP} = \frac{914492000 [MJ]}{1021713000 [MJ]} = 0,8951$$

En el Cuadro 11, se presenta el total de energía del producto y coproductos para el año en estudio, así como su respectivo factor de asignación de emisiones por cada uno de estos.

Cuadro 11. Estimación de la energía total producida por el aceite crudo de palma, aceite crudo de almendra y harina de almendra para el año 2021.

Producto	Cantidad de biomasa (kg)	LHV (MJ/kg)	Total de energía (MJ)	Factor de asignación
CPO	24716000	37	914492000	0,8951
PKO	1814000	37	67118000	0,0657
PKE	2359000	17	40103000	0,0392
Total			1021713000	

Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenido el factor de asignación, se procede a realizar la asignación de las emisiones de CO₂eq siguiendo la fórmula 23. A continuación se presenta un ejemplo de asignación de emisiones para el caso de CPO utilizando las emisiones de cultivo, presente en el

Cuadro 9, haciendo la conversión de Ton a kg.

$$e_{ec} \left[\frac{kgCO_2eq}{ton\ base\ seca} \right] = e_{ec\ no\ asignada} \left[\frac{kgCO_2eq}{ton\ base\ seca} \right] * AF$$

$$e_{ec\ CPO} \left[\frac{kgCO_2eq}{ton\ base\ seca} \right] = \left[\frac{6\ 414\ 000\ kg\ CO_2eq}{24716\ ton\ CPO\ base\ seca} \right] * 0,8951 = 232 \left[\frac{kgCO_2eq}{ton\ base\ seca} \right]$$

El total anual de emisiones de GEI no asignadas expresadas en toneladas de CO₂eq/año y las emisiones de GEI asignadas para la producción de aceite crudo de palma, aceite crudo de almendra y harina de almendra expresadas en kg CO₂eq/Ton seca de materia prima, se reportan en el Cuadro 12.

Tanto el valor para el CPO como para el PKO se mantiene en un total de 793 kg CO₂eq/Ton base seca, ambos resultados son iguales dado que el potencial calórico a nivel teórico reportado para y la distancia de transporte es la misma, según los datos presentados en el Cuadro 5.

En cuanto al PKE, este reporta un valor de 350 kg CO₂eq/Ton base seca, debido a que su potencial calorífico es diferente a los otros dos productos, además que su venta se realiza en la puerta de la planta extractora por lo que no suma emisiones por transporte.

Cuadro 12. Emisiones de GEI totales anuales asignadas para la producción de aceite crudo de palma, aceite crudo de almendra y harina de almendra.

	Sin Asignar (Ton CO ₂ eq/año)	CPO (kg CO ₂ eq/ Ton base seca)	PKO (kg CO ₂ eq/ Ton base seca)	PKE (kg CO ₂ eq/ Ton base seca)
Cultivo e_{cc}	6261	227	227	104
Combustible	410	15	15	7
Fertilizante	5938	215	215	99
Pesticidas	60	2	2	1
Electricidad	6	0	0	0
Procesamiento - e_p	14615	529	529	243
Agua residual	13564	491	491	226
Compostaje	848	31	31	14
Agua de proceso	160	6	6	3
Combustible	5	0	0	0
Electricidad	37	1	1	1
Químicos	0	0	0	0
Transporte e_{td}	829	31	31	0
Total	21859	793	793	350

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Ahorro de emisiones por tipo de biocombustible.

Para el cálculo de los porcentajes de ahorro de emisiones, de acuerdo con lo presentado en la Figura 6, las emisiones de CO₂eq asignadas se convierten a unidades de g CO₂eq/ MJ, utilizando el factor de potencial calorífico presentado en el Cuadro 5 para cada uno de los elementos de la

ecuación, estos datos se presentan en el Apéndice 6, como parte de la declaración de sostenibilidad según los requisitos para la comercialización del material certificado.

El valor obtenido se compara con el estándar fósil de referencia para obtener el porcentaje de ahorro, utilizando los datos finales de cada producto presentados en el Apéndice 7, contra los datos de factores presentados en el Cuadro 3, y utilizando la fórmula 24 de acuerdo con el tipo de área de consumo de combustible. Se presenta un ejemplo del cálculo de ahorro de combustible fósil con el valor obtenido para el CPO que fue de 21,43 g CO₂eq/ MJ con respecto al área transporte, el cual es de 94 g CO₂eq/ MJ:

$$\text{Ahorro de emisiones transporte(\%)} = \frac{94 - 21,43}{94} \times 100 = 77,2\% \text{ de ahorro de emisiones}$$

Se obtiene un 77,2% de ahorro en emisiones, el cual al compararlo con el porcentaje mínimo de reducción 65%, establecido por RED II referido a biocombustibles y biogás consumidos en el sector transporte, en instalaciones en funcionamiento a partir del 1 de enero de 2021, el biocombustible analizado cumple en esta fase con los límites de generación de CO₂eq para este sector, con un porcentaje de ahorro de 12,2% superior al mínimo establecido para este rubro.

En el Cuadro 13 se presentan los porcentajes de reducción de emisiones GEI para los productos de la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. con potencial de uso de biocombustible, de acuerdo con el alcance y las características planteadas y los resultados de la estimación de CO₂eq bajo es estándar internacional ISCC presentados en el Cuadro 12 y en el Apéndice 6.

Los porcentajes de reducción, confrontados contra los límites mínimos de reducción establecidos por la RED II, da como resultado que los tres productos poseen un porcentaje de reducción mayor a estos mínimos, lo que los hace factibles para ingresar al mercado de los biocombustibles dado su cumplimiento con este parámetro.

Es importante señalar que el alcance del trabajo considera principalmente productos intermedios y que los parámetros de referencia usados en la comparación se relacionan productos finales. Este análisis se realiza con el fin de determinar estos porcentajes de reducción a este nivel del proceso y verificar su cumplimiento con los límites mínimos establecidos por la RED II.

Cuadro 13. Porcentajes de reducción de emisiones GEI de los productos con potencial de biocombustible de acuerdo con el estándar internacional ISCC V 4.0.

Rubro	Biocombustible	Aceite crudo de palma (%)	Aceite crudo de almendra (%)	Harina de almendra (%)	Estándar de referencia*
Biocombustible para transporte		77,2	77,2	78,1	65
Biocombustible para electricidad		88,3	88,3	88,8	70
Biocombustible para la producción de energía para calefacción y refrigeración		73,2	73,2	74,3	70
Biomasa para la producción de electricidad		88,3	88,3	88,8	65
Biomasa para la para la producción de energía para calefacción y refrigeración		73,2	73,2	74,3	70
Biomasa utilizada para la sustitución de carbón		82,7	82,7	83,4	70

Fuente: elaboración propia.

*Estándar de referencia más estricto establecido por la RED II, los valores de referencia por sector y antigüedad se presentan en el Cuadro 4.

4.3. Opciones de mejora para la reducción de emisiones de GEI.

A continuación se presentan las propuestas de mejora de mayor relevancia e impacto directo en los resultados finales de emisión con base a los criterios de ISCC y las acciones a tomar en cuenta en miras a reducir la emisión de GEI, como parte de la orientación hacia el cumplimiento de las metas de los ODS mostrados en el Cuadro 1, de tal forma que se utilicen los recursos con mayor eficiencia y lograr una gestión más sostenible procurando un menor impacto negativo sobre los recursos naturales.

4.3.1. Tratamiento del POME.

Según se observa en el Cuadro 10, el POME es la principal fuente emisora de GEI, sus emisiones representan un 62,05% del total de CO₂eq emitido por la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. durante el año 2021, este dato es coherente dada la naturaleza de las aguas residuales resultantes del procesamiento de palma aceitera, en donde tiene un alto contenido de materia orgánica y su tratamiento inicia con un proceso anaerobio en donde dicha materia orgánica se transforma en metano, y en este caso al estar las lagunas abiertas, este GEI se emite directamente a la atmósfera.

La principal forma de tratar esa fuente de emisión es a través de la implementación de la tecnología de captura de metano, mediante el encarpamiento de las lagunas. Esta acción elimina la emisión de directa de metano a la atmósfera además de ser una fuente de energía.

De acuerdo con Althausen (2016), en el proceso de digestión anaeróbica del POME, las bacterias emiten una mezcla de gases (en su mayoría, 60 % metano y 35 % dióxido de carbono) con un potencial energético de 6 kilovatios hora (kWh) por metro cúbico. Este biogás se puede capturar y utilizar como combustible en la producción de energía. Cada metro cúbico de POME tiene un potencial entre 25 y 35 m³ de biogás o 150-210 kWh de energía.

La norma ISCC 205 Versión 4.0 tiene contemplado el beneficio con respecto a tener las lagunas encarpadas y que como parte del proceso se quemó el metano producido, en caso que se tenga implementada esta tecnología, la emisión por POME tiene un factor de emisión estándar de 0 (ISCC System GmbH, 2021bc), según se presenta en el Cuadro 14, por lo tanto las emisiones por

esta fuente se cancelarían, generando una potencial reducción del 62,05 % del inventario final de emisiones para este caso en estudio.

La unidad de manejo debe asegurar el buen estado del sistema y mostrar evidencia de esto durante la auditoría de certificación, para que dicha acción sea válida.

Cuadro 14. Factores de conversión para el cálculo de CO₂eq de acuerdo con el tipo de laguna de tratamiento de POME.

Entrada	Unidad	Factor estándar
Tratamiento de POME con lagunas abiertas	kg CO ₂ eq/kg POME	0,16
Tratamiento de POME con lagunas cerradas y quema de emisiones	kg CO ₂ eq/kg CPO	0

Fuente: ISCC System GmbH (2021b).

4.3.2. Aplicación de fertilizante químico.

El uso del fertilizante químico en la agricultura es la segunda fuente emisora de relevancia, la cual representa un total del 27,17% de las emisiones de CO₂eq del proceso completo en análisis. De los tipos de fertilizante, el de mayor relevancia corresponde al Sulfato de Amonio (SAM), dado que es el mayor emisor de CO₂eq, dada la información que se presenta en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Emisiones de CO₂eq vinculadas al uso de fertilizantes químicos.

Tipo de fertilizante	Cantidad de fertilizante aplicado (Ton)	Total (Ton CO₂eq)*	CO₂eq emitido/ Ton de fertilizante
Urea	690	2028	2,94
Nitrato de amonio (NAM)	658	1245	1,89
Fosfato diamónico (DAP)	418	475	1,14
Sulfato de amonio (SAM)	260	2190	8,43

Fuente: elaboración propia.

*Se incluyen las emisiones directas por uso y las directas e indirectas de N₂O del suelo

Algunas de las medidas para lograr disminuir el consumo de fertilizante y por ende las emisiones de CO₂eq están:

4.3.2.1.1. Implementación de un programa nutricional.

El proceso de fertilización en el cultivo de palma aceitera es necesario para proporcionar y/o reponer los nutrientes que la planta necesita para su crecimiento y producción, estableciendo programas de nutrición adecuados y acordes a las necesidades propias de cada plantación, (Bernal et al., 2013).

De acuerdo con Grupo Jaremar (2016), para este programa, es necesario iniciar con el análisis del suelo y análisis foliar de nutrientes y de acuerdo con los resultados se procede a elaborar el programa nutricional en donde se definen las fuentes de fertilizante a utilizar y la forma de aplicación, de esta forma se asegura que se utilice solo lo estrictamente necesario, sin que haya excesos o deficiencias, lo que ayuda a evitar la emisión de N₂O a la atmósfera.

4.3.2.1.2. Manejo eficiente del nitrógeno mediante el monitoreo de las condiciones atmosféricas.

Realizar una adecuada aplicación de fertilizante, llevando el control de la época del año en que se aplica, con esto se busca evitar que coincida con fenómenos atmosféricos como las inundaciones o sequías, esto dado que el óxido nitroso se produce normalmente en condiciones de anegamiento, por tanto, se debe evitar las aplicaciones de fuentes nitrogenadas cerca de las épocas de mayor precipitación (Snyder et al., 2009).

En particular se debe tener cuidado en el manejo la urea, dado que es una fuente con alta concentración de nitrógeno, pero propensa a fuertes pérdidas de no manejarse adecuadamente. No es recomendable aplicar la urea en suelo seco o en época de lluvias pues existe un riesgo muy elevado de pérdidas por volatilización o escorrentías (Sakata et al., 2015).

4.3.2.1.3. Utilización de fertilizantes orgánicos.

La adición de materia orgánica al suelo producida a través de la poda de las hojas de las plantas y el compostaje de residuos de biomasa generada durante el procesamiento de la palma aceitera, es considerada como una buena práctica, (Vargas et al., 2017).

La incorporación de compost al suelo contribuye significativamente a reciclar materia orgánica y nutrientes, lo que contribuye al mejoramiento de las condiciones microbiológicas y la fertilidad del suelo, así como reducir el uso de fertilizantes químicos y por ende las emisiones de N_2O , manteniendo la producción y la sostenibilidad de los rendimientos en el largo plazo (Grupo Jaremar, 2016).

4.3.2.1.4. Utilización de fertilizantes de liberación lenta.

El uso de fertilizantes que tengan la característica de liberación lenta cuando estos sean aplicados en el campo de cultivo puede lograr una mejor absorción de nutrientes por parte de las plantas, lo que evita las posibles pérdidas por lixiviación y volatilización que ocurren al aplicar los fertilizantes convencionales, lo cual puede traducirse en un beneficio medio ambiental al reducir las emisiones de gases de N_2O a la atmósfera, (Hurtado et al., 2007).

Ronen (2010) indica que con esta tecnología se puede alcanzar una reducción del 30 al 50% del fertilizante recomendado ya sea nitrógeno o fósforo, porque se tiene una mayor eficiencia aprovechamiento, además que se reduce la volatilización y la lixiviación y esa eficiencia se puede traducir en una tasa más baja de aplicación de fertilizantes.

4.3.3. Incorporación de la reducción de emisiones por buenas prácticas agrícolas (e_{sca}) a la fórmula del cálculo.

Con la incorporación de este apartado de la fórmula del cálculo de emisiones, se permite aprovechar ahorros de emisiones (e_{sca}), debido a la acumulación de carbono en el suelo impulsada por la adopción de una gestión agrícola mejorada en el cultivo de palma aceitera, dentro de las cuales están:

- El uso de cultivos de cobertura y gestión de residuos orgánicos del cultivo, lo cual, de acuerdo con (Gómez et al., 2017) con esta técnica se busca generar un mejor control de las malezas, se genera un aporte y reciclaje de nutrientes en el suelo, se previene la erosión y hay un aporte de materia orgánica.
- Gestión mejorada de fertilizantes orgánicos y mejoradores del suelo: durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma, se generan toneladas de raquis vacíos y efluentes, que pueden ser aprovechadas como materia orgánica y ser utilizadas como abono orgánico en las plantaciones de palma, el cual tiene el potencial de solucionar el problema ambiental relacionado con la gestión de residuos y a vez con la degradación de los suelos, (Corzo & Juracán, 2020).

ISCC 205 Versión 4.0, en el apartado 4.3.3 establece las siguientes tres opciones para realizar el cálculo de concentración de carbono en el suelo (ISCC System GmbH, 2021b):

- Metodología del IPCC, según se define en las directrices de 2006 "Tierras de Cultivo", (IPCC, 2006a).
- Mediciones de campo.
- Mediciones de campo combinadas con modelado de cultivos y suelos.

4.3.4. Migración al modelo de segregación física.

La segregación física es el modelo de más valor en el mercado e indica que los materiales con diferentes propiedades de sostenibilidad (convencional y certificado) se mantienen físicamente separados entre sí en su viaje a través de la cadena de suministro de productos certificados ISCC (ISCC System GmbH, 2021a).

Para lograr el avance a este modelo, es necesario que todos los RFF que ingresen a la planta extractora sean considerados como sostenibles dentro del sistema de certificación de ISCC, para esto se debe montar un sistema de gestión y control para la administración de los productores independientes de palma aceitera que le venden la producción a la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A., esto conlleva a trabajar de forma conjunta con cada uno de ellos el tema de la sostenibilidad ambiental, social y económica de acuerdo con los principios de ISCC, así como la

tabulación y control de los datos de generación de GEI en sus fincas y su introducción dentro del cálculo final de la declaración de carbono de los productos. Este modelo generaría un valor agregado de impacto de sostenibilidad a un mayor nivel dado que se abarcaría mayor área y el sistema sería más armonioso a nivel de ambiente, social e incluso económico ya que el beneficio económico del participar en el sistema de certificación se trasladaría también hacia este sector productivo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Se identificaron 11 tipos fuentes emisoras de CO₂eq, cuatro en el cultivo: combustible, fertilizante, pesticidas y electricidad, seis en el proceso: agua residual, compostaje, agua del proceso, combustible, electricidad y suministros químicos, y una en el transporte.

Para el año 2021, la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. emitió un total de 21 859 toneladas de CO₂eq y una asignación por contenido energético de 793 kg CO₂eq/Ton base seca para el aceite crudo de palma y el aceite crudo de almendra y 350 kg CO₂eq/Ton base seca para la harina de almendra.

Los resultados en el ahorro de emisión asignados al aceite crudo de palma, el aceite crudo de almendra y la harina de almendra, a nivel de producto intermedio, cumplen con los parámetros mínimos de reducción de los diferentes sectores establecidos por la RED II, lo que los hace viables para ingresar al mercado de los biocombustibles con la certificación de sostenibilidad ISCC, por ejemplo, en el caso del CPO, se obtuvo un porcentaje de 12,2% de ahorro superior a lo establecido por RED II.

El POME y los fertilizantes corresponden a las fuentes de emisión de GEI más significantes, como opción para reducir las emisiones de este tipo está el de encarpar las lagunas de tratamiento para poder capturar el metano y aprovecharlo como fuente, con esto se reduciría las emisiones de CO₂eq en un 62,05% según la estimación actual bajo los lineamientos de ISCC, y la implementación de buenas prácticas agrícolas dirigidas al control y optimización del uso de fertilizante en las plantaciones, que contribuyan a disminuir el consumo de este sin poner en riesgo la producción y su rentabilidad.

La incorporación del criterio de ahorro de emisiones por la aplicación de buenas prácticas agrícolas corresponde a una opción que conllevaría a la reducción final de emisiones dentro de la ecuación de cálculo, para esto debe implementarse los estudios correspondientes que permitan evidenciar la acumulación de carbono en el suelo y de esa forma validar su uso en el cálculo respectivo.

La investigación tuvo una relación directa con las metas de los ODS, dado su enfoque de caracterizar una fuente de energía renovable a través de una métrica internacional como la estimación de las emisiones de carbono, además de presentar recomendaciones que conlleven a un uso más eficaz de los recursos y de medidas que incidan directamente a una mejor gestión y disminución del impacto negativo sobre los recursos naturales.

5.2. Recomendaciones.

Se sugiere implementar un procedimiento operativo interno y la implementación de una plataforma de software para la toma y reporte de datos relacionados con el inventario de emisiones para asegurar la calidad y manejo adecuado de la información.

Se debe revisar anualmente los factores utilizados para las diferentes conversiones a CO₂eq para garantizar el uso del valor más reciente disponible.

Es importante capacitar de forma continua al personal involucrado en el sistema con entes externos especialistas en la certificación ISCC, ya que esto permite conocer, aplicar los diferentes cambios y actualizaciones que se emitan relacionadas tanto en el cálculo del GEI como en el cumplimiento de la norma en general.

Se recomienda estudiar las opciones de mejora planteadas en este trabajo para ver la viabilidad técnica y económica de: 1) encarpar las lagunas de tratamiento para capturar el metano y aprovecharlo como fuente energética, 2) la gestión adecuada de los programas de fertilización y 3) la medición de carbono en el suelo para incorporar este apartado en los ahorros de emisiones por buenas prácticas agrícolas.

Verificar mediante una auditoría externa, la validez final de los datos y el cálculo de las emisiones GEI, como parte del proceso que conlleva la certificación bajo el estándar ISCC 205 Versión 4.0.

6. REFERENCIAS

- Althausen, M. (2016). Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio - Convertir un residuo en un recurso. *Revista Palmas*, 37, 31–37. https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Memorias de la XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de aceite/M_2_3_ Tratamiento de Efluentes.pdf
- Barcelos, E., De Almeida Rios, S., Cunha, R. N. V., Lopes, R., Motoike, S. Y., Babiychuk, E., Skiryecz, A., & Kushnir, S. (2015). Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Frontiers in Plant Science*, 6(MAR), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00190>
- Ben Eli, M. . (2015). Sustainability: Definition and Five Core Principles - A New Framework. *The Sustainability Laboratory*, 1–12.
- Bernal, G., Ronquillo, M., Vega, C., & Paredes, E. (2013). Guía de campo sobre la pudrición de cogollo. *ANCUPA*, 1–26. <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dcz/4aaii-guia-pc-min.pdf>
- Brinkmann, A. (2013). Handbook on sustainability certification of solid biomass for energy production. *Netherlands Programmes Sustainable Biomass*.
- Chinchilla, J. (2021). *Porcentajes de extracción en Planta Naranja, entrevista personal*.
- Corzo, J. M., & Juracán, R. (2020). Elaboración de compost y su utilización en la fertilización del cultivo de palma de aceite. *Grepalma, Boletín La Palma*, 5(14), 1–12. https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2020/03/BOLETIN14_ANIOS5_-MARZO-2020-1.pdf
- Environment Agency. (2012). *Guidance on The Legal Definition of Waste and Its Application*. August, 69. www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69590/pb13813-waste-legal-def-guide.pdf
- Fontalvo, M., Vecino, R., & Amandis, S. (2014). El aceite de palma africana *elae guineensis*: Alternativa de recurso energético para la producción de biodiesel en Colombia y su impacto ambiental. *Prospectiva*, 12(1), 90. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i1.155>

- García, S. (2019). Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 2018(87), 141–144.
- Gil Lafuente, A., & Barcellos, L. (2011). LOS DESAFÍOS PARA LA SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL EN EL SIGLO XXI. *Revista Galega de Economía*, 20(1132–2799), 1–22.
- Gomez, M., de la Rúa Lope, C., Macías, M., Bermejo, N., García, P., Fernández, R., & Fernández, S. (2014). *Guía sobre Declaración Ambiental de Producto y Cálculo de Huella de Carbono*. 230.
- Gómez, R., González, M. I., Agüero, R., Mexzón, R., Herrera, F., & Rodríguez, A. M. (2017). Conocimiento sobre coberturas vivas y disposición a utilizarlas por productores de varios cultivos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 489. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23403>
- Gomiero, T. (2015). Are biofuels an effective and viable energy strategy for industrialized societies? A reasoned overview of potentials and limits. *Sustainability (Switzerland)*, 7(7), 8491–8521. <https://doi.org/10.3390/su7078491>
- Grupo Jaremar. (2016). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para la Producción Sostenible de la Palma Aceitera por Pequeños Productores* (1a ed). http://www.fhia.org.hn/downloads/pdfs_palma_aceitera/manual_buenas_practicas.pdf
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (S. A. D. C. . INTERAMERICANA EDITORES (ed.); McGRAW-HIL).
- HLPE. (2013). *Los biocombustibles y la seguridad alimentaria. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial*. 157.
- Hurtado, M., Hernandez, M., Dupeyron, D., Rieumont, J., Rodriguez, C., Cuesta, E., & Sardiña, C. (2007). Síntesis y comportamiento de un material polimérico aplicado como recubrimiento en un fertilizante de liberación controlada. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 8(4), 275–286. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/2007-gonzalez.pdf>
- IPCC. (2006a). Capítulo 5 Tierras de Cultivo. *Directrices Del IPCC de 2006 Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, 1–74.

- IPCC. (2006b). Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea. *Capítulo 11: Emisiones de N₂O de Los Suelos Gestionados y Emisiones de CO₂ Derivadas de La Aplicación de Cal y Urea, 4: Agricul*, 1–56.
- IPCC. (2019). N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 4: Agricul*, 1–48.
- ISCC System GmbH. (2016). *ISCC 201 Fundamentos del sistema. 3.0*, 32.
- ISCC System GmbH. (2018). *Lists of material eligible for ISCC EU certification. June*, 1–12. <https://certificates.iscc-system.org/cert-pdf/EU-ISCC-Cert-ES216-20183041.pdf>
- ISCC System GmbH. (2019). *Trazabilidad y Cadena de Custodia Versión 3.1*. 46.
- ISCC System GmbH. (2021a). *ISCC 203. Traceability and of Custody. 4.0*, 1–39.
- ISCC System GmbH. (2021b). *ISCC 205 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. 4.0*, 61.
- Julio, F. (2017). Análisis Prospectivo De La Cadena Productiva De Palma Africana Para Obtención De Biodiesel En Colombia. *Universidad de San Buenaventura, Cartagena, Colombia*.
- Junker, J.-C. (2016). Decisión de ejecución (UE) 2016/1361 de la comisión 9 de agosto de 2016. *Diario Oficial de La Unión Europea, 2016(3)*, 9–10.
- Lathop, G., & Madrigal, M. (2018). Enfoques y experiencia de desarrollo económico local. *Instituto de Formación y Capacitación Municipal y Desarrollo Local*, 69.
- Maltsoglou, Irini and Khwaja, Y. (2010). Bioenergy and Food Security. *The Bioenergy and Food Security Project. Food and Agriculture Organization of the United Nations.*, 248.
- Mihajlovi, I., Milošević, I., Stojanović, A., Arsić, S., Arsić, S., & Đorđević, P. (2018). Importance of environmental sustainability for business sustainability. *8th International Conference on Environmental and Material Flow Management, November*, 14–16.
- Mohr, A., Beuchelt, T., Schneider, R., & Virchow, D. (2016). Food security criteria for voluntary biomass sustainability standards and certifications. *Biomass and Bioenergy*, 89, 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.02.019>

- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina. In *Revista de Derecho Ambiental* (Issue 10). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Ortiz, M. del C., García, P., Lagunes, L. M., Arregoitia, M. I., García, R., & León, M. A. (2016). Biodiesel production from crude palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq). Ascending path method application. *Acta Universitaria*, 26(5), 3–10. <https://doi.org/10.15174/au.2016.910>
- Ronen, E. (2010). Nuevas tecnologías de fertilización de la palma de aceite. *Palmas*, 31, 191–204.
- Rueda, A., & Ahumada, M. (2013). *Biodiésel Biodiésel*. Fedepalma. [https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/107591/Biodiesel de palma colombiano de la ficción energética a la realidad de un negocio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/107591/Biodiesel%20de%20palma%20colombiano%20de%20la%20ficción%20energética%20a%20la%20realidad%20de%20un%20negocio.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sakata, R., Shimada, S., Arai, H., Yoshioka, N., Yoshioka, R., Aoki, H., Kimoto, N., Sakamoto, A., Melling, L., & Inubushi, K. (2015). Effect of soil types and nitrogen fertilizer on nitrous oxide and carbon dioxide emissions in oil palm plantations. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(1), 48–60. <https://doi.org/10.1080/00380768.2014.960355>
- Schmitz, N. (2019). *ISCC – Solution Provider for Sustainable and Deforestation Free Supply Chains* (Issue May).
- Seyboth, K., Eickemeier, P., Matschoss, P., Hansen, G., Kadner, S., Scholomer, S., Timm, Z., & von Stechow, C. (2011). Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. In IPCC (Ed.), *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf
- Sierra, J., Sierra, L., & Olivero, J. (2017). Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 523. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25927>
- Silalertruksa, T., & Kawasaki, J. (2015). Guideline for Greenhouse Gas Emissions Calculation of Bioenergy Feedstock Production and Land Use Change (LUC): A case study of Khon Kaen Province, Thailand. *King Mongkut's University of Technology Thonburi and Institute for Global Environmental Strategies*, 25.

- Singh, S. P., & Singh, D. (2010). Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(1), 200–216. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.017>
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *133*(3–4), 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
- Sumathi, S., Chai, S., & Mohamed, A. (2008). Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *12*(9), 2404–2421. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.006>
- Torroba, A. (2020). Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020. *Instituto Interamericano de Cooperación Para La Agricultura*.
- Trigo, E., Chavarria, H., Pray, C., Smyth, S. J., Torroba, A., Wesseler, J., Zilberman, D., Mar, J. F., & Concepts, I. B. (2021). The Bioeconomy and Food Systems Transformation. *Food Systems Summit Brief*, *9*.
- Vargas, A., Berrocal, Á., Vignola, R., Watler, W., & Poveda, K. (2017). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos. Cultivo de palma aceitera en Costa Rica. *Mag*, 1–85. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-pina.pdf>
- Wahyono, Y., Hadiyanto, H., Budihardjo, M. A., & Adiansyah, J. S. (2020). Assessing the environmental performance of palm oil biodiesel production in indonesia: A life cycle assessment approach. *Energies*, *13*(12). <https://doi.org/10.3390/en13123248>

7. ANEXOS

Anexo 1: Factores utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI en la Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A.

Tipo de emisión	Fuente de emisión	Factor de emisión	Unidad del factor de emisión	Fuente bibliográfica del factor de emisión
Agua residual	POME	0,16	Ton CO ₂ eq/Ton POME	ISCC 205 Versión 4.0
Compostaje	Compostaje EFB-POME	0,01	Ton CO ₂ eq/Ton POME	ISCC 205 Versión 4.0
Agua	Agua proceso	0,00107	Ton CO ₂ eq/Ton Agua	ISCC 205 Versión 4.0
Combustible	Diesel	3,14	kg CO ₂ eq/l diesel	ISCC 205 Versión 4.0
Fertilizante	Urea	1,92	Ton CO ₂ eq/Ton N	ISCC 205 Versión 4.0
	Nitrato de amonio (NAM)	3,45	Ton CO ₂ eq/Ton N	ISCC 205 Versión 4.0
	Fosfato diamónico (DAP)	1,6423	Ton CO ₂ eq/Ton N	ISCC 205 Versión 4.0
	Sulfato de amonio (SAM)	2,724	Ton CO ₂ eq/Ton N	ISCC 205 Versión 4.0
	Emisión directa e indirecta de nitrógeno del suelo	298	Ton CO ₂ eq/Ton N ₂ O	IPCC
Pesticidas	Glifosato	11,522	Ton CO ₂ eq/Ton i.a	ISCC 205 Versión 4.0
	Otros pesticidas	10,97	Ton CO ₂ eq/Ton i.a	ISCC 205 Versión 4.0
Electricidad	Electricidad	0,0400	kg CO ₂ eq/kWh	IMN año 2021
Insumos químicos	Hexano	0,723	Ton CO ₂ eq/Ton kg	ISCC 205 Versión 4.0
	Hidróxido de sodio	0,469	Ton CO ₂ eq/Ton kg	ISCC 205 Versión 4.0
Transporte	Marítimo	0,0060571	kg CO ₂ eq/Ton-km	ISCC 205 Versión 4.0
	Terrestre-Lleno	0,49	litros diesel/kilómetro	ISCC 205 Versión 4.0
	Terrestre-Vacío	0,25	litros diesel/kilómetro	ISCC 205 Versión 4.0

8. APÉNDICES

Apéndice 1: Datos de entrada para el cálculo de las emisiones de CO₂eq.

Insumo de producción	Valor Informado	Unidad	Fuente
RFF procesada	166616	Toneladas	Lab Planta Extractora
RFF a certificar	110817	Toneladas	
Factor de Balance de Masas	0,66	-	
CPO total	37239	Toneladas	
CPO Total a certificar ISCC/MB	24768	Toneladas	
Humedad CPO	0,21%	%	
Total de CPO a certificar ISCC/MB base seca	24716	Toneladas	
PKO total	2732	Toneladas	
PKO Total a certificar ISCC/MB	1817	Toneladas	
Humedad PKO	0,17%	%	
Total de PKO a certificar ISCC/MB base seca	1814	Toneladas	
PKE total	3747	Toneladas	
PKE Total a certificar ISCC/MB	2492	Toneladas	
Humedad PKE	5,36%	%	
Total de PKE a certificar ISCC/MB base seca	2359	Toneladas	
Insumos Agrícolas			
Diesel	130727	Litros	M&S
Urea	690	Toneladas	Servicios Agrícolas
Nitrato de Amonio	658	Toneladas	
Fosfato Diamónico	418	Toneladas	
Sulfato de Amonio	260	Toneladas	
Glifosato	3930	kg a.i.	
Pesticidas	1316	kg a.i.	
electricidad	161700	kWh	Contabilidad
Insumo Planta extractora			
Tratamiento POME	127458	Toneladas	Lab Planta Extractora
Proceso Aguas	225481	Toneladas	
Diésel	2593	Litros	
Hexano	909	kg	
Hidróxido de Sodio	1	kg	
Electricidad	1406376	kWh	
Transporte			
Transporte CPO, Camión	3422	km	Google maps
Transporte CPO, Buque	129	km	searates.com
Transporte PKO, Camión	3422	km	Google maps
Transporte PKO, Buque	129	km	searates.com

Apéndice 2: Emisiones de la plantación (cultivo) y planta extractora (proceso).

Tipo de emisión	Alcance	Fuente de emisión	Cantidad total	Factor balance de masas/ Factor de distribución	Cantidad total para el cálculo GEI	Unidad	Factor de emisión	Unidad del factor de emisión	Equivalente de CO ₂ (Ton)	TOTAL POR TIPO DE EMISIÓN (Ton)
Agua residual	Planta Extractora	POME	127458	0,665	84773	Ton/año	0,16	Ton CO ₂ eq/TON POME	13564	13564
Compostaje	Planta Extractora	Compostaje EFB-POME	127458	0,665	84773	Ton POME/año	0,01	Ton CO ₂ eq/TON POME	848	848
Agua	Planta Extractora	Agua proceso	225481	0,665	149968	Ton/año	0,00107	Ton CO ₂ eq/TON Agua	160	160
Combustible	Planta Extractora	Diesel	2594	0,665	1725	litros/año	3,14	kg CO ₂ eq/l diesel	5	416
	Agricultura	Diesel	130727	1,000	130727	litros/año	3,14	kg CO ₂ eq/l diesel	410	
Fertilizante	Agricultura	Urea	690	0,460*	317	Ton N/año	1,92	Ton CO ₂ eq/TON N	609	5938
	Agricultura	Nitrato de amonio (NAM)	658	0,335*	221	Ton N/año	3,45	Ton CO ₂ eq/TON N	761	
	Agricultura	Fosfato diamónico (DAP)	418	0,180*	75	Ton N/año	1,6423	Ton CO ₂ eq/TON N	124	
	Agricultura	Sulfato de amonio (SAM)	260	0,210*	55	Ton N/año	2,724	Ton CO ₂ eq/TON N	149	
	Agricultura	Emisión directa del suelo	10	1,000	10	Ton N ₂ O/año	298	Ton CO ₂ eq/Ton N ₂ O	3126	
	Agricultura	Emisión indirecta del suelo deposición atmosférica	1	1,000	1	Ton N ₂ O/año	298	Ton CO ₂ eq/Ton N ₂ O	344	
	Agricultura	Emisión indirecta del suelo lixiviación	3	1,000	3	Ton N ₂ O/año	298	Ton CO ₂ eq/Ton N ₂ O	825	
Pesticidas	Agricultura	Glifosato	3930	1,000	3930	kg i.a./año	11,522	Ton CO ₂ eq/TON i.a	45	60
	Agricultura	Pesticidas	1316	1,000	1316	kg i.a./año	10,97	Ton CO ₂ eq/TON i.a	14	
Electricidad	Planta Extractora	electricidad	1406376	0,665	935387	kWh/año	0,04	kg CO ₂ eq/kWh	37	44
	Agricultura	electricidad	161700	1,000	161700	kWh/año	0,04	kg CO ₂ eq/ kWh	6	
Suministros Químicos	Planta Extractora	hexano	909	0,665	605	kg/año	0,723	Ton CO ₂ eq/TON kg	0	0
	Planta Extractora	hidróxido de sodio	1	0,665	1	kg/año	0,469	Ton CO ₂ eq/TON kg	0	
Total de emisiones propias									21029	21029

*Porcentaje de nitrógeno en el fertilizante

Apéndice 3: Cálculo de las emisiones directas e indirectas de N₂O.

DIRECTAS						
Tipo de fertilizante	Cantidad (Ton)	% Nitrógeno	Masa N (Ton)	FE1	Equivalencia estequiométrica	Total (ton N ₂ O)
Nitrato de amonio (NAM)	658	33,50%	220,6	0,01	1,57	3,47
Fosfato diamónico (DAP)	418	18%	75,2	0,01	1,57	1,18
Sulfato de amonio (SAM)	260	21%	54,6	0,01	1,57	0,86
Urea	690	46%	317,2	0,01	1,57	4,98
Fertilizante Orgánico	0	1,07%	-	0,01	1,57	0,00
Total						10,49

INDIRECTAS							
INDIRECTAS POR VOLATILIZACIÓN							
Tipo de fertilizante	Cantidad (Ton)	% Nitrógeno	Masa N (Ton)	Frac	EF4	Equivalencia estequiométrica	Total (Ton N ₂ O)
Nitrato de amonio (NAM)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Fosfato diamónico (DAP)	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Sulfato de amonio (SAM)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Urea	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Fertilizante Orgánico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total							1,15

INDIRECTAS POR LIXIVIACIÓN							
Tipo de fertilizante	Cantidad (Ton)	% Nitrógeno	Masa N (Ton)	Frac	EF5	Equivalencia estequiométrica	Total (Ton N ₂ O)
Nitrato de amonio (NAM)	658	33,50%	220,6	0,24	0,011	1,57	0,92
Fosfato diamónico (DAP)	418	18%	75,2	0,24	0,011	1,57	0,31
Sulfato de amonio (SAM)	260	21%	54,6	0,24	0,011	1,57	0,23
Urea	690	46%	317,2	0,24	0,011	1,57	1,32
Fertilizante Orgánico	0	1,07%	-	0,24	0,011	1,57	0,00
Total							2,77

Factores para el cálculo de emisiones directas e indirectas de fertilizantes *	
Factor	Valor
EF1	0,01
FracGASF inorgánico	0,11
FracGASF orgánico	0,2
Fraclixiación	0,24
EF4	0,01
EF5	0,011

*Tomados de IPCC (2006) y IPCC (2019).

Apéndice 4: Cálculo de emisiones por transporte.

Tipo de producto	Cantidad biocombustible (Ton base húmeda)	Tipo de transporte	Cantidad promedio de transporte (Ton/pipa/viaje)	Distancia (km)	Factor de emisión	Unidad del factor de emisión	Total de Diesel (Litros)	Factor de emisión	Unidad del factor de emisión	Equivalente de CO ₂ (Ton)	Total por tipo de biocombustible (Ton)
CPO	24768	Marítimo	-	3,422	0,0060571	kg CO ₂ eq/TON -km	-	-	-	513	773
	24768	Terrestre-Lleno	28,6	129	0,49	litros diesel/km	54,664	3,14	kg CO ₂ eq/litro diesel	172	
	24768	Terrestre-Vacío	28,6	129	0,25	litros diesel/km	27,890	3,14	kg CO ₂ eq/litro diesel	88	
PKO	1817	Terrestre-Lleno	28,6	129	0,49	litros diesel/km	4,016	3,14	kg CO ₂ eq/litro diesel	13	57
	1817	Marítimo	-	3,422	0,0060571	kg CO ₂ eq/TON -km	-	-	-	38	
	1817	Terrestre-Vacío	28,6	129	0,25	litros diesel/km	2,049	3,14	kg CO ₂ eq/litro diesel	6	
PKE	2492	Terrestre-Lleno	28,5	-	0,49	litros diesel/km	-	3,14	kg CO ₂ eq/litro diesel	0	0
	2492	Terrestre-Vacío	28,5	-	0,25	litros diesel/km	-	3,14	kg CO ₂ eq/litro diesel	0	
Total										829	829

Apéndice 5: Cuadro resumen del cálculo de emisiones de CO₂eq bajo el esquema de ISCC 205 Versión 4.0.

RESUMEN CÁLCULO GASES DE EFECTO INVERNADERO

Compañía Industrial Aceitera Coto 54 S.A. (Año 2021)					
ITEM	Unidades	CPO	PKO	PKE	Total
Cantidad biomasa a certificar ISCC/MB	Ton	24716	1814	2359	28888
Cantidad de emisiones Agricultura/Planta	Ton CO ₂ eq	-	-	-	21029
Potencial calórico	MJ/kg	37	37	17	-
Total de energía	MJ	914484696	67117099	40095629	1021697423
Factor de asignación por valor energético	-	0,8951	0,0657	0,0392	-
Distribución de las emisiones por energía	Ton CO ₂ eq	18823	1381	825	-
Emisiones por tonelada puerta de fábrica	kg CO ₂ eq/Ton biomasa	762	762	350	
Cantidad de emisiones por flete	Ton CO ₂ eq	773	57	0	829
Total de emisiones	Ton CO ₂ eq	19595	1438	825	21859
Emisiones por tonelada	kg CO₂eq/Ton biomasa	793	793	350	-
Emisiones por valor energético	g CO₂/MJ	21,43	21,43	20,58	-

Apéndice 6: Declaraciones de sostenibilidad.

A continuación, se proporcionan ejemplos de informes para las Declaraciones de Sostenibilidad, basados en las estimaciones revisadas del inventario de emisiones de GEI resumidas en el Cuadro 12.

Planta extractora de aceite de palma - CPO

E=	e_{ec}	+	e_l	+	e_p	+	e_{td}	+	e_u	-	e_{sca}	-	e_{ccs}	-	e_{ccr}	-	=	kg CO₂ eq. /base seca-Ton
	232	+		+	529	+	31	+		-		-		-		-	=	793
	6,28	+		+	14,30	+	0,85	+		-		-		-		-	=	21,43
																		g CO₂/MJ

Planta extractora de aceite de palma - PKO

E=	e_{ec}	+	e_l	+	e_p	+	e_{td}	+	e_u	-	e_{sca}	-	e_{ccs}	-	e_{ccr}	-	=	kg CO₂ eq / base seca-Ton
	232	+		+	529	+	31	+		-		-		-		-	=	793
	6,28	+		+	14,30	+	0,85	+		-		-		-		-	=	21,43
																		g CO₂/MJ

Planta extractora de aceite de palma - PKE

E=	e_{ec}	+	e_l	+	e_p	+	e_{td}	+	e_u	-	e_{sca}	-	e_{ccs}	-	e_{ccr}	-	=	kg CO₂ eq / base seca-Ton
	107	+		+	243	+		+		-		-		-		-	=	350
	6,28	+		+	14,30	+		+		-		-		-		-	=	20,58
																		g CO₂/MJ

Apéndice 7: Información de GEI.

A continuación, se presenta el cálculo de los ahorros de emisiones mediante la plantilla de ISCC para la declaración de sostenibilidad V 2.3.

Aceite Crudo de Palma (CPO):

3. Greenhouse Gas (GHG) emission information	
Total default value according to RED II applied <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
$E = E_{ec} + E_l + E_p + E_{td} + E_u^5 - E_{sca} - E_{cscs} - E_{ccr} = 6,28 + \text{[]} + 14,3 + 0,85 + \text{[]} - \text{[]} - \text{[]} - \text{[]} = 21,43 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$	
GHG emission saving⁶:	
77,2%	Biofuels for transport
88,3%	Bioliquids for electricity
73,2%	Bioliquids for the production of useful heat, as well as for the production of energy for heating and/or cooling
88,3%	Biomass fuels for the production of electricity
73,2%	Biomass fuels for the production of useful heat, as well as for the production of energy for heating and/or cooling
82,7%	Biomass fuels for the production of useful heat, in which a direct physical substitution of coal can be demonstrated

Aceite Crudo de Almendra (PKO):

3. Greenhouse Gas (GHG) emission information	
Total default value according to RED II applied <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
$E = E_{ec} + E_l + E_p + E_{td} + E_u^5 - E_{sca} - E_{cscs} - E_{ccr} = 6,28 + \text{[]} + 14,3 + 0,85 + \text{[]} - \text{[]} - \text{[]} - \text{[]} = 21,43 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$	
GHG emission saving⁶:	
77,2%	Biofuels for transport
88,3%	Bioliquids for electricity
73,2%	Bioliquids for the production of useful heat, as well as for the production of energy for heating and/or cooling
88,3%	Biomass fuels for the production of electricity
73,2%	Biomass fuels for the production of useful heat, as well as for the production of energy for heating and/or cooling
82,7%	Biomass fuels for the production of useful heat, in which a direct physical substitution of coal can be demonstrated

Harina de almendra (PKE):

3. Greenhouse Gas (GHG) emission information	
Total default value according to RED II applied <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
$E = E_{ec} + E_l + E_p + E_{td} + E_u^5 - E_{sca} - E_{ccs} - E_{ccr} = 20,58 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}$	
GHG emission saving⁶:	
78,1%	Biofuels for transport
88,8%	Bioliqids for electricity
74,3%	Bioliqids for the production of useful heat, as well as for the production of energy for heating and/or cooling
88,8%	Biomass fuels for the production of electricity
74,3%	Biomass fuels for the production of useful heat, as well as for the production of energy for heating and/or cooling
83,4%	Biomass fuels for the production of useful heat, in which a direct physical substitution of coal can be demonstrated

