



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

TEMA:

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LOS SISTEMAS DE CULTIVO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN ESMERALDAS, PARA DESARROLLAR MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático

Autor

Escobar Barragán Pablo Roberto

Tutor

Cayambe Terán Jhenny Marlene, PhD.

QUITO – ECUADOR

2022

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Pablo Roberto Escobar Barragán, declaro ser autor del Trabajo de Investigación con el nombre “ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LOS SISTEMAS DE CULTIVO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN ESMERALDAS, PARA DESARROLLAR MEDIDAS DE MITIGACIÓN”, como requisito para optar al grado de Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI). Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo. Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 05 días del mes de septiembre de 2022, firmo conforme:

Autor: Pablo Roberto Escobar Barragán

Firma:

Número de Cédula: 1716161888

Dirección: Pichincha, Quito, Itchimbía, La Vicentina

Correo Electrónico: pabloroberto81@yahoo.es

Teléfono: 0998764922

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LOS SISTEMAS DE CULTIVO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN ESMERALDAS, PARA DESARROLLAR MEDIDAS DE MITIGACIÓN” presentado por Pablo Roberto Escobar Barragán, para optar por el Título Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 05 de septiembre de 2022

.....
PhD. Jhenny Marlene Cayambe Terán

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 05 de septiembre de 2022

.....

Pablo Roberto Escobar Barragán

1716161888

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LOS SISTEMAS DE CULTIVO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN ESMERALDAS, PARA DESARROLLAR MEDIDAS DE MITIGACIÓN, previo a la obtención del Título de Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 05 de septiembre de 2022

.....

PhD. Lenin Javier Ramírez Cando
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

MSc. Natasha Alexandra Baer Guevara
VOCAL

.....

PhD. Jhenny Marlene Cayambe Terán
VOCAL

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho cariño y amor a mi esposa Sandy, y a mi hija Scarlett, por su compañía, aliento, apoyo incondicional y por ser el motor de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar este proceso. A la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA) y a su personal por la apertura en la recolección de información, especialmente a los Ingenieros José Vargas, Luis Villareal y Julio Siza. A ORGANIC C. G., en especial a los Ingenieros José Arellano, Rodrigo Páez, Gabriel Vera; al Sr. Ángel Sacón e Isabel Quiñonez por el apoyo logístico, tiempo y orientación, sin ello este objetivo no habría sido posible alcanzarlo. A los miembros del Tribunal Dr. Lenin Ramírez Cando y MSc. Natasha Baer por sus recomendaciones y aportes directos para la mejora del presente documento, a mi directora de tesis Dra. Jhenny Cayambe quien ha sido el soporte técnico y científico fundamental para desarrollar el trabajo. A mi familia política en especial al Sr. Galo Serrano y Sra. María Garcés, a mis hermanos, y a mis queridos padres Dr. Lauro Escobar y Lcda. Letty Barragán por su ejemplo de esfuerzo, honestidad y responsabilidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

TEMA	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Gases de efecto invernadero (GEI) y cambio climático	1
Emisión de GEI en Ecuador	2
Emisión de GEI del sector agricultura en Ecuador.....	3
Fertilizantes nitrogenados	3
Agricultura convencional o industrial.....	4
Agricultura orgánica	5
Huella de carbono (HC) y análisis de ciclo de vida.....	5
Palma aceitera o africana	7
Certificación de la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO)	7
Estimación de huella de carbono (HC) en la agricultura	8
Programa de cálculo <i>Cool Farm Tool</i>	9
OBJETIVOS.....	10
Objetivo general	10

Objetivos específicos	10
-----------------------------	----

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Ubicación geográfica del estudio y límites del sistema evaluado.....	11
Tamaño de la muestra	12
Operacionalización de variables	14
PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	17
Información recolectada a través de encuestas	17
Cálculo de emisiones de GEI.....	18
Identificación de las principales fuentes de emisión	18
PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN	19

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Información de los sistemas de cultivo	22
Prueba t para rendimiento.....	22
Rendimiento de plantaciones de fincas orgánicas.....	23
Rendimiento de plantaciones de fincas convencionales.....	24
Comparación de rendimiento entre fincas orgánicas y convencionales	25
Prueba t para emisiones por unidad de superficie.....	28
Emisiones por unidad de superficie de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales	
Emisiones por unidad de producto de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales.....	30
FUENTES DE EMISIÓN DE CO₂e	33
Emisiones relacionadas con los residuos del cultivo.....	37
Emisiones relacionadas con el consumo de energía.....	38
Emisiones relacionadas con el transporte.....	39
Emisiones relacionadas con el uso de fertilizantes	40
Emisiones de óxido nitroso (N ₂ O).....	41
Emisiones relacionadas con el uso de plaguicidas.....	43

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO (HC).....	43
Gestión y valorización de residuos del cultivo.....	43
Reducción del uso de energía	45
Fijación biológica para reducir la entrada de fertilizantes nitrogenados sintéticos.....	45
Cultivos intercalados.....	49
SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN.....	50

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.....	54
Recomendaciones	55
LITERATURA CITADA	57
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de la variable dependiente.....	15
Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable independiente.....	16
Tabla 3. Datos en encuestas para la estimación de huella de carbono en los dos sistemas de cultivo	17
Tabla 4. Ponderación de criterios seleccionados para propuesta de medidas de mitigación.....	20
Tabla 5. Escalas de puntuación para medidas de mitigación	20
Tabla 6. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en rendimiento.....	22
Tabla 7. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en emisiones por unidad de superficie.....	28
Tabla 8. Emisiones totales por sistema de cultivo y tamaño de plantación (kg CO ₂ e).....	34
Tabla 9. Factores de emisiones de CO ₂ e por superficie y producto	34
Tabla 10. Porcentaje de cobertura vegetal con leguminosa Pueraria, rendimiento y emisiones totales por superficie de fincas orgánicas.....	47
Tabla 11. Porcentaje de cobertura vegetal con leguminosa Pueraria, rendimiento y emisiones totales por superficie de fincas convencionales.....	48
Tabla 12. Selección de la estrategia de mitigación para reducir la huella de carbono en los dos sistemas de cultivo.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de emisiones de GEI por sectores en Ecuador	2
Figura 2. Porcentaje de emisiones de GEI del sector agricultura en Ecuador	3
Figura 3. Ubicación de 19 fincas en estudio (15 orgánicas certificadas RSPO y 4 convencionales)	11
Figura 4. Rendimiento de plantaciones pequeñas y medianas de fincas orgánicas.	24
Figura 5. Rendimiento de plantaciones pequeñas y medianas de fincas convencionales.....	24
Figura 6. Rendimiento de fincas orgánicas y convencionales.....	26
Figura 7. Emisiones por unidad de superficie de fincas orgánicas y convencionales.....	29
Figura 8. Emisiones por unidad de superficie de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales.....	30
Figura 9. Emisiones por unidad de producto de fincas orgánicas y convencionales.....	31
Figura 10. Emisiones por unidad de producto de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales.....	31
Figura 11. Fuentes de emisión por unidad de superficie de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales	35
Figura 12. Fuentes de emisión por unidad de producto de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Modelo de encuesta aplicada para recolectar información de las fincas.....	73
Anexo 2. Registro fotográfico.....	94

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

TEMA: ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL SISTEMA DE CULTIVO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN ESMERALDAS, PARA DESARROLLAR MEDIDAS DE MITIGACIÓN

AUTOR: Pablo Roberto Escobar Barragán

TUTOR: PhD. Jhenny Marlene Cayambe Terán

RESUMEN EJECUTIVO

Las plantaciones de palma aceitera se han asociado con problemas ambientales como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), por lo que, el objetivo del presente estudio, es proponer mejoras en los sistemas de cultivo orgánico certificado RSPO y convencional para mitigar dichas emisiones. Para ello se seleccionó una muestra de 1.075,54 hectáreas en producción, divididas en 19 fincas en Esmeraldas-Ecuador, y se utilizó el programa de cálculo Cool Farm Tool para determinar las emisiones asociadas a la fase de cultivo con información recolectada a través de encuestas sobre las prácticas aplicadas en el año 2020. Dentro de los resultados la Prueba t tanto en rendimiento, como en emisiones por unidad de superficie, no detectó diferencias estadísticas entre plantaciones en los dos sistemas de cultivo. Sin embargo, se evidenció que las fincas orgánicas tienen menor productividad vs. las convencionales (-45,50%). En relación al cálculo de la huella de carbono, la emisión por unidad de superficie para fincas orgánicas fue de 2,88 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹, mientras que para fincas convencionales fue de 3,03 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹. Además, en plantaciones pequeñas y medianas de fincas orgánicas la mayor fuente de emisiones de kg CO₂e tanto por superficie como por producto (racimos de fruta fresca RFF) corresponde a los residuos. En las fincas convencionales, la principal fuente de emisión de kg CO₂e por superficie y por producto para plantaciones pequeñas también corresponde a residuos, mientras que

para plantaciones medianas corresponde al uso de fertilizantes. Finalmente, en base a los resultados, se propuso como estrategia de mitigación la conversión de biomasa de racimos de fruta vacía (RFV) en biofertilizante, analizando la relevancia de la fuente de emisión, posible reducción de emisiones, su costo, tiempo de implementación, y facilidad de transferencia de tecnología.

DESCRIPTORES: Cultivo convencional, cultivo orgánico, huella de carbono, palma aceitera.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

THEME: ESTIMATION OF THE CARBON FOOTPRINT IN THE ORGANIC AND CONVENTIONAL OIL PALM (*Elaeis guineensis*) CULTIVATION SYSTEM IN ESMERALDAS, TO DEVELOP MITIGATION MEASURES

AUTHOR: Pablo Roberto Escobar Barragán

TUTOR: PhD. Jhenny Marlene Cayambe Terán

ABSTRACT

Oil palm plantations have been associated with environmental problems such as greenhouse gas (GHG) emissions; therefore, this study proposes improvements in RSPO-certified organic and conventional farming systems to mitigate these emissions. For this purpose, a sample of 1,075.54 hectares in production was selected, divided into 19 farms in Esmeraldas-Ecuador. The Cool Farm Tool calculation program was used to determine the emissions associated with the cultivation phase with information collected through surveys on the practices applied in 2020. The t-test for yield and emissions per unit area did not detect statistical differences between plantations in the two cropping systems. However, it was evidenced that organic farms have lower productivity vs. conventional farms (-45.50%). Concerning the carbon footprint calculation, the emission per unit area for organic farms was 2.88 tons of CO_{2e} ha⁻¹year⁻¹, while for conventional farms, it was 3.03 tons of CO_{2e} ha⁻¹year⁻¹. Furthermore, in small and medium-sized plantations of organic farms, the largest source of kg CO_{2e} emissions per area and per product (fresh fruit bunches RFF) corresponds to residues. On the other hand, in conventional farms, the primary source of kg CO_{2e} emissions per surface area and per product for small plantations also corresponds to residues, while for medium-sized plantations, it corresponds to the use of fertilizers. Finally, based on the results, the conversion of biomass from empty fruit bunches (RVF) into

biofertilizers was proposed as a mitigation strategy, analyzing the relevance of the emission source, possible emission reduction, cost, implementation time, and ease of technology transfer.

KEYWORDS: Conventional farming, organic farming, carbon footprint, oil palm.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Gases de efecto invernadero (GEI) y cambio climático

Producto de actividades antropogénicas existe un calentamiento global de +1,0 °C aproximadamente, en comparación con niveles preindustriales, y es probable que llegue a +1,5 °C entre 2030 y 2052 (IPCC, 2018). Sin embargo, los GEI no tienen la misma capacidad de calentamiento, por lo que, el nivel de efecto invernadero de los distintos gases, se denomina potencial de calentamiento global (PCG) y se estima en relación al nivel de CO₂, cuya unidad de medición es el dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) (Pandey et al., 2011).

Consecuentemente la emisión de CO_{2e} se estima multiplicando el valor de liberación de un GEI por su potencial de calentamiento global (PCG), por lo tanto, el CO_{2e} constituye la unidad común para comparar las emisiones de los GEI. En este sentido, en el año 2012 a nivel mundial, el 35% de las emisiones de GEI correspondieron al sector energético, 24% al sector agricultura, silvicultura y otros usos del suelo, 21% a la industria, 14% al transporte, y 6,4% a los edificios (IPCC, 2014).

Frohmann et al. (2015) señalan el origen de las liberaciones de GEI en la agricultura: fertilizantes y plaguicidas químicos que emiten CO₂ en su etapa de síntesis y óxido nitroso (N₂O) en la aplicación, el ganado que libera metano (CH₄), la maquinaria que requiere combustibles fósiles, y el cambio de uso de suelo cuando se utilizan áreas de bosque.

Ante esta realidad los formuladores de políticas nacionales e internacionales, la población en general y los agricultores están preocupados por el

cambio climático y acorde a ello, están instando al desarrollo y la adopción de medidas efectivas para reducir las emisiones de GEI de todos los sectores (Rodríguez et al., 2017).

La producción de cultivos, el procesamiento de alimentos y su comercialización, generan GEI, lo que contribuye al cambio climático global. Del 2015 al 2020, en América Latina, se produjo aproximadamente 750 millones de toneladas de emisiones de CO₂e, cerca del 6,5% de las emisiones totales del mundo. Casi dos tercios de las emisiones agrícolas se producen como óxido nitroso (N₂O) (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2021).

Emisión de GEI en Ecuador

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático los Estados deben elaborar Comunicaciones Nacionales que constituyen un medio para que se informen datos de sus fuentes de emisión y absorción de GEI y los programas de adaptación y mitigación frente al cambio climático (Naciones Unidas, 1992). En este contexto la cantidad de emisiones que constan en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de 2012 en Ecuador totalizan 80.627,16 Gigagramos (Gg) de CO₂e, generando el sector energético el 46,63%, seguido del sector USCUS (uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura) con 25,35%. Mientras la agricultura se encuentra en el tercer lugar con 18,17%, y los procesos industriales y residuos registran el 5,67% y 4,19% respectivamente (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2017).

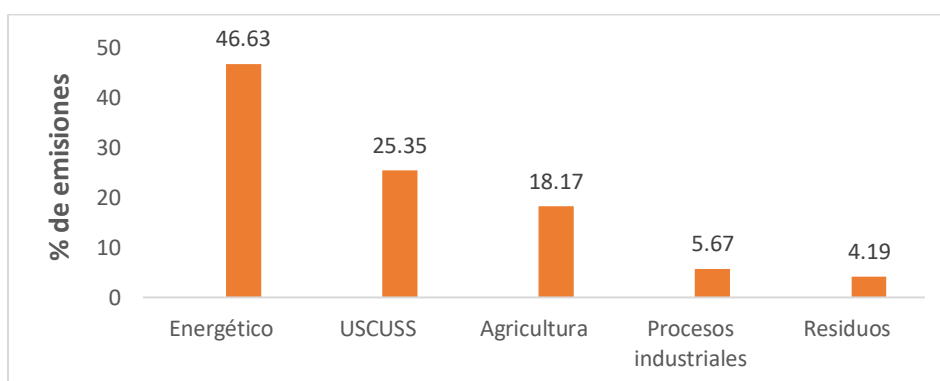


Figura 1. Porcentaje de emisiones de GEI por sectores en Ecuador

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2017

Estos resultados reflejan que, a nivel nacional, uno de los sectores prioritarios para la disminución de emisiones de GEI es la agricultura (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2017).

Emisión de GEI del sector agricultura en Ecuador

En este sector se contabiliza las emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), tanto de actividades pecuarias como agrícolas. Es así que la agricultura emitió 14.648,10 Gg de CO_2e en el año 2012, siendo las categorías que generan emisiones: suelos agrícolas 46,37%, fermentación entérica 43,43%, cultivo de arroz 7,48%, manejo de estiércol 2,34%, y quema de residuos agrícolas 0,39% (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2017).

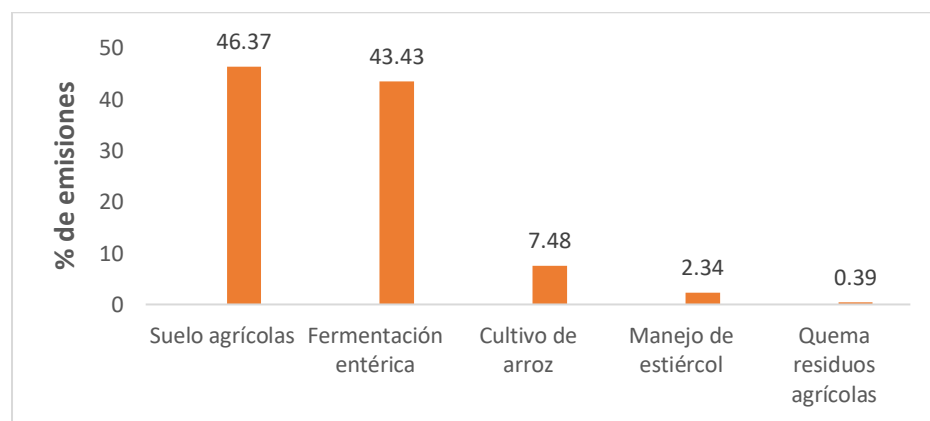


Figura 2. Porcentaje de emisiones de GEI del sector agricultura en Ecuador

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2017

Fertilizantes nitrogenados

Los principales GEI asociados con las actividades agrícolas son el dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4). Sin embargo, el poder de calentamiento global (PCG) del óxido nitroso es 296 más grande que la unidad de dióxido de carbono. Además, el N_2O vinculado con el uso de fertilizantes posee una mayor influencia en el poder de calentamiento global por unidad equivalente de CO_2 . Por lo tanto, un manejo inadecuado de fertilizantes nitrogenados, aumenta la

pérdida de nitrógeno y la liberación de N₂O, ya que el nitrógeno disponible en el suelo excede la absorción realizada por el cultivo (Snyder et al., 2008).

Este panorama se agrava con el consumo de combustibles fósiles para la síntesis de fertilizantes, plaguicidas y para operar maquinaria, equipos y transporte, cuyas emisiones contribuyen al calentamiento global (Chan, 2005). Por ello es importante considerar que un fertilizante sintetizado en un país cuya electricidad se origina de fuentes sostenibles, tiene una menor huella de carbono que aquel fertilizante que se importa de un país que genera la mayoría de su energía de combustibles fósiles (Frohmann et al., 2015).

Agricultura convencional o industrial

La agricultura convencional o industrial basada en procesos intensivos, permitió pasar en poco tiempo de una agricultura elemental y rudimentaria, a otra extremadamente sofisticada que se parece cada vez más a los procedimientos que dominan la industria (Shiva, 2000).

Se trata de un tipo de producción agropecuaria de alto rendimiento, basada en uso intensivo de capital (tractores y maquinarias de alta productividad) e insumos externos (semillas de alto potencial, fertilizantes y plaguicidas químicos). Esta clase de sistema de producción también se conoce como *agricultura de la revolución verde, de altos rendimientos, de altos insumos externos, moderna o intensiva* (Cáceres, 2003; Gómez & Barranco, 2007).

El objetivo de este sistema es aumentar la producción a un costo cada vez menor, sin embargo, para cumplir este objetivo debe sortear una serie de inconvenientes, como los siguientes: a) requiere un abonado continuo de los campos, que acaba por contaminar los suelos y las aguas subterráneas, especialmente de nitratos, que pueden proceder de abonos inorgánicos o de purines producidos en las fincas. b) El uso de productos fitosanitarios cada vez más potentes para eliminar las plagas, contamina el ambiente y acaba con numerosas plantas silvestres, insectos útiles e incluso pájaros y mamíferos que se alimentan de ellos. c) Además de romper el equilibrio ecológico, el uso de plaguicidas provoca, por selección natural, la supervivencia de malezas y de insectos dañinos resistentes, a la vez que acaba con sus enemigos naturales (Gómez & Barranco, 2007).

Agricultura orgánica

La agricultura orgánica es un modelo alternativo al esquema de revolución verde generado después de la Segunda Guerra Mundial conocido como agricultura industrial o convencional que utiliza tecnologías y aplicación de insumos de síntesis química para incrementar la producción de alimentos (Martínez et al., 2012). Es así que la agricultura orgánica protege los suelos y los cultivos mediante prácticas sostenibles (Cáceres, 2003).

Complementando la información anterior, según la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD, 2013):

La agricultura orgánica es el sistema holístico de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema, y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo, basada en normas y principios específicos de producción. Hace hincapié en el empleo de prácticas de gestión prefiriéndolas respecto al empleo de insumos externos a la finca, teniendo en cuenta que las condiciones regionales requerirán sistemas adaptados localmente. Esto se consigue empleando, siempre que sea posible, métodos culturales, biológicos y mecánicos, en contraposición al uso de materiales sintéticos, para cumplir cada función específica dentro del sistema (p. 25).

Por lo mencionado este sistema de producción sostenible es una alternativa para la adaptación y mitigación al cambio climático, ya que contribuye directa o indirectamente a la captura de carbono y evita que el suelo y los recursos naturales se degraden (Altieri & Nicholls, 2013).

Huella de carbono (HC) y análisis de ciclo de vida

El término huella de carbono (HC) se originó inicialmente en la primera publicación académica que discutía la huella ecológica mundial presentado en 2003, proporcionando un método más detallado para calcular las huellas. En general, la HC representa una cierta cantidad de emisiones gaseosas que son relevantes para el cambio climático y están asociadas con las actividades de producción o consumo humano (Noguera & Córdova, 2003). La HC se define como la cantidad de GEI liberados producto de actividades antropogénicas en un período

determinado (Schneider & Samaniego, 2009). Es decir, el peso de las emisiones de GEI generadas por persona o actividad (Wiedmann & Minx, 2007).

Para la estimación de la HC se considera los seis GEI establecidos en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Por lo tanto, el objetivo de la medición de la HC es la reducción de emisiones, además que los productos verdes certificados, tienen ventajas en términos comerciales (Frohmann et al., 2015).

La literatura agrícola sobre cambio climático discute en detalle la definición de HC y su incidencia como una medida de la cantidad total exclusiva de emisiones de CO₂ que son causadas directa e indirectamente por una actividad o que se acumulan durante las etapas de vida de un producto (Chávez, 2021).

Sin embargo, esta definición no enfatiza las emisiones de GEI distintos del CO₂; con respecto a la producción de cultivos y otros servicios agrícolas, una porción mayor de la emisión total de GEI se produce como óxido nitroso (N₂O), en lugar de dióxido de carbono (CO₂). Por lo tanto, en esta definición, la HC relevante para los productos y procesos agrícolas se define como la cantidad total de emisión de GEI asociada con un producto alimenticio o un servicio, expresada en equivalencia de dióxido de carbono (CO₂e) (Astudillo et al., 2020).

La atención se centra en dos componentes, que son:

- Emisión total por unidad de área o superficie por año, expresada en kilogramos o toneladas de CO₂e por hectárea por año,
- Emisión por unidad de producto producido, expresada en kilogramos de CO₂e por kilogramo de producto.

Estos dos componentes son paralelos a los enfoques con los que se evalúa la eficiencia de la productividad agrícola, es decir, la producción neta por unidad de área o superficie, como el rendimiento de grano por hectárea/año y los costos asociados con la producción de una unidad de producto, tales como costos de insumos por kilogramo de grano producido (Astudillo et al., 2020).

Palma aceitera o africana

África Occidental es el lugar donde se originó la palma aceitera (*Elaeis guineensis*), por ello también se le denomina palma africana. Las grandes extensiones de cultivos actualmente tienen el objetivo de extraer el aceite de palma del fruto, y el aceite de palmiste de la semilla, y se destinan para diversos usos tanto alimenticios como industriales (Carrere, 2001).

El cultivo puede llegar a los 50 años y seguir produciendo, sin embargo, sólo hasta los 25 años representa una actividad económicamente viable, ya que, por la altura de sus tallos, la extracción de sus frutos se dificulta cada vez más (Aguilera, 2002). La palma aceitera pertenece a climas tropicales húmedos, con una temperatura promedio ideal de 25 °C para su desarrollo, abundantes precipitaciones (1800 mm) y zonas de baja elevación, menores a 400 msnm (Fontalvo et al., 2014).

De acuerdo con los resultados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) del año 2020, en Ecuador existen 5,2 millones de hectáreas que tienen uso agropecuario, clasificándose en cultivos permanentes, transitorios, pastos cultivados y naturales (INEC, 2021a).

En este contexto en el mismo año, la superficie plantada de cultivos permanentes fue de 1'504.694 hectáreas; la caña de azúcar, banano y palma aceitera son los cultivos de mayor producción a nivel nacional, y bajo este panorama la superficie nacional cosechada de palma en el período señalado fue de 188.469 hectáreas, localizadas en su mayoría en las provincias de Esmeraldas, Los Ríos y Sucumbíos (INEC, 2021a), determinando la gran importancia de este cultivo para el país y específicamente para la provincia de Esmeraldas.

Certificación de la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO)

La Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por sus siglas en inglés) fue establecida en 2004 para promover el producto. La RSPO está constituida por diversas organizaciones y empresas que operan en este sector. Los Principios y Criterios (P&C) de la RSPO se han aplicado por productores y plantas extractoras desde noviembre de 2007. Estos Principios y Criterios incluyen el uso de mejores prácticas de cultivo y de extracción, la responsabilidad y conservación ambiental, y el mejoramiento continuo de los procesos, como el levantamiento de

inventarios de emisiones de GEI, lo que posibilita implementar planes de reducción (Webber, 2016).

Los grupos empresariales obtienen su certificación a través de organismos aprobados por los Servicios de Acreditación Internacional. Cuando una planta extractora y su base de suministro han obtenido la certificación, empieza la producción del Aceite de Palma Certificado Sostenible (CSPO, por sus siglas en inglés). Es de tal importancia este nuevo concepto de producción agrícola sostenible que aproximadamente una quinta parte del aceite de palma en el mundo se alinea con los Principios y Criterios de la RSPO (Webber, 2016).

Estimación de huella de carbono (HC) en agricultura

Para considerar la mitigación de emisiones, se requiere identificar sus fuentes, por lo que es recomendable generar y/o adaptar calculadoras específicas que faciliten su estimación. Esto es importante en los grupos donde la producción es diversificada y cuenta con agricultores pequeños (Frohmann et al., 2015).

Es así que se estima la HC de varios productos utilizando la suma de las emisiones de GEI de la descomposición de las plantas y las raíces, la fabricación y aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos, producción de herbicidas y fungicidas, y de diversas operaciones agrícolas, incluida la labranza previa a la siembra, la siembra, la pulverización de plaguicidas, la cosecha y el almacenamiento (Murillo et al., 2018).

Cuando se cosecha un producto, una parte del cultivo se deja en la superficie del suelo para que se descomponga, la materia vegetal restante, como la paja y las raíces, constituyen una fuente de nitrógeno (N) para la nitrificación y desnitrificación, que contribuyen directa e indirectamente a la producción de óxido nitroso (N₂O). La cantidad de N contenida en la paja y las raíces de varios cultivos se estima utilizando concentraciones específicas de N del cultivo, junto con su rendimiento. De manera similar, la aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos para la producción de cultivos genera N₂O (Subash et al., 2016).

Las emisiones de la descomposición de residuos de cultivos incluyen emisiones directas y de lixiviación; las emisiones de la aplicación de N sintético

incluyen emisiones directas, de volatilización y de lixiviación (Rodríguez et al., 2017).

En el caso de los fertilizantes nitrogenados sintéticos que se aplican en la producción de cultivos, una parte del N se volatiliza y se emite a la atmósfera. Sobre ello, se utiliza el factor de volatilización predeterminado del IPCC de amoníaco (NH_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x), y los factores de emisión asociados con la lixiviación y volatilización del N se toman de las directrices del IPCC (IPCC, 2021).

Los herbicidas y fungicidas se utilizan de forma rutinaria en la producción de cultivos; por lo que, los factores de emisión para cada uno de estos plaguicidas individuales no están disponibles, pero se estima que las emisiones durante los procesos de producción, transporte, almacenamiento y aplicación en campo son similares entre productos. Así, se utiliza un factor de emisión promedio (estimable) de $23,1 \text{ kg CO}_2\text{e ha}^{-1}$ para herbicidas y $14,3 \text{ kg CO}_2\text{e ha}^{-1}$ para fungicidas; las estimaciones se basan en el ingrediente activo del producto (Loera & Sanz, 2018).

Programa de cálculo *Cool Farm Tool*

El programa *Cool Farm Tool*, forma parte de las calculadoras existentes para medición de carbono en agricultura. Fue desarrollado por Unilever Sustainable Agriculture, y Sustainable Food Lab de la Universidad de Aberdeen en Reino Unido (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2012). La herramienta calcula cantidad de emisiones de CO_2e , para ello usa enfoques y modelos de factor de emisión del IPCC Nivel 1 y 3, se encuentra diseñado en Microsoft Excel y disponible de forma gratuita (Haverkort & Hillier, 2011).

En su programación el cálculo de emisiones de N_2O se basa en el modelo multivariante de Bouwman et al. (2002) y análisis de aproximadamente 800 conjuntos de datos globales. Esto refina las estimaciones del IPCC Nivel 1 sobre este factor, y toma en cuenta el tipo de fertilizante, clima y características del suelo (Haverkort & Hillier, 2011).

Además, para el cálculo, el software incluye la estimación de los sumideros, expresados en toneladas de carbono equivalente por hectárea ($\text{tCO}_2\text{e}\cdot\text{ha}^{-1}$) en las

áreas de producción, contabilizando los cambios en las existencias de carbono, según lo definió en 2006 el IPCC (Haverkort & Hillier, 2011; RSPO, 2016). Esto es consecuente con lo manifestado por Chan (2005) quien señala que el desarrollo y utilización de tecnologías para capturar y secuestrar CO₂ almacenándolo biológicamente en el cultivo de palma aceitera, se debe promover ya que brinda potencial para disminuir emisiones.

Los resultados del programa se derivan de las emisiones de CO₂e en relación a los siguientes criterios: área o superficie de cultivo en hectáreas y unidad de producto en toneladas (Cayambe et al., 2015; Haverkort & Hillier, 2011).

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer mejoras en los sistemas de cultivo orgánico y convencional de palma aceitera para mitigar la emisión de GEI, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático.

Objetivos específicos

- Determinar la huella de carbono en los sistemas de cultivo orgánico con certificación RSPO y convencional de palma aceitera, utilizando el programa de cálculo *Cool Farm Tool*.
- Identificar la principal fuente de emisión de GEI en los dos sistemas de producción.
- Desarrollar medidas de mitigación de emisiones de GEI para los dos sistemas de cultivo.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Ubicación geográfica del estudio y límites del sistema evaluado

El presente estudio se desarrolló en un conjunto de fincas ubicadas en la provincia de Esmeraldas – Ecuador, que suministran racimos de fruta fresca (RFF) de palma aceitera a una planta extractora, para lo cual se seleccionó 15 fincas orgánicas certificadas RSPO y 4 convencionales, como se detalla en la Figura 3.

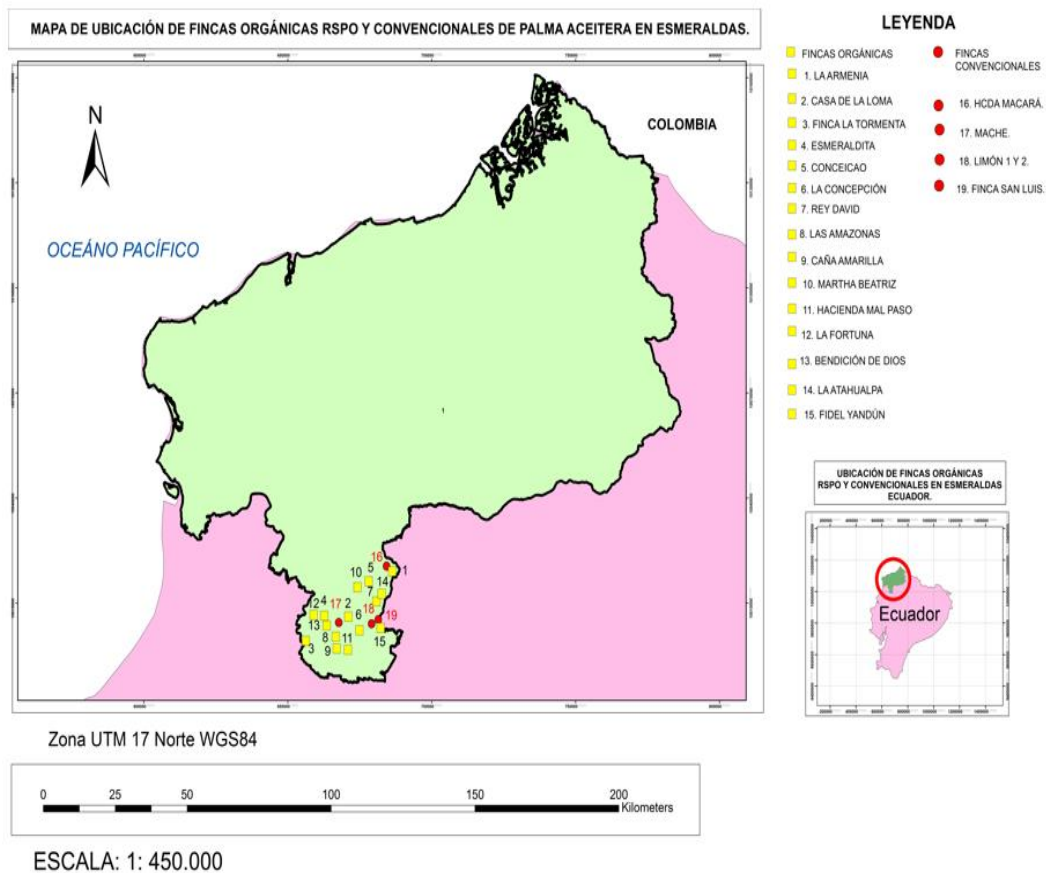


Figura 3. Ubicación de 19 fincas en estudio (15 orgánicas certificadas RSPO y 4 convencionales)

Elaborado por: Pablo Escobar

Las 15 fincas poseen certificación orgánica de distinta índole: USDA Organic, Canadá Organic, China Organic, Certificación Orgánica Ecuador; y la certificación de la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible [RSPO] (Vera & Sacón, 2021).

Además, la planta extractora de aceite crudo de palma, cuenta con procedimientos para la recepción y procesamiento de racimos de fruta fresca (RFF) certificados y no certificados, así como un sistema para verificar y documentar el tonelaje y las fuentes de RFF certificados y no certificados, cumpliendo con las exigencias de la RSPO (Vera & Sacón, 2021; RSPO, 2018).

Los límites del sistema evaluado fueron los siguientes:

- Se excluyó la fase de plántulas y agroindustrial (extracción del aceite).
- Se incluyó el manejo del cultivo en producción en el año 2020, y el transporte de cosecha (RFF) desde las fincas hasta la planta extractora.

Tamaño de la muestra

Por las características del presente estudio, el tipo de muestreo aplicado es probabilístico, el cual se define como una técnica en la que el investigador elige muestras de una población más grande utilizando un método basado en la teoría de la probabilidad (Shukla, 2020). En este trabajo se considera como población, a las 55.378 hectáreas de superficie cosechada de palma aceitera en el año 2020 en la provincia de Esmeraldas (INEC, 2021a).

En este sentido se consideró lo siguiente:

- El nivel de confianza dado como el grado de certeza o probabilidad viene determinado por el porcentaje que permite trabajar la estimación del parámetro estadístico, para el cálculo se utiliza 95%, y determina un coeficiente de confianza $Z= 1,96$ (González, 2014).
- Ya que el margen de error es un factor de fiabilidad se trabaja con 3%. (García-García, 2018).

- Para población infinita (cuando se desconoce el total de unidades de observación que la integran o la población es mayor a 10.000), se recomienda aplicar la siguiente fórmula: (Sampieri, 2018, pág. 181).

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + z^2 * p * (1 - p)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = población (55.378 hectáreas)

Z = Nivel de confianza (95%), que corresponde a 1,96

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia, corresponde al 50%

q = proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio ($1 - p$)

e = Margen de error (3%)

Solución:

Al remplazar los valores en la Ecuación:

$$n = \frac{55.378 * 1,96^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}{(55.378 - 1) * 0,03^2 + 1,96^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}$$

$$n = 1.047 \text{ hectáreas}$$

Por lo tanto, con una población de 55.378 hectáreas de palma aceitera en producción en la provincia de Esmeraldas en el año 2020, con un nivel de confianza de 95% y un margen de error del 3%, el tamaño de la muestra corresponde a 1.047 hectáreas.

En concordancia con lo expuesto, la muestra que se utilizó en el presente estudio es de 1.075,54 hectáreas de palma aceitera en producción, divididas en 19 fincas en la provincia de Esmeraldas, lo que representa el 1,94% de la superficie bajo cosecha de palma del año 2020 en la citada provincia.

Operacionalización de variables

La operacionalización de la variable dependiente (huella de carbono [emisiones de GEI]) e independiente (manejo actual del cultivo) correspondiente al presente estudio, se muestran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de la variable dependiente

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Huella de Carbono (Emisiones de GEI)	Cuantificación de emisiones de GEI, mediante elaboración de un inventario de fuentes de emisión	Cuantificación de emisiones de GEI	kg CO ₂ e por unidad de superficie kg CO ₂ e por unidad de producto kg CO ₂ e por tipo de plantación (convencional/orgánica)	Análisis documental, observacional de campo, investigación bibliográfica	Encuestas, Programa de cálculo <i>Cool Farm Tool</i>
		Fuentes de emisiones de GEI	Transporte Combustibles Cambio de uso del suelo Electricidad Residuos del cultivo		

Elaborado por: Pablo Escobar

Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición conceptual de la variable	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Manejo actual del cultivo	Corresponde a las prácticas aplicadas en las plantaciones: Uso de insumos, combustibles, electricidad, cambio de uso del suelo, gestión de residuos del cultivo y transporte	Fertilizantes, plaguicidas, encalado	Cantidad aplicada (kg/ha; l/ha)	Entrevista a técnicos de las fincas	Encuestas
		Combustibles	Cantidad usada (gal/ha; l/ha) y tipo		
		Electricidad	kWh consumidos al año		
		Cambio de uso del suelo	Tiempo y % de campo convertido		
		Gestión de residuos del cultivo	Cantidad (t/ha) y tipo de tratamiento		
	Transporte de insumos y de cosecha (interno y hacia la extractora)	Tipo de vehículo y distancia recorrida (km)			

Elaborado por: Pablo Escobar

PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

A continuación, se describe el procedimiento establecido para desarrollar cada uno de los objetivos planteados en el presente estudio.

Información recolectada a través de encuestas

Para la determinación de la HC se inició el estudio con el levantamiento de información proveniente de encuestas, los datos primarios proceden de 15 fincas orgánicas certificadas RSPO y 4 convencionales que forman parte de la investigación y corresponden a las actividades realizadas en el cultivo en el año 2020, se excluyen las fases de producción de plántulas y agroindustrial, y se toman en cuenta áreas en efectiva producción.

Una vez elaborado el formato de encuesta (Anexo 1), el mismo fue validado con los técnicos responsables de las fincas. Luego cumpliendo un cronograma de reuniones presenciales y virtuales por efecto de la pandemia del COVID-19, se llenaron las encuestas en conjunto con los técnicos de las fincas.

Es así que la información de las encuestas para el cálculo de la HC, toma en cuenta los insumos, transporte, combustibles, cambio de uso del suelo, electricidad, gestión del suelo, residuos, como se describe en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos en encuestas para la estimación de huella de carbono en los dos sistemas de cultivo

Información incluida en encuestas	Descripción
Insumos: fertilizantes, plaguicidas, encalado	Consumo de cada insumo.
Transporte de insumos	Tipo de transporte empleado. Cantidad y tipo de combustible.
Combustibles	Tipo de combustible y consumo realizado por cada tipo de labor agrícola.
Cambio de uso del suelo	Uso anterior del terreno, año del cambio y superficie cultivada.

Electricidad	Consumo de energía eléctrica por cada tipo de labor agrícola.
Gestión del suelo	Cantidad de fertilizantes aplicados. Cantidad de residuos sólidos orgánicos reincorporados al cultivo.
Residuos del cultivo	Cantidad de residuos generados. Tipo de tratamiento aplicado a cada residuo.
Transporte de racimos de fruta fresca (RFF) dentro de la finca	Tipo de transporte empleado. Cantidad y tipo de combustible.
Transporte de racimos de fruta fresca (RFF) hacia la planta extractora	Tipo de transporte empleado. Cantidad y tipo de combustible. Recorrido desde la finca hasta la planta extractora.

Modificado de: RSPO, 2018; Haverkort y Hillier, 2011; Frohmann et al., 2015; Cayambe et al., 2015

Elaborado por: Pablo Escobar

Cálculo de emisiones de GEI

La estimación de emisiones de GEI se realizó utilizando el programa de cálculo *Cool Farm Tool*. Para ello se siguieron las instrucciones proporcionadas por el software para determinar las liberaciones de la fase de cultivo de palma aceitera orgánica y convencional (Haverkort & Hillier, 2011).

Para cuantificar las emisiones de CO₂e, se alimentó de información sobre las prácticas aplicadas en 19 fincas al programa de cálculo mencionado. El mismo tiene siete opciones de ingreso relacionados con los datos generales de los predios, manejo del cultivo, secuestro de carbono, ganadería, uso de energía, procesamiento primario y transporte (Haverkort & Hillier, 2011).

Identificación de las principales fuentes de emisión

Para identificar las principales fuentes de emisiones de GEI en los dos sistemas de cultivo se aplicó estadística descriptiva utilizando el programa Microsoft Excel, para determinar la media, varianza, desviación estándar y

coeficiente de variación, en los datos obtenidos del programa de cálculo *Cool Farm Tool*, el mismo fue previamente cargado con información de encuestas referentes a las prácticas aplicadas en las fincas en el año 2020.

Luego en Microsoft Excel se aplicó la Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en rendimiento, y emisiones por unidad de superficie, con el fin de detectar diferencias estadísticas entre plantaciones de los dos sistemas de cultivo (Ramírez Cando, 2022).

PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Para la selección de la propuesta pertinente a la problemática estudiada y según las emisiones de GEI generados, se utilizó la metodología de ponderación lineal del método Ashby, según el trabajo desarrollado por Antury & Lara (2016) que consta de los siguientes pasos:

- Identificar la meta general del problema;
- Identificar las alternativas; para lo cual se efectuó una revisión de la bibliografía disponible relacionada con experiencias exitosas en la mitigación de la huella de carbono en cultivos orgánicos y convencionales.
- Determinar los criterios a emplear en la toma de decisiones; para lo cual se consideró lo establecido por Melo (2018):
 - Relevancia del factor de emisión atendida
 - Posible reducción de emisiones
 - Costo de implementación
 - Transferencia de tecnología
 - Tiempo de implementación
- Asignar una ponderación para cada uno de los criterios seleccionados, esto se efectuó con base en la opinión del autor y de los técnicos entrevistados

de las fincas bajo estudio (Vera, Villareal & Siza, 2022); la información se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Ponderación de criterios seleccionados para propuesta de medidas de mitigación

Criterio	Descripción	Ponderación (%)
Relevancia de la fuente de emisión	Fuente de emisión de mayor impacto	30
Posible reducción de emisiones	% de reducción respecto al total	20
Costo de implementación	Recursos económicos (dólares)	20
Transferencia de tecnología	Facilidad de Transferencia	20
Tiempo de implementación	Meses para su desarrollo	10
Total		100

Elaborado por: Pablo Escobar

- Establecer criterios de evaluación para cada alternativa, para cumplir con este aspecto también se consideró lo establecido por Melo (2018), como se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Escalas de puntuación para medidas de mitigación

Criterio	Indicador	Escala de puntuación				
		5	4	3	2	1
Relevancia de la fuente de emisión	Fuente de emisión de mayor impacto	Muy relevante	Relevante	Medianamente relevante	Poco relevante	Muy poco relevante
Posible reducción de emisiones	Porcentaje de reducción respecto al total	>5%	4%-5%	3%-4%	2%-3%	<1%

Costo de implementación	Dólares	<\$5.000	\$5.000-\$10.000	\$10.000-\$25.000	\$25.000-\$50.000	>\$50.000
Transferencia de tecnología	Facilidad de transferencia	Muy fácil	Fácil	Medianamente fácil	Difícil	Muy difícil
Tiempo de implementación	Meses	0 – 3	3 – 6	6 – 12	12 – 24	> 24

Elaborado por: Pablo Escobar

Posteriormente se calculó el total para cada una de las alternativas, con base en la calificación de los criterios y el impacto de cada opción analizada, según la siguiente ecuación:

$$Total = \sum Valor\ asignado\ por\ criterio * ponderación$$

Finalmente, se ordena las alternativas en función del total y la opción con el puntaje más alto representa la alternativa a recomendar (Melo, 2018).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Información de los sistemas de cultivo

De acuerdo a la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA), en las diferentes fincas de Ecuador, plantaciones pequeñas corresponden a aquellas con áreas de cultivo entre 1-50 ha, medianas entre 50-200 ha, y grandes mayores a 200 ha (Ayala, 2012). En la presente investigación existen fincas con áreas de cultivo que oscilan entre 17 a 171,30 hectáreas, por lo tanto, únicamente existen las categorías de plantaciones pequeñas y medianas.

Prueba t para rendimiento

Al aplicar la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en rendimiento, se determina que no existe diferencia estadística entre plantaciones pequeñas y medianas en los dos sistemas de cultivo, tal como se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en rendimiento

	Rendimiento (t/ha) plantaciones pequeñas	Rendimiento (t/ha) plantaciones medianas
Media	12,01005447	7,77999277
Varianza	23,27900833	10,85497704
Observaciones	10	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	

Estadístico t	1,994314808	
P(T<=t) una cola	0,035748381	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884819	
P(T<=t) dos colas	0,071496763 (orgánicas)*	
Valor crítico de t (dos colas)	2,20098516	
Media	22,025	16,87
Varianza	7,25805	75,1538
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	0,803061556	
P(T<=t) una cola	0,284629953	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,569259905(convencionales)*	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

* No existe diferencia estadística entre plantaciones en el rendimiento

Fuente: Ramírez Cando, 2022

Elaborado por: Lenin Ramírez Cando

Tomando en cuenta el resultado estadístico de la prueba t, se procedió a realizar un análisis en base a los promedios de rendimiento obtenidos en los dos sistemas de cultivo, como se detalla a continuación:

Rendimiento de plantaciones de fincas orgánicas

En base a las encuestas y los datos de campo, se ha obtenido información del sistema de cultivo orgánico de fincas ubicadas en Esmeraldas-Ecuador, siendo lo más relevante lo siguiente: El rendimiento promedio (Figura 4) de las plantaciones pequeñas con 12,01 t RFF/ha, es superior al rendimiento promedio de 7,78 t RFF/ha correspondiente a plantaciones medianas.

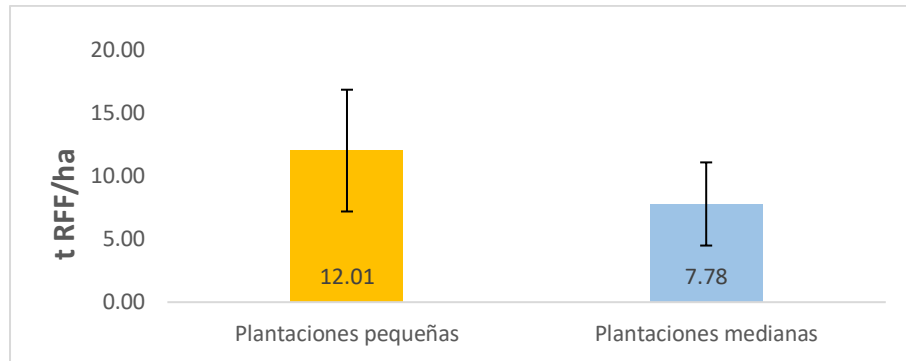


Figura 4. Rendimiento de plantaciones pequeñas y medianas de fincas orgánicas
Elaborado por: Pablo Escobar

Rendimiento de plantaciones de fincas convencionales

En base a las encuestas y los datos de campo, se ha obtenido información del sistema de cultivo convencional de fincas ubicadas en Esmeraldas-Ecuador, siendo lo más importante lo siguiente: El rendimiento promedio (Figura 5) de las plantaciones pequeñas con 22,03 t/ha, es superior al rendimiento promedio de 16,87 t/ha correspondiente a plantaciones medianas.

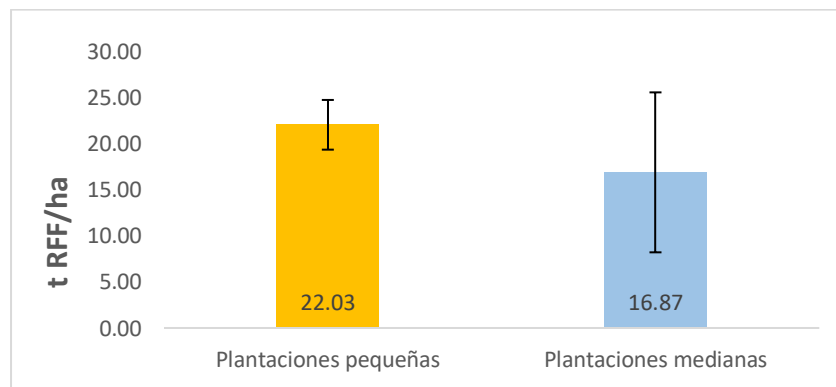


Figura 5. Rendimiento de plantaciones pequeñas y medianas de fincas convencionales

Elaborado por: Pablo Escobar

Como se puede observar, en ambos sistemas de producción analizados, el rendimiento en plantaciones pequeñas es superior a las plantaciones medianas, para

el caso de fincas orgánicas se observó una reducción del 35,22%, mientras en las convencionales la reducción en el rendimiento correspondió a 23,42%.

Estos resultados no son concordantes con los hallazgos de Daemeter Consulting (2013) en el que se establece que, las plantaciones a pequeña escala dirigidas por pequeños propietarios tienen una productividad menor, causada por una variedad de factores, a menudo regionales e incluyen el uso de semillas de mala calidad y una limitada o mala aplicación de fertilizantes o precios elevados o la ausencia total de fertilización, además, los pequeños productores tienen pocos o nulos conocimientos y habilidades deficientes en relación con el cultivo de palma aceitera (buenas prácticas agrícolas o BPA).

Así mismo otro factor es la frecuencia de cosecha, la cual es diferente entre los grandes productores, cuyos intervalos de cosecha son de 7, 10 o 14 días, mientras que, para los pequeños productores, el intervalo de cosecha corresponde a 14 o 15 días, algunas veces hasta de 30 días, esta diferencia puede impactar en un aumento de 5-20 % en el rendimiento al disminuir el tiempo de la ronda de cosecha de 14 a 10 días (Woittiez et al., 2018).

Además, existe una diferencia entre las prácticas de cobertura de leguminosas con dosel cerrados durante los primeros 6 años; después de los 6 años, dosel cerrado de coberturas suaves sin malezas nocivas o leñosas, las cuales son utilizadas principalmente en fincas medianas, mientras que los pequeños productores, utilizan como práctica común el deshierbe (Woittiez et al., 2018).

Comparación de rendimiento entre fincas orgánicas y convencionales

El rendimiento de plantaciones de fincas orgánicas es de 10,60 toneladas de racimos de fruta fresca por hectárea (t RFF/ha) en el año 2020; siendo superado por el rendimiento de las plantaciones de fincas convencionales con 19,45 t RFF/ha (Figura 6), alcanzando de esta forma un rendimiento general de 12,46 t RFF/ha en los dos sistemas.

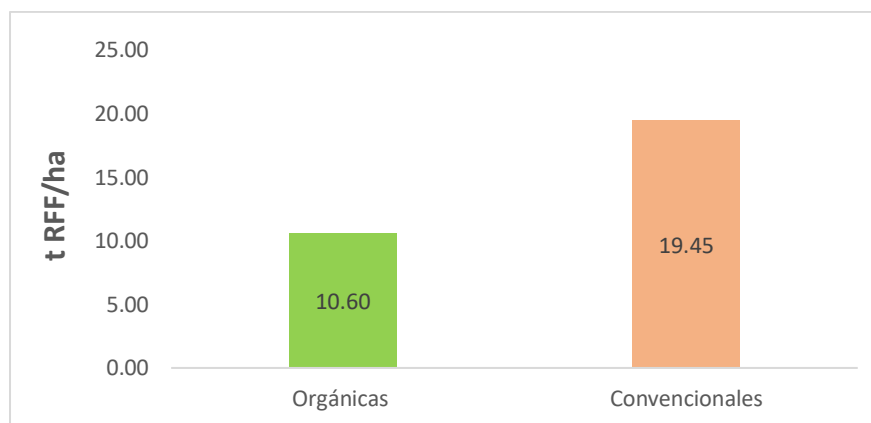


Figura 6. Rendimiento de fincas orgánicas y convencionales

Elaborado por: Pablo Escobar

Estos resultados son concordantes con el rendimiento general de este cultivo reportado en la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (INEC, 2021a) con 12,98 t RRF/ha a nivel nacional en el año 2020, y específicamente es similar al rendimiento reportado en la provincia de Esmeraldas de 12,03 t RFF/ha en el año en mención, producto de la cosecha de 55.378 hectáreas con una producción anual de 666.396 toneladas métricas. De esta forma la producción anual de palma aceitera en Esmeraldas representa el 27,24% respecto a la producción nacional de este cultivo en 2020 (INEC, 2021b).

No obstante, los resultados obtenidos muestran una reducción del 45,50% en la productividad del cultivo en fincas orgánicas en comparación con las convencionales, estos hallazgos son superiores a los obtenidos en el estudio de Ponti et al. (2012) quienes concluyen con base en una evaluación de metadatos de 362 rendimientos de cultivos comparativos orgánicos vs. convencionales, que los rendimientos orgánicos son en promedio 20% menores que los rendimientos convencionales.

Las diferencias de la productividad entre el cultivo orgánico vs. convencional también se han detectado en otros productos, según el estudio de Raigón et al. (2000) que mostró una reducción del 6,3% en la productividad del brócoli mientras que en la lechuga la reducción fue de 14%, concluyendo que los sistemas de agricultura orgánica son en general, menos productivos que los sistemas convencionales.

Estas diferencias entre los sistemas agrícolas convencionales y orgánicos se basan en prácticas de gestión que promueven y mejoran la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad microbiana del suelo (Woittiez et al., 2018). En este sentido, la agricultura orgánica tiene como fin aumentar los procesos ecológicos que fomentan la nutrición de las plantas y al mismo tiempo, conservan los recursos del suelo y el agua (Tully & McAskill, 2020).

En la producción de palma aceitera, los cultivos orgánicos se diferencian de sus contrapartes convencionales particularmente en el control de malezas y la fertilización del suelo, destacando que se ha establecido que la aplicación de tecnología de cultivo (mantenimiento de plantas, fertilización, control de plagas y enfermedades) afectará en gran medida la productividad de estas plantas (Anwar et al., 2014). Así mismo, las buenas prácticas de gestión pueden aumentar la productividad de los pequeños agricultores de palma aceitera alrededor de 2,3 t/ha/año (Daemeter Consulting, 2013).

No obstante, en el estudio de Mardegan et al. (2022) se establece que el control biológico de enfermedades y plagas así como la poda de palmeras son similares en ambos sistemas de cultivo, sin embargo, en la agricultura convencional, el deshierbe químico se realiza dos veces al año y se utilizan fertilizantes sintéticos, de igual manera se ha determinado que la agricultura orgánica de palma aceitera influye positivamente en la calidad del suelo, especialmente en la dinámica de la materia orgánica, la proporción de un mayor pH y fertilidad del suelo.

Lo que confirma la influencia de las prácticas de manejo sobre las propiedades físico-químicas del suelo a largo plazo, sin embargo, estos aspectos no intervienen de forma inmediata en el aumento del rendimiento. Además, cabe destacar que la palma aceitera es un cultivo perenne y tales sistemas por sí mismos, protegen el suelo de la erosión y/o compactación de las capas superficiales y mejoran su estructura.

Por otro lado, hallazgos sugieren que los aportes de enmiendas orgánicas en los cultivos mejoran la disponibilidad y transformación de nutrientes del suelo, así como la renovación de la materia orgánica del suelo biológicamente activa (Reeve

et al., 2016). Aunque estos aspectos no son estadísticamente significativos en la productividad de la palma aceitera, es fundamental considerar que los suelos bajo agricultura orgánica tienden a almacenar más C y N que sus contrapartes convencionales. Es decir, los sistemas orgánicos de cultivos perennes tienen el potencial de preservar e incluso aumentar el secuestro de C y N después del mal uso de la tierra, y ayudan a mitigar la emisión de dos importantes gases de efecto invernadero (Dislich et al., 2017).

Sin embargo, aunque la productividad de los cultivos orgánicos disminuye, el valor agregado del aceite de palma certificado como orgánico conduce a una materia prima más rentable. Además, los ahorros de los fertilizantes sintéticos, muestran que la agricultura orgánica es una alternativa viable para el medio ambiente y los productores de palma aceitera (Brandao et al., 2021).

Prueba t para emisiones por unidad de superficie

Al aplicar la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en emisiones por unidad de superficie, se determina que no existe diferencia estadística entre plantaciones pequeñas y medianas en los dos sistemas de cultivo, tal como se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en emisiones por unidad de superficie

	Emisiones totales/ha (t CO ₂ e/ha) plantaciones pequeñas	Emisiones totales/ha (t CO ₂ e/ha) plantaciones medianas
Media	3,07396	2,50358
Varianza	4,918118092	0,139443127
Observaciones	10	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	0,791202679	
P(T<=t) una cola	0,223592616	
Valor crítico de t (una cola)	1,812461123	
P(T<=t) dos colas	0,447185232 (orgánicas)*	
Valor crítico de t (dos colas)	2,228138852	

Media	1,74025	4,319575
Varianza	0,097196405	15,47376265
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-0,924407337	
P(T<=t) una cola	0,262497109	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,524994217	(convencionales*)
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

* Las emisiones no son diferentes estadísticamente

Fuente: Ramírez Cando, 2022

Elaborado por: Lenin Ramírez Cando

En concordancia con el resultado estadístico de la prueba t, se procedió a realizar un análisis en base a los promedios de emisiones por unidad de superficie obtenidos en los sistemas de cultivo orgánico y convencional, como se detalla a continuación:

Emisiones por unidad de superficie de fincas orgánicas y convencionales

Las plantaciones de fincas orgánicas alcanzaron un valor de emisión por unidad de superficie de 2,88 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹, siendo superadas por las plantaciones de fincas convencionales que obtuvieron un valor de 3,03 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹, tal como se ilustra en la Figura 7.

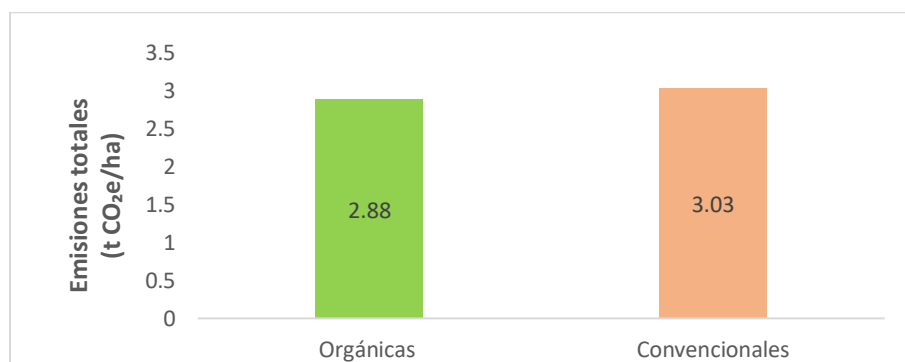


Figura 7. Emisiones por unidad de superficie de fincas orgánicas y convencionales

Elaborado por: Pablo Escobar

Además, se obtuvieron valores de emisión por unidad de superficie de 3,07 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹ para el caso de plantaciones pequeñas con sistema de cultivo orgánico; superando así las 2,50 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹ que alcanzaron las plantaciones medianas con el mismo sistema de cultivo (Figura 8).

Completando la información, se alcanzaron valores de emisión por unidad de superficie que llegaron a 1,74 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹ para el caso de plantaciones pequeñas con sistema de cultivo convencional; siendo superadas por las 4,32 toneladas de CO₂e ha⁻¹ año⁻¹ de plantaciones medianas con el mismo sistema de producción; se ilustran estos resultados en la Figura 8.

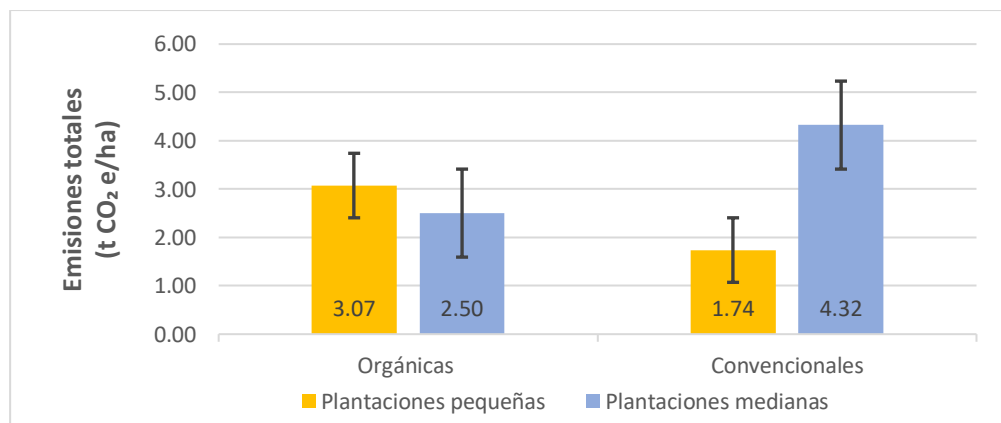


Figura 8. Emisiones por unidad de superficie de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales

Elaborado por: Pablo Escobar

Emisiones por unidad de producto de fincas orgánicas y convencionales

Las plantaciones de fincas orgánicas alcanzaron un valor de emisión por unidad de producto de 0,31 toneladas de CO₂e/t RFF, siendo superiores a las emisiones de plantaciones de fincas convencionales que obtuvieron un valor de 0,15 toneladas de CO₂e/t RFF (Figura 9).

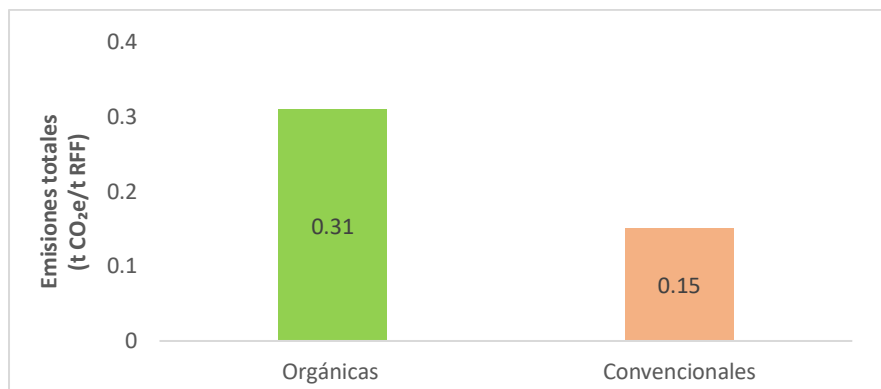


Figura 9. Emisiones por unidad de producto de fincas orgánicas y convencionales
Elaborado por: Pablo Escobar

Además, se han obtenido valores de emisión por unidad de producto de 0,27 toneladas de CO₂e por cada tonelada de RFF en plantaciones pequeñas con sistema de cultivo orgánico; y 0,40 toneladas de CO₂e por cada tonelada de RFF en el caso de plantaciones medianas con el mismo sistema de cultivo (Figura 10).

Complementando los datos, se obtuvieron valores de emisión por unidad de producto de 0,08 toneladas de CO₂e por cada tonelada de RFF en plantaciones pequeñas con sistema de cultivo convencional; y 0,22 toneladas de CO₂e por cada tonelada de RFF en el caso de plantaciones medianas con igual sistema de producción, como se ilustra en la Figura 10.

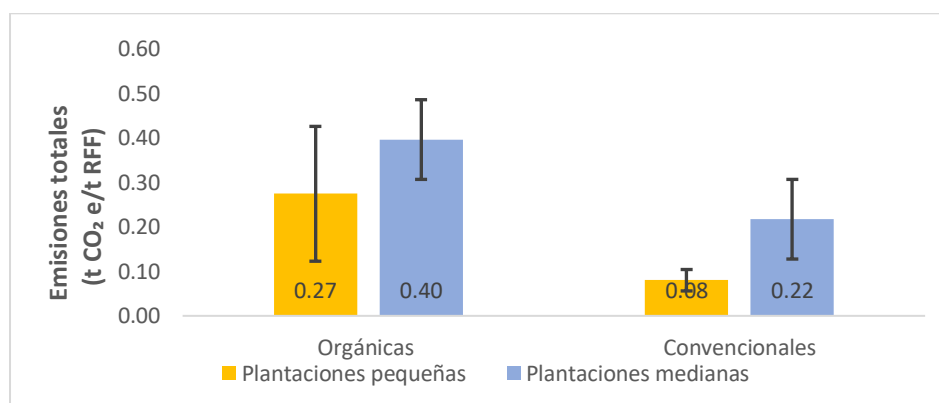


Figura 10. Emisiones por unidad de producto de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales
Elaborado por: Pablo Escobar

La evaluación de los resultados en fincas orgánicas vs. convencionales, muestran que las emisiones totales por unidad de superficie de plantaciones de fincas orgánicas son menores que las convencionales en un 5%, mientras que las emisiones totales por unidad de producto de plantaciones de fincas orgánicas son superiores a las convencionales en un 51%.

Estas diferencias se deben a que en promedio la extensión (ha) de las fincas orgánicas son mayores a las convencionales, por lo que, al dividir la emisión de los GEI por el rendimiento este valor resulta inferior, no obstante, al estimar el valor con respecto a la unidad de producto se obtuvo resultados superiores en las fincas orgánicas, dado que como se indicó previamente, estas plantaciones tienen un menor rendimiento a pesar de tener mayor área de cultivo, por ello la importancia de procurar el aumento de la producción en el sistema orgánico.

No obstante, estos resultados no son concordantes con el estudio de Almeida et al. (2020) que tuvo como objetivo determinar las emisiones de GEI desde la fase agrícola de los cultivos de palma aceitera en la región amazónica brasileña, determinando que las emisiones totales de la producción de RFF, extracción y transporte fueron 112,82 t CO₂e, de la cual la fase agrícola (producción de plántulas, plantaciones juveniles y maduras) contribuyó con el 28% de las emisiones totales de GEI emitiendo 32,13 t CO₂e, y se determinó que de lo obtenido, el 88% está relacionado con la etapa madura del cultivo, mientras que el 1 y el 9% provienen de los rodales de vivero y juveniles, respectivamente. Estos resultados concuerdan con otros estudios que analizan las fuentes de emisión de GEI en la fase agrícola de producción de palma aceitera (Reijnders & Huijbregts, 2008).

Así mismo, en el estudio de Choo et al. (2011) se obtuvo como resultado que 1 t de RFF produjo 119 kg CO₂e, no obstante, el estudio incluyó cinco subsistemas a saber, la fase agrícola donde se cultivan plántulas de palma aceitera en el vivero y luego trasplantado a la plantación [cultivo de palma aceitera para racimos de fruta fresca], extracción de aceite crudo de palma (CPO) de RFF, refinación del CPO para producir aceite de palma refinado (RPO) y transesterificación de RPO (producción de biodiesel de palma), en plantaciones

convencionales de Malasia, por lo que se espera valores muy superiores a los obtenidos en el presente estudio.

Por último analizando trabajos similares en otros cultivos, por ejemplo, en el estudio de Pinzón Colmenares & Ramírez Cando (2021), quienes compararon tres modelos de producción de maíz duro (tradicional, semi - convencional, y convencional) en Shushufindi-Ecuador, obtuvieron emisiones (kg CO₂e/ha/año) para el modelo tradicional 570,00, semi - convencional 1209,45 y convencional 2926,92, coincidiendo con el presente estudio, ya que el sistema convencional de palma aceitera es el que mayor nivel de emisiones por unidad de superficie alcanza vs. el sistema orgánico.

FUENTES DE EMISIÓN DE CO₂e

En el presente estudio se consideró dos factores relacionados con la generación de la HC: Emisiones por unidad de superficie (kg CO₂e/ha) y Emisiones por unidad de producto (kg CO₂e/t RFF), los porcentajes relativos a cada factor se muestran a continuación de la siguiente forma:

En la Figura 11 se indican las fuentes de emisión de CO₂e por unidad de superficie de fincas orgánicas y convencionales.

Además, se presenta en la Tabla 8, las emisiones totales (kg CO₂e) por sistema de cultivo y por tamaño de plantación; para obtener los valores se ha sumado la totalidad de las emisiones por fuente.

Tabla 8. Emisiones totales por sistema de cultivo y tamaño de plantación (kg CO₂e)

Fuente de emisión	Orgánicas		Convencionales	
	p. pequeñas	p. medianas	p. pequeñas	p. medianas
Residuos	1765	1817	1415	1238
Energía	157	274	237	456
Transporte	80	59	89	80
N ₂ O	344	354	0	0
Plaguicidas	4	0	0	31
Fertilizantes	725	0	0	2515
TOTAL	3075	2504	1741	4320

Elaborado por: Pablo Escobar

También los resultados porcentuales de cada una de las fuentes de emisión evaluadas, tanto para las fincas orgánicas como convencionales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Factores de emisión de CO₂e por superficie y producto

Fuentes	Emisiones por superficie (kg CO ₂ e/ha)				Emisiones por producto (kg CO ₂ e/t RFF)			
	P	M	P	M	P	M	P	M
	Orgánicas		Convencionales		Orgánicas		Convencionales	
Residuos	57,4%	72,6%	81,3%	28,7%	60,7%	70,2%	81,3%	25,7%
Energía	5,1%	11,0%	13,6%	10,6%	6,2%	14,4%	13,8%	9,0%
Transporte	2,6%	2,3%	5,1%	1,9%	2,5%	2,0%	5,0%	1,8%
N ₂ O	11,2%	14,1%	0,0%	0,0%	13,1%	13,4%	0,0%	0,0%
Plaguicidas	0,1%	0,0%	0,0%	0,7%	0,4%	0,0%	0,0%	0,5%
Fertilizantes	23,6%	0,0%	0,0%	58,2%	17,1%	0,0%	0,0%	63,1%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nota: P: plantaciones pequeñas / M: plantaciones medianas

Elaborado por: Pablo Escobar

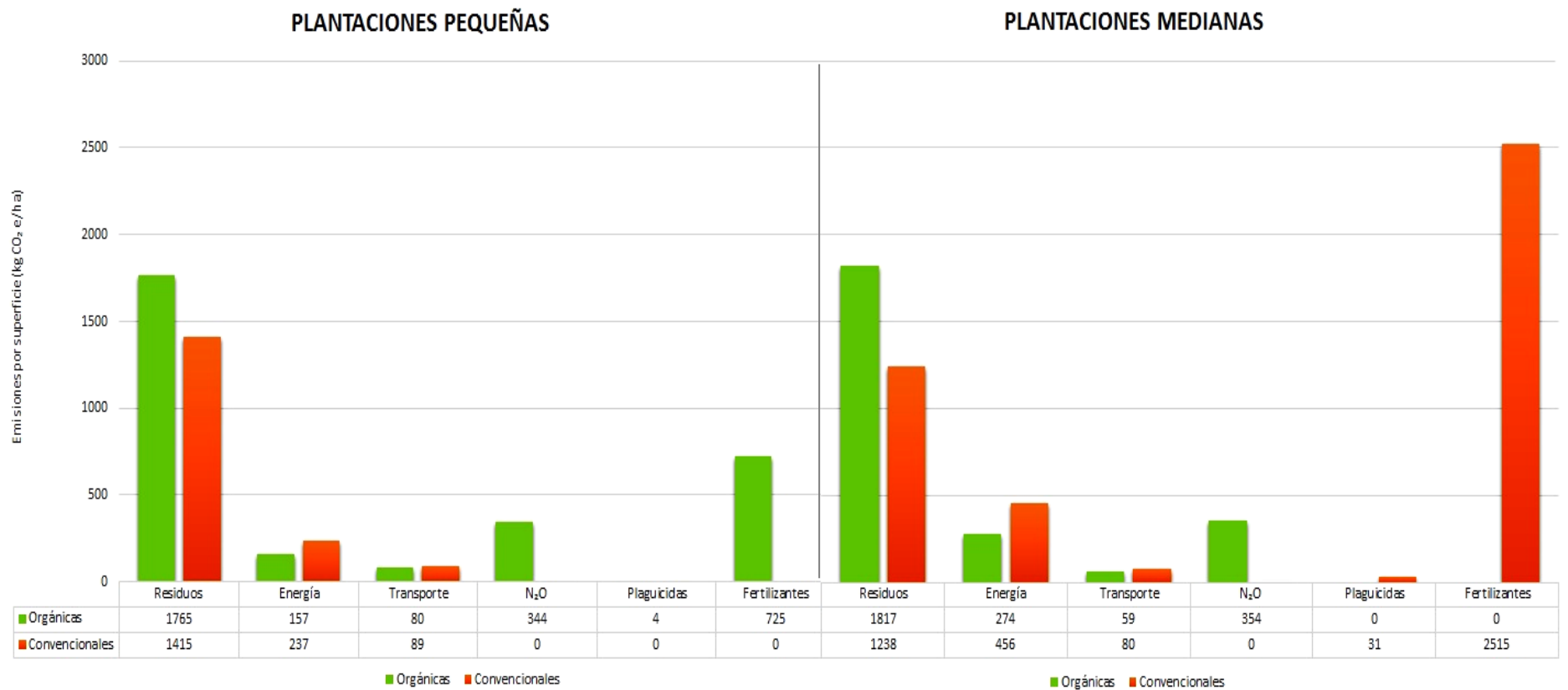


Figura 11. Fuentes de emisión por unidad de superficie de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales

Elaborado por: Pablo Escobar

En la Figura 12 se encuentran las fuentes de emisión de CO₂e por unidad de producto de fincas orgánicas y convencionales.

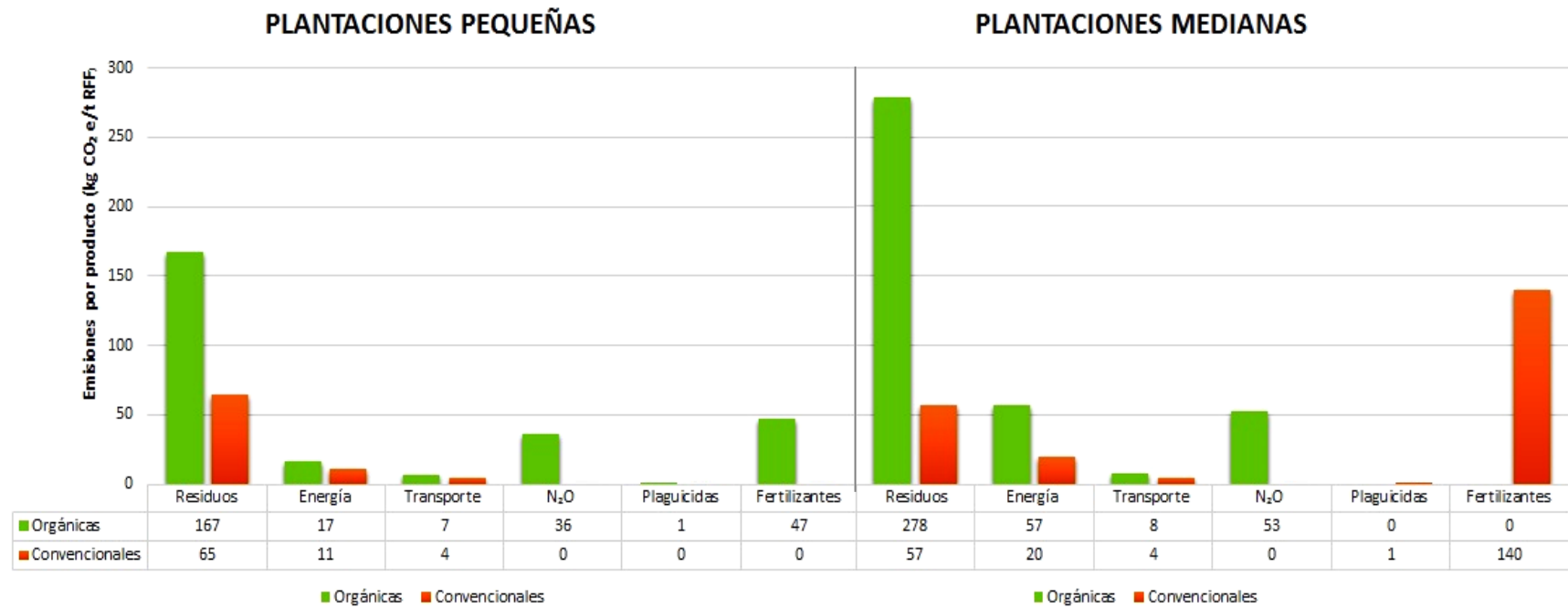


Figura 12. Fuentes de emisión por unidad de producto de plantaciones de fincas orgánicas y convencionales

Elaborado por: Pablo Escobar

Según los resultados obtenidos en las Tablas 8 y 9, en plantaciones pequeñas y medianas de fincas orgánicas la mayor fuente de emisiones de kg CO₂e tanto por superficie como por producto corresponde a los residuos, seguido del uso de fertilizantes sólo para las plantaciones pequeñas, mientras que para las medianas es el óxido nitroso (N₂O) y el uso de energía.

De la misma forma en fincas convencionales, la principal fuente de emisión de kg CO₂e por superficie y por producto para plantaciones pequeñas también corresponde a los residuos, seguido del consumo de energía; mientras que para plantaciones medianas corresponde al uso de fertilizantes seguido de los residuos.

Emisiones relacionadas con los residuos del cultivo

El tratamiento de residuos se refiere a la capacidad de un ecosistema para eliminar o reciclar estos elementos orgánicos o inorgánicos. Los residuos producidos en los cultivos de palma aceitera corresponden al efluente líquido de la molienda (POME) y una cantidad abundante de bio-recursos de bajo valor en forma de residuos agrícolas y forestales, como racimos de fruta vacía (RFV) y cáscara de palmiste (PKS). En este sentido, la producción de racimos de fruta vacía (RFV) son un problema químico menor, pero su volumen presenta considerables problemas de almacenamiento y eliminación, y sus vertederos a menudo ocupan varias hectáreas de terreno potencialmente útil adyacente a las plantas (Truckell et al., 2019). Por lo que, estas prácticas de gestión de residuos en las plantaciones afectan la calidad del aire, el agua, el suelo y el ambiente (Gaveau et al., 2014).

Destacando que a partir de 1 tonelada de racimos de frutos llenos (RFL), se produce en promedio 712,1 kg de frutos, 254,7 kg de racimos de fruta vacía (RFV), 399,8 kg de torta de palmiste, 114,9 kg de fibra, 240,4 litros de efluentes de molienda de aceite de palma (POME) y 152,3 litros de aceite crudo de palma (Windekp et al., 2016).

En el presente estudio, las emisiones por superficie (kg CO₂e/ha) y las emisiones por producto (kg CO₂e/t RFF) debido a los residuos en los cultivos de palma aceitera es reportado como el principal contribuyente tanto en fincas orgánicas, que representó entre un 57 a 72% del total de emisiones y en fincas

convencionales que representó un 81% en plantaciones pequeñas y entre un 25 a 28% en plantaciones medianas.

Al comparar los valores entre fincas convencionales vs. orgánicas se obtuvo que las emisiones de este factor son superiores para las fincas orgánicas. Esto está relacionado con la gestión de residuos que efectúan este tipo de predios, que implica el compostaje de este material para su reutilización, dado que la generación de desechos que reportan las fincas son similares y se mantiene aproximadamente en 5%.

En este sentido, el compostaje no está libre de emisiones, ya que el aumento de actividad microbiana y de fauna del suelo genera CO₂, metano y otros gases de efecto invernadero. Sin embargo, el compostaje emite sólo entre un 10 a 15 % de equivalentes de CO₂ en comparación con la combustión para obtener energía (Rahman et al., 2019).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Frohmann & Olmos (2016) que determinaron que la descomposición de residuos de cultivos de palma aceitera representa entre un 16 a 30% de las emisiones totales de CO₂e y los porcentajes aumentan con la zona del suelo marrón, marrón oscuro, zona de suelo negro. La diferencia de emisiones entre distintas tierras de cultivo depende del tipo de suelo y la cantidad de reservas de carbono, el drenaje y uso de fertilizantes (Hashim et al., 2017).

Emisiones relacionadas con el consumo de energía

Para este factor de emisión se consideró el consumo de electricidad y combustibles fósiles por cada tipo de labor agrícola, para la operación de maquinaria utilizada en el mantenimiento, riego y monitoreo del cultivo (no se incluye el transporte). Sin embargo, ninguna de las 19 fincas bajo estudio reportó consumo de electricidad para operar maquinaria agrícola en el año 2020, por lo tanto, las emisiones que se registran únicamente se derivan del consumo de combustibles fósiles para labores agrícolas.

Este resultado es similar al obtenido en el estudio de Almeida et al. (2020) quienes determinaron que la aplicación y uso de electricidad representó menos del 1% de emisiones totales de GEI a nivel del cultivo de palma aceitera.

Con este antecedente, en el presente estudio, las emisiones por superficie (kg CO₂e/ha) y las emisiones por producto (kg CO₂e/t RFF) relacionados con el consumo de energía fueron diversas, observando que en fincas orgánicas, las plantaciones medianas generaron más emisiones por este factor vs. las plantaciones medianas de fincas convencionales; mientras que para plantaciones pequeñas fue a la inversa, observando en ambos casos que el aporte con respecto a emisiones totales se encontró entre 5 a 14%.

Estos resultados concuerdan con los presentados por Almeida et al. (2020) quienes señalan que el uso de combustibles contribuyó con el 15,1% del total de emisiones, obteniendo una emisión total de 23,08 kg CO₂e/t RFF y este valor se puede atribuir a que, en la finca de estudio, existe una gran cantidad de operaciones mecanizadas.

Bajo este contexto, el valor más alto reportado en emisiones por superficie correspondió a 456 kg CO₂e/ha, para plantaciones medianas de fincas convencionales y en emisiones por producto fue de 57 kg CO₂e/t RFF para plantaciones medianas de fincas orgánicas.

Resultados que son similares con el estudio de Reijnders & Huijbregt (2008), que reportaron emisiones totales por superficie asociadas al uso de diésel para operar maquinaria, en plantaciones de palma, con valores de 180 a 404 kg CO₂e ha⁻¹ año⁻¹. Si el rendimiento de RFF se establece en 21,2 t ha⁻¹, las emisiones totales por producto serían del orden de 8,5 – 19,1 kg CO₂e/t RFF.

Emisiones relacionadas con el transporte

Para determinar las emisiones relacionadas con transporte interno de cosecha e insumos en plantaciones y el transporte de cosecha hacia la planta extractora, es necesario establecer cuál es la emisión relativa al diésel, que es el combustible utilizado por los camiones de carga. En este sentido, Nikander (2008) ha determinado el consumo de diésel en 58 a 70 litros/ha/año y las emisiones en 3,1 kg CO₂e por litro de diésel, lo que equivale a 180 - 217 kg CO₂e/ha*año.

Emisiones derivadas del combustible fósil consumido por vehículos utilizados para transporte y otras operaciones de campo, se basan en el mismo factor

de emisión que el transporte de fertilizantes desde el sitio de fabricación al campo, es decir 3,12 kg CO₂e/litro de gasolina (Chase et al., 2012).

Con base en la revisión de la literatura efectuada por Brinkmann Consultancy (2009) las emisiones de GEI por tonelada de palma aceitera debido al transporte son del orden de 180 a 404 kg CO₂e/ha/año, con base en un rango de rendimiento de 3,2 a 4 toneladas de RFF/ha/año.

Considerando que, en el presente estudio, el uso de combustibles fósiles para este factor de emisión, se requirió únicamente para transporte de insumos, cosecha de racimos de fruta fresca (RFF) sólo en algunos casos (ya que en varias fincas se utiliza tracción animal para esta labor), y transporte de cosecha hacia la planta extractora, por lo que, contribuye en cantidades bajas a las emisiones de GEI, corroborando los resultados reportados por Choo et al. (2011).

Los resultados de la presente investigación, indican que las emisiones por superficie (kg CO₂e/ha) y las emisiones por producto (kg CO₂e/t RFF) fueron superiores en plantaciones pequeñas vs. medianas, tanto para fincas orgánicas como convencionales y representó entre el 2 y el 5% de emisiones totales de la huella de carbono.

Estos resultados pueden estar relacionados con el medio que utilizan las distintas fincas para transportar la cosecha dentro de las plantaciones, como se indicó, varias fincas reportaron el uso de tracción animal; así como las diferentes distancias de las plantaciones con respecto a la planta extractora.

Emisiones relacionadas con el uso de fertilizantes

En el presente estudio, las emisiones por superficie (kg CO₂e/ha) y por producto (kg CO₂e/t RFF) debido al uso de fertilizantes en los cultivos de palma fue reportado como el segundo contribuyente en plantaciones pequeñas de fincas orgánicas, mientras que en plantaciones medianas no se reportó emisión de CO₂e debido a este factor; esto se debe a que sólo una finca orgánica reportó el uso de fertilizantes con un volumen de 8,58 t/ha de pollinaza, y 20,02 t/ha de compost de raquis, ambos incorporados al suelo alrededor de las plantas en la zona radicular.

Para las fincas convencionales, de igual manera una sola finca reportó el uso del fertilizante compuesto NPK: 15% N; 15% K₂O; 15% P₂O₅, que correspondió a la aplicación de 3 libras de potasio, 1 libra de fósforo, y 1 libra de nitrógeno por planta (5 libras/planta), aplicado al voleo en la corona de cada palma (una aplicación en el 2020), y Boro en un volumen de 200 gramos por planta, incorporado al suelo junto a cada palma (una aplicación en el 2020), causando que el uso de fertilizantes se registrara como el factor de mayor generación de emisiones.

Resultados concordantes con el estudio de Almeida et al. (2020) quienes determinaron que el uso de fertilizantes en el cultivo de palma aceitera contribuyó con el 17,9% de emisiones de GEI, colocando a este factor como la segunda mayor fuente de emisión. Es importante notar que las emisiones de GEI se liberan durante la producción industrial de fertilizantes como a través de la aplicación de estos insumos en campo.

Así mismo, en el estudio de Yee et al. (2009) el uso de fertilizantes contribuyó con el 63% de las emisiones de GEI en la fase agrícola. Mientras que en la investigación de Choo et al. (2011) las emisiones de CO₂e en plantaciones de palma aceitera en Malasia, se debieron principalmente al uso de fertilizantes.

Por otro lado, Frohmann & Olmos (2016) concluyeron que la producción y aplicación de fertilizantes nitrogenados representan entre el 57 a 65% de las emisiones totales en plantaciones de palma aceitera. Mientras Brinkmann Consultancy (2009) ha estimado que las emisiones totales de CO₂e relacionadas con el uso de mezcla de fertilizantes equivalen a 17,3 kg CO₂e/t RFF, y que las emisiones de GEI relacionadas con el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos están en el orden de 1.000 a 1.500 kg CO₂e/ha/año.

Emisiones de óxido nitroso (N₂O)

Las fuentes de óxido nitroso (N₂O) incluyen el uso de fertilizantes nitrogenados, materiales orgánicos que contienen N y biomasa quemada en campo, no obstante, en muchos casos el aporte como resultado de esta actividad es escaso y en todo caso en la mayoría de las fincas en estudio no se efectuaron estas prácticas en el año 2020. La cantidad de N₂O emitida es el producto de la cantidad de N aplicada y la emisión por unidad de N (Henson, et al., 2012).

El N₂O se forma directamente debido a la desnitrificación en el sitio e indirectamente a partir de las pérdidas de N que ocurren como escorrentía, lixiviación y volatilización. Este último proceso sólo es significativo para la urea, que generalmente no se usa en el cultivo de palma aceitera y, por lo tanto, las pérdidas por volatilización pueden ignorarse (Henson et al., 2012).

Las plantaciones de palma aceitera recién establecidas muestran emisiones de N₂O más altas que las plantaciones antiguas debido al uso de fertilizantes y otros factores ambientales (Melling et al., 2013). Además, el aumento de emisiones de NO_x en las plantaciones es causado por la combustión de plantas de fertilizantes y los escapes de los vehículos (Uning et al., 2020).

Conjuntamente, se observa una alta variabilidad espacial en las emisiones de N₂O debido a que la fertilización generalmente se aplica directamente alrededor de las palmas y no de manera homogénea sobre las plantaciones (Fowler et al., 2011).

Finalmente, es importante destacar que según los resultados del estudio de Rahman et al. (2019) indican que un cambio en la humedad del suelo a través de la lluvia es un factor ambiental importante que afecta las emisiones de N₂O. Por lo tanto, el momento de la aplicación de fertilizantes es una implicación de gestión importante para reducir significativamente las emisiones de N₂O de plantaciones de palma aceitera al evitar períodos de fuertes lluvias.

En el presente estudio, las emisiones por superficie (kg CO₂e/ha) y emisiones por producto (kg CO₂e/t RFF) de N₂O fue reportado sólo en fincas orgánicas, que representó entre un 11 a 14% del total de emisiones, las fincas convencionales no reportaron emisión correspondiente a este factor. El valor reportado en plantaciones pequeñas de fincas orgánicas fue de 344 kg CO₂ e/ha y 36 kg CO₂ e/t RFF, mientras que en plantaciones medianas el valor fue de 354 kg CO₂ e/ha y 53 kg CO₂ e/t RFF.

Estos resultados no son concordantes con el estudio de Henson et al. (2012) en el que se estimaron emisiones de N₂O realizadas para las regiones central y norte de Colombia, con base en los datos de fertilizantes en dos plantaciones de palma

aceitera que arrojaron emisiones totales de N₂O de 5,27 y 2,80·10³ toneladas de CO₂e año⁻¹ respectivamente.

Emisiones relacionadas con el uso de plaguicidas

Las emisiones como resultado del uso de plaguicidas en fincas bajo estudio correspondieron a menos del 1% de las emisiones por superficie (kg CO₂e/ha) y a las emisiones por producto (kg CO₂e/t RFF), ya que se reportó el uso de estos insumos en sólo una plantación mediana de finca convencional (Fosetyl Aluminio, Sulfato de cobre pentahidratado y Cipermetrina), y una plantación pequeña de finca orgánica (Caldo sulfocálcico).

Estos resultados son concordantes con el estudio de Brinkmann Consultancy (2009) que refiere que en el cultivo de palma aceitera se utiliza una pequeña cantidad de plaguicidas, lo que resulta en bajas emisiones de GEI debido al uso de estos productos.

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO (HC)

Con la revisión bibliográfica efectuada y con base en las principales fuentes de emisión de CO₂e, se analizó en conjunto con el aporte de criterios de técnicos entrevistados de las fincas bajo estudio, y se propuso una serie de alternativas para mitigar la HC proveniente de plantaciones orgánicas y convencionales de palma aceitera (Vera, Villareal & Siza, 2022), descritas a continuación:

Gestión y valorización de residuos del cultivo

Para aumentar la sostenibilidad del sistema de producción de palma, a menudo se sugiere reducir la dependencia del fertilizante sintético y aplicar más desechos orgánicos generados en el sistema de producción para cerrar los ciclos de nutrientes. La biomasa más comúnmente aplicada en plantaciones a gran escala son las frondas podadas, racimos de fruta vacía (RFV) y los troncos viejos de palma [cortados en pequeños trozos e incorporados al suelo durante la replantación] (Rahman et al., 2018).

Los posibles usos incluyen: generación de bioenergía por combustión o fermentación; materia prima complementaria en la producción de forraje para el ganado y estanques piscícolas; y materia prima para la industria farmacéutica y química (Ahmad, 2015). También tienen potencial como materia prima para fertilizantes para la conversión por pirólisis, gasificación, combustión o compostaje en productos como biochar, cenizas o compost para beneficiar el suelo y los cultivos (Anyaocha et al., 2018).

Los residuos de palma aceitera tienen diversos usos potenciales, para el compostaje y también como materia prima para biocombustibles, etanol, ácidos orgánicos, bioplásticos y otros productos químicos. No obstante, el compostaje de residuos de palma produce grandes volúmenes de biofertilizante en la planta o cerca de ella, y puede usarse en la plantación adyacente, lo que minimiza los costos de transporte, destacando que, la aplicación adecuada del biofertilizante puede mejorar la retención de agua, reducir la erosión del suelo y la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos, y aumenta los rendimientos (Truckell et al., 2019).

Los datos de Ahmad (2015) indican que el biofertilizante de RFV compostado aplicado a dosis de 100 t/ha, contiene alrededor de 65 kg de N, 10 kg de P, 145 kg de K y 70 kg de Mg, con variaciones debidas al contenido de humedad y pérdidas por volatilización y lixiviación. Estos nutrientes podrían sustituir a los fertilizantes comerciales en aproximadamente 140 kg/ha de urea, 65 kg/ha de fosfato, 280 kg/ha de muriato de potasio y 100 kg/ha de kieserita. Adicionalmente, el compostaje es ambientalmente preferible a la producción de bioenergía, ya que facilita la captura sustancial de carbono, y la mayor parte del carbono de los residuos finalmente se incorpora a la materia orgánica del suelo (MOS), en lugar de emitirse a la atmósfera como CO₂.

Además, el uso de enmiendas orgánicas, aumentan la materia orgánica del suelo y mejoran sus propiedades en comparación con los suelos que sólo reciben aplicaciones regulares de fertilizantes inorgánicos. Esto ha resultado en un aumento en los rendimientos de la palma aceitera de entre 16 a 21%, dado que los fertilizantes orgánicos a menudo tienen un efecto encalante en suelos ácidos (Comte et al., 2013).

Es destacable también que hay varios procesos mediante los cuales se puede elevar el pH del suelo cuando se agrega materia orgánica, incluida la desnitrificación, la mineralización y el descomplejamiento de metales ligados orgánicamente, mineralización de N orgánico, reducción de sulfato, absorción microbiana de N, S o P, también como resultado de la alcalinidad de las cenizas (contenido de aniones) en el abono orgánico o de la actividad microbiana (Comte et al., 2013). Mientras que, Abu Bakar et al. (2011) atribuyeron el aumento de pH después de incorporar RFV a su alto contenido de K.

Reducción del uso de energía

Reducir los requisitos de electricidad para el riego o el secado de semillas quizás no sea realista, pero cambiar a fuentes de electricidad más sostenibles podría reducir las emisiones de cultivo (Alcock et al., 2022). En el plan de mitigación desarrollado por la empresa REPSA, S.A. (2016) para reducir el consumo de combustible fósil se consideró definir rutas de carga y operación, implementar planes operativos anuales de mantenimiento de carreteras, levantar información sobre el registro de consumo y estadística de eficiencia de equipos y finalmente efectuar un análisis del uso de nuevas alternativas energéticas en equipos fuentes de combustión fija.

Fijación biológica para reducir la entrada de fertilizantes nitrogenados sintéticos

Corresponde al uso de la fijación biológica de N mediante la inclusión de leguminosas en las rotaciones de cultivos, esto puede reducir la dependencia en la agricultura de los fertilizantes nitrogenados sintéticos y, por lo tanto, reducir la HC de la agricultura. Los estudios han demostrado que la eficiencia en el uso de N se puede aumentar sustancialmente simplemente mediante la mejora de la tecnología de aplicación de fertilizantes nitrogenados, como las bandas laterales, la aplicación oportuna, enfoques específicos del sitio. Por ello, en esta estimación, si la eficiencia en el uso de N se puede aumentar en un 10%, lo cual es muy posible con el uso de prácticas mejoradas de manejo de N, la HC por ejemplo de la canola y el trigo, dos cultivos amantes del N, se puede reducir en un 7% (Viguera et al., 2019).

Asimismo, las asociaciones entre leguminosas y rizobios son sistemas eficaces de fijación de N_2 impulsados por la energía solar en los que el N_2 atmosférico se transforma en amoníaco, sin emisiones netas de CO_2 . Además de fijar sus requerimientos de N, los cultivos dejan una porción de su N fijado biológicamente en el suelo; por lo que, la contribución de la rizodeposición, las raíces y los nódulos que permanecen en el suelo después de la cosecha a menudo se ignoran, lo que conduce a una subestimación de la contribución real de N fijado biológicamente por las leguminosas (Tapia et al., 2020).

Por ejemplo, el garbanzo, alguna vez considerado un pobre contribuyente al N del suelo, enriquece la reserva de N del suelo con contribuciones anuales de 58 kg ha^{-1} , y este número puede ser aún mayor con la liberación del N mineralizado de raíces y nódulos (Tapia et al., 2020).

En este sentido para hacer contribuciones positivas al suelo y a las plantaciones adyacentes, las leguminosas necesitan fijar una cantidad sustancial de N de la atmósfera. Generalmente, condiciones como la sequía y los niveles elevados de nitrato en el suelo tienen un impacto negativo en la actividad de la nitrogenasa en los nódulos y, por lo tanto, reducen la fijación de N. Sin embargo, el efecto varía según la especie de cultivo, por ejemplo, las lentejas y los guisantes secos tienden a fijar más N, por lo que aportan mayores cantidades al suelo (Normas de la Huella de Carbono de Productos Agrícolas, 2016).

Las leguminosas no sólo cumplen con su requerimiento de N mediante la fijación biológica de N_2 y, por lo tanto, reducen el uso de fertilizantes nitrogenados en los sistemas agrícolas, sino que también mejoran la productividad de los cultivos posteriores a través de otros medios no determinados. A nivel mundial, las leguminosas aportan alrededor de 21 millones de toneladas de N fijo por año, lo que representa un tercio de la fijación biológica total de N_2 en los agroecosistemas (Chávez & Burbano, 2021). Esta contribución se puede mejorar aún más aumentando la frecuencia de las rotaciones de cultivos y mejorando la sincronía entre la mineralización de N del residuo y la demanda máxima de N del siguiente cultivo.

En este contexto, en las fincas evaluadas se utiliza la fijación biológica a través de cultivos de cobertura, principalmente con leguminosa Pueraria (*Pueraria phaseoloides*), en los espacios abiertos entre palmas, por lo que, se ha considerado pertinente evaluar el uso de esta práctica en ambos sistemas de cultivo, obteniendo que todas las fincas convencionales utilizan esta leguminosa para la cobertura del 100% del suelo bajo cultivo, mientras que las plantaciones de fincas orgánicas tienen porcentajes de cobertura del suelo variables (Vera & Sacón, 2021; Villareal & Siza, 2022); como se detalla en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10. Porcentaje de cobertura vegetal con leguminosa Pueraria, rendimiento y emisiones totales por superficie de fincas orgánicas

Fincas orgánicas	% de cobertura vegetal del suelo	Rendimiento (t/ha)	Emisiones totales/ha (t CO₂e/ha)
Plantaciones pequeñas			
La Armenia	94,00	10,55	2,03
Casa de la Loma	72,55	11,91	2,23
Conceicao	78,95	8,53	2,49
Rey David	89,60	6,48	2,70
Las Amazonas	75,81	21,65	2,33
Caña Amarilla	97,87	17,95	2,29
Martha Beatriz	80,48	8,25	2,82
La Fortuna	82,74	8,93	2,25
La Atahualpa	38,43	10,55	2,23
Fidel Yandún	45,63	15,31	9,35
Promedio	75,60	12,01	3,07
Plantaciones medianas			
Finca la Tormenta	99,30	4,75	2,43
Esmeraldita	97,91	8,92	2,25
La Concepción	79,58	9,06	2,41
Hcda. Mal Paso	85,65	4,14	3,16
Bendición de Dios	84,71	12,03	2,28
Promedio	89,43	7,78	2,50

Elaborado por: Pablo Escobar

Los resultados según se observa en la Tabla 10, son diversos, sin embargo, se mantienen por encima del 72%, excepto en las fincas La Atahualpa y Fidel Yandún, cuyas coberturas vegetales del suelo sólo alcanzaron el 38,43 y 45,63%

respectivamente; no obstante, no se identificó variaciones importantes ni en el rendimiento ni en el valor de las emisiones, con excepción de la emisión por superficie (t CO₂e/ha) de la finca Fidel Yandún, que alcanzó un valor muy superior al promedio, esto puede deberse a que se trata del único predio orgánico en el que se aplicó fertilizante en el 2020, con el siguiente detalle: 8,58 t/ha de pollinaza, y 20,02 t/ha de compost de raquis.

Tabla 11. Porcentaje de cobertura vegetal con leguminosa Pueraria, rendimiento y emisiones totales por superficie de fincas convencionales

Fincas convencionales	% de cobertura vegetal del suelo	Rendimiento (t/ha)	Emisiones totales/ha (t CO₂e/ha)
Plantaciones pequeñas			
San Luis	100,00	20,12	1,96
Limón 1 y 2	100,00	23,93	1,52
Promedio	100,00	22,03	1,74
Plantaciones medianas			
Hcda. Macará	100,00	23,00	7,11
Mache	100,00	10,74	1,54
Promedio	100,00	16,87	4,32

Elaborado por: Pablo Escobar

De la misma forma según se observa en la Tabla 11, las coberturas vegetales del suelo alcanzaron el 100% en plantaciones de fincas convencionales; sin embargo, no se identificó variaciones importantes ni en el rendimiento ni en el valor de las emisiones, con excepción de la emisión por superficie (t CO₂e/ha) de la Hacienda Macará, que alcanzó un valor muy superior al promedio, esto puede deberse al igual que el caso anterior, porque se trata del único predio convencional en el que se utilizó fertilizante en 2020, con el siguiente detalle: una aplicación del fertilizante compuesto NPK: 15% N; 15% K₂O; 15% P₂O₅ (5 libras/planta), y Boro aplicado en un volumen de 200 gramos/planta.

Es importante destacar que las fincas convencionales tienen un mayor porcentaje de cobertura vegetal del suelo con leguminosa vs. las fincas orgánicas,

y también registran un mayor promedio de rendimiento, por lo tanto, probablemente esta práctica estaría contribuyendo al aumento del nivel de producción del cultivo.

En este sentido, diferentes estudios sobre la implementación de cultivos de cobertura con leguminosas en plantaciones de palma aceitera, demuestran una absorción positiva de nutrientes del suelo, además puede mejorar la fertilidad del suelo, especialmente en la fijación de N, conservar la calidad del agua de las fuentes de este líquido más cercanas y reciclar los nutrientes nuevamente en el suelo a través de procesos de descomposición de residuos (Matos et al., 2021).

Esto resulta fundamental, considerando que aproximadamente el 48,7% de los GEI emitidos para producir 1 t de fruto de palma aceitera se deben a la fertilización nitrogenada (Pardon et al., 2017). Así mismo, según el estudio de Suliman & Qursyna (2019) los cultivos de cobertura en plantaciones de palma pueden reducir la masa de N lixiviado y concentración de nitrato (NO_3^-) entre un 20 a 80% en comparación con el suelo sin cultivos de cobertura, lo cual puede ser asociado con la capacidad de los cultivos de cobertura para fijar N_2 usando sus raíces y suprimir la lixiviación de nitrato en aguas subterráneas y bloquear los movimientos descendentes hacia el perfil del suelo.

Además, la plantación de cultivos de cobertura como las leguminosas que forman matas densas de bajo crecimiento reduce la necesidad de usar herbicidas para controlar la maleza (Samedani et al., 2015).

Cultivos intercalados

El intercalado de plantaciones de palma aceitera con otros cultivos se practica ampliamente en Malasia, a menudo por parte de pequeños agricultores para generar ingresos en los primeros años de plantación antes de que las palmeras produzcan frutos. El cultivo intercalado reduce los patógenos nocivos, como los hongos que se propagan de las plantaciones antiguas a las nuevas, pero se necesitan más estudios para confirmar los beneficios del uso de cultivos intercalados para mejorar la prevención de enfermedades de los cultivos, la productividad y la calidad del suelo (Woittiez et al., 2018).

En Pahang - Malasia, el cultivo en callejones en las plantaciones de palma facilitó la complejidad del hábitat y una diversidad beta de artrópodos

significativamente mayor en comparación con otros sistemas de monocultivo tradicionales (Ashraf et al., 2018). En general, los órdenes de artrópodos, pero no la abundancia o la composición, se encontraron significativamente más altos en policultivos que en monocultivos (Ghazali et al., 2016).

Los estudios sugieren que el cultivo intercalado de palma aceitera con otros cultivos, en particular el cacao, proporcionó grandes efectos de conservación de la tierra, al mismo tiempo que reponía agua subterránea y reducía la HC (Khasanah et al., 2020). Además, se ha demostrado que las implementaciones de granjas biológicas en Malasia reducen el agotamiento de nutrientes del suelo y el uso de insumos químicos. Este sistema de producción mejora las prácticas estándar al extender el ciclo de cultivo, generar carbono orgánico en el suelo, métodos alternativos de replantación y minimizar la pérdida de suelo (Howes, 2020).

Estos resultados indican que el uso de sistemas de cultivos diversificados puede reducir sustancialmente la entrada de plaguicidas en la producción de cultivos y, por lo tanto, reducir la HC de los productos agrícolas (Yunga, 2020). Aunque los plaguicidas contribuyen en pequeña medida a la HC, la optimización de la fitosanidad de los cultivos con una gestión agronómica mejorada crea oportunidades para aumentar la productividad, al tiempo que reduce emisiones en la producción de cultivos extensivos.

SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN

Con base en la información previamente analizada y en conjunto con el aporte de criterios de los técnicos entrevistados de las fincas bajo estudio, se procedió a valorar las opciones seleccionadas (Vera, Villareal & Siza, 2022), las mismas que se detallan en la Tabla 12. Los resultados muestran que la principal estrategia de mitigación corresponde a la gestión y valorización de residuos, dado que impacta en la reducción de la principal fuente de emisión que corresponde a la generación de desechos, además su implementación es rápida y poco costosa.

Dentro de las opciones para la gestión de los residuos, se destaca el biocompostaje de biomasa de racimos de fruta vacía (RFV), el cual es considerado la mejor solución ya que el producto final podría aplicarse directamente en las

plantaciones de palma aceitera. Esto reduciría las emisiones de GEI y la demanda de fertilizantes químicos, ahorrando así valiosos recursos. Además, disminuiría la posibilidad de que plagas y semillas de malezas se propaguen al área de plantación, mientras que la aplicación directa de RFV aumenta estos riesgos (Abdullah et al., 2017).

En los últimos años se realizaron diversos estudios para evaluar el método más adecuado para el manejo de diferentes tipos de residuos sólidos en la industria de la palma, incluyendo los RFV y convertir esta abundante biomasa en biofertilizante es la solución más adecuada (Alizadeh et al., 2014).

Es así que las comunidades microbianas, especialmente los promotores del crecimiento vegetal, producen varias biomoléculas que mejoran la descomposición de los componentes lignocelulósicos en la biomasa de RFV. Estos microbios también ayudan a convertir todos los macronutrientes y micronutrientes disponibles en la biomasa de RFV de una forma inaccesible a una forma asimilable para las plantas, considerando que los inoculantes biológicos se han destacado durante mucho tiempo como un elemento esencial de la gestión unificada de nutrientes, lo que conduce a la sostenibilidad (Macik et al., 2020).

Consecuentemente los biofertilizantes pueden denominarse fácilmente fertilizantes vivos porque, a diferencia de los sintéticos, tienen una combinación de microbios beneficiosos, como bacterias y hongos. En un sentido amplio, el término biofertilizante también puede incluir todos los recursos orgánicos para el crecimiento de las plantas, accesibles para su desarrollo a través de asociaciones o interacciones con comunidades microbianas (Macik et al., 2020).

Tabla 12. Selección de la estrategia de mitigación para reducir la huella de carbono en los dos sistemas de cultivo

Factor	Relevancia de la fuente de emisión		Reducción de emisiones		Costo de implementación		Transferencia de tecnología		Tiempo de implementación		Total %
	Ptos	%	Ptos	%	Ptos	%	Ptos	%	Ptos	%	
Gestión y valorización de residuos	5	1,5	5	1,0	5	1,0	5	1,0	5	0,5	5,0
Fijación biológica para reducir la entrada de fertilizantes nitrogenados sintéticos	4	1,2	5	1,0	4	0,8	4	0,8	5	0,5	4,3
Reducción del consumo de energía	4	1,2	3	0,6	4	0,8	3	0,6	2	0,2	3,4
Cultivos intercalados	2	0,6	3	0,6	4	0,8	4	0,8	2	0,2	3,0

Elaborado por: Pablo Escobar

La información general sobre la conversión de biomasa de RFV refiere que se requiere de 2 a 3 meses en completar el proceso de compostaje. Sin embargo, Siddiquee et al. (2017) reportaron un proceso de compostaje de 30 días con la ayuda de dos cepas de *Trichoderma*. Los mismos investigadores también encontraron que el compost mostró una alta cantidad de macronutrientes (N, P y K), lo que mejora la acidez del suelo y la conductividad eléctrica.

Tahir et al. (2019) determinaron que una de las estrategias para el compostaje rápido es la inclusión de hongos lignocelulolíticos combinado con un método apropiado de compostaje de RFV. En un estudio similar, Hau et al. (2020) concluyeron que los biofertilizantes a base de RFV podrían mezclarse con otros desechos orgánicos para aumentar su calidad y disponibilidad de nutrientes.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales, tanto en rendimiento, como en emisiones por unidad de superficie, no detectó diferencias estadísticas entre plantaciones en los dos sistemas de cultivo.
- Los resultados obtenidos muestran que la productividad del cultivo de palma aceitera en fincas orgánicas es 45,5% menor vs. las convencionales. En relación al cálculo de la huella de carbono, se obtuvo que la emisión por unidad de superficie para plantaciones de fincas orgánicas fue de 2,88 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹, mientras que para plantaciones de fincas convencionales fue de 3,03 toneladas de CO₂e ha⁻¹año⁻¹. Por otro lado, el resultado de la emisión por unidad de producto fue de 0,31 toneladas de CO₂e/t RFF para plantaciones de fincas orgánicas y 0,15 toneladas de CO₂e/t RFF para plantaciones de fincas convencionales.
- Según los resultados obtenidos, en plantaciones pequeñas y medianas de fincas orgánicas la mayor fuente de emisiones de kg CO₂e tanto por superficie como por producto corresponde a los residuos, seguido del uso de fertilizantes sólo para plantaciones pequeñas, mientras que para medianas es el óxido nitroso (N₂O) y el consumo de energía. En las fincas convencionales, la principal fuente de emisión de kg CO₂e por superficie y por producto para plantaciones pequeñas también corresponde a los

residuos, seguido del consumo de energía; mientras que para plantaciones medianas corresponde al uso de fertilizantes seguido de los residuos.

- Dentro de las estrategias de mitigación evaluadas, se consideró que la gestión de residuos es la más pertinente a la problemática estudiada, recomendando como método específico, la conversión de biomasa de racimos de fruta vacía (RFV) en biofertilizante, analizando la relevancia de la fuente de emisión, posible reducción de emisiones, su costo, tiempo de implementación, y facilidad de transferencia de tecnología.

Recomendaciones

- Es recomendable efectuar estudios adicionales, que permitan profundizar sobre las causas de la elevada diferencia obtenida en el rendimiento de producción entre plantaciones convencionales vs. orgánicas, enfocando las investigaciones en caracterizar las propiedades de calidad del suelo, la disposición de nutrientes y los cambios en términos de gestión agronómica, además de estimar los factores de emisión de la gestión de residuos, dado que también existen diferencias entre los distintos tipos de plantación, y los hallazgos obtenidos deben ser socializados entre productores y técnicos.
- De igual forma se deben enfocar las próximas investigaciones a un mayor número de fincas tanto orgánicas como convencionales, para que sea factible analizar posibles diferencias estadísticas en rendimiento y emisiones.
- Las políticas públicas y programas de fomento deben brindar mayor apoyo a los pequeños y medianos productores de palma aceitera y promover estrategias para alentar el uso de biomasa de RFV en la producción de biofertilizantes, lo cual tendrá un impacto significativo en el desarrollo económico del sector agrícola, además de fomentar el cultivo orgánico o

certificado RSPO ofreciendo incentivos especiales a los agricultores locales y al sector privado.

- Por último, evaluar actividades de investigación y desarrollo en esta área, de forma que se obtenga un mejor conocimiento de todo el proceso de biofertilizantes, lo cual puede ayudar al desarrollo de cepas especializadas capaces de trabajar en circunstancias desfavorables y variables adecuadas al contexto local.

LITERATURA CITADA

- Abdullah, I., Wan, W., Fauadi, H., Ab, M., & Mohamed, S. (2017). Sustainable manufacturing practices in Malaysian palm oil mills. *J. Manuf. Technol. Manag.*, 28(3), 278-298. Obtenido de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85020422732&origin=inward&txGid=a300cf8c02e7f002446ca45f2c3299cd&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
- Abu Bakar, R. D., Kulaseharan, S., & Jamaluddin, N. (2011). Effects of ten year application of empty fruit bunches in an oil palm plantation on soil chemical properties. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, 89, 341–349. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-010-9398-9>
- AGROCALIDAD. (2013). *Instructivo de la normativa general para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en el Ecuador*. (S. P.-C. Orgánica, Ed.) Ecuador: Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro [AGROCALIDAD]. Obtenido de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/by3.pdf>
- Aguilera, M. M. (2002). *Palma africana en la costa Caribe: Un semillero de empresas solidarias*. Cartagena, Colombia: Banco de la República Cartagena de Indias. Centro de Estudios Económicos Regionales. Obtenido de <https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3172/Palma%20Africana%20en%20la%20Costa%20Caribe.%20Un%20semillero%20de%20empresas%20solidarias.pdf?sequence=1>
- Ahmad, A. (2015). *Characterisation of typical nutrient content of major biomass streams in Malaysia*. Reino Unido: Cranfield University.
- Alcock, T., Salt, D., Wilson, P., & Ramsden, S. (2022). More sustainable vegetable oil: Balancing productivity with carbon storage opportunities. *Science of The Total Environment*, 829, 154539. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722016321>

- Alizadeh, F., Jannesar, R., Khodavandi, A., Sadri, A., & Keshavarz, E. (2014). Inoculation Technology for *Trichoderma harzianum* during Interaction with Oil Palm *Elaeis guineensis* Jacq. *J. Pure Appl. Microbiol.*, 8(6), 4541-4547. Obtenido de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85117848785&origin=inward&txGid=9a661076c56a8b2c28f6aae13c3a0406&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
- Almeida, L., Silva, G., Nunes, J., Valadares, M., Silva, C., Pellegrino, C., & Cerri, C. (2020). Greenhouse Gas Assessment and Strategies to Achieve CO2 Sequestration in the Brazilian Palm Oil Life Cycle. *intechopen*, 72562, 1-9. Obtenido de <https://www.intechopen.com/chapters/72562>
- Altieri, M. Á., & Nicholls, C. (2013). *Agroecología y resiliencia Socio ecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín, Colombia: Red Iberoamericana de Agroecología para el Desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático REDAGRES, SOCLA.
- Antury, L., & Lara, L. (2016). *Propuesta para la reducción de la huella de carbono en las instalaciones de la Dirección Regional del Magdalena Centro- CAR*. Bogota: [Tesis de Maestría, Universidad Libre]. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10410/PROPUESTA%20PARA%20LA%20REDUCCION%20DE%20LA%20HUELLA%20DE%20CARBONO%20-%20CAR.pdf?sequence=1>
- Anwar, R., Sitorus, S., Miftah, A., & Widiatmaka, M. (2014). Technical culture and productivity of oil palm in several plantations in east Kalimantan. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 3(2), 19-24. Obtenido de https://repository.ipb.ac.id/jspui/bitstream/123456789/69029/1/ART2014_WD2.pdf
- Anyaocha, K., Sakrabani, R., Patchigolla, K., & Mouazen, M. (2018). Evaluating oil palm fresh fruit bunch processing in Nigeria. *Waste Manage. Res.*, 1-11. Obtenido de <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X17751848>

- Ashraf, M., Zulkifli, R., Sanusi, R., Tohiran, K., & Terhem, R. (2018). Alley-cropping system can boost arthropod biodiversity and ecosystem functions in oil palm plantations. *260*: *Agric Ecosyst Environ*, *260*, 19–26. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880918301324?via%3Dihub>
- Astudillo, A. L., Rodríguez, L. M., Lubo, C. M., & Sandoval, J. S. (2020). Evaluación de las emisiones de GEI por fertilización del cultivo de caña de azúcar, desde un enfoque en dinámica de sistemas. *Revista Ingeniería y Desarrollo Agrícola*, *36*(1), 884.
- Ayala , M. J. (2012). *Análisis de la Huella de Carbono y del Crecimiento del Cultivo de la Palma Africana en el Ecuador*. [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/2039/1/104355.pdf>
- Bouwman, A. F., Boumans, J. M., & Batjes, N. H. (2002). Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochemical Cycles*, *16*(4), 1080. doi:10.1029/2001GB001812
- Brandao, F., Schoneveld, G., Pacheco, P., Vieira, I., Piraux, M., & Mota., D. (2021). The Challenge of Reconciling Conservation and Development in the Tropics: Lessons from Brazil’s Oil Palm Governance Model. *World Development*, *139*, 1-10. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105268>
- Brinkmann Consultancy. (2009). *Greenhouse Gas Emissions from Palm Oil*. Alemania. Obtenido de <https://www.rspo.org/files/project/GreenHouse.Gas.Working.Group/Report-GHG-October2009.pdf>
- Cáceres, D. (2003). Agricultura orgánica versus agricultura industrial. Su relación con la diversificación productiva y la seguridad alimentaria. *Revista Agroalimentaria*, *9*(16), 29-39. doi:ISSN-e 1316-0354

- Carrere, R. (2001). Palma aceitera: la expansión de otro monocultivo destructivo. En Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales, *El amargo fruto de la palma aceitera: despojo y deforestación* (págs. 8-12). Montevideo, Uruguay: Novib y Sociedad Sueca para la Conservación. Obtenido de <http://www.biofuelobservatory.org/Documentos/Otros/El-amargo-fruto-de-la-palma-aceitera.pdf>
- Cayambe, J., Iglesias, A., García de Jalón, S., Chuquillanqui, C., & Riga, P. (2015). Evaluación económica de las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de patata. *ITEA*, *111*(2), 154-173. doi:<https://doi.org/10.12706/itea.2015.011>
- Chan, K. W. (2005). Best Developed Practices and Sustainable Development of. *Journal of Oil Palm Research* (17), 124-135. Obtenido de <http://jopr.mpob.gov.my/wp-content/uploads/2013/09/jopr17dec2005-chan1.pdf>
- Chase, L., Henson, I., Faizal, A., & Faizal, A. (2012). *RSPO_PalmGHG Beta version*. Kuala Lumpur, Malaysia: RSPO. Obtenido de https://www.rspo.org/file/RSPO_PalmGHG%20Beta%20version%201.pdf
- Chávez, J. P., & Burbano, R. T. (2021). *Impacto del cambio climático en la agricultura en los sistemas de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo*. [Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar], Programa de Maestría en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo. Quito: UASB.
- Choo, Y., Muhamad, H., Hashim, Z., Subramaniam, V., Puah, C., & Tan, Y. (2011). Determination of GHG contributions by subsystems in the oil palm supply chain using the LCA approach. 2011;16:. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *16*, 669-681. Obtenido de <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.springer-92eb0789-dade-323f-b448-9ab5542a576b>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2021). *Emisiones de CO2 de América Latina. Estudio Ambiental 2015 - 2020*. Informe de

Impacto Ambiental, CEPAL, Departamento de Desarrollo Socioeconómico y Protección Ambiental, Santiago de Chile.

Comte, I., Colin, F., Grünberger, O., Follain, S., Whalen, J., & Caliman, J. (2013). Landscape-scale assessment of soil response to long-term organic and mineral fertilizer application in an industrial oil palm plantation, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 169, 58– 68. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.010>

Daemeter Consulting. (2013). *An overview of the industry and challenges for small-scale*. Indonesia: Solidaridad Network. Obtenido de http://daemeter.org/new/uploads/20130905132708.Final_Fertiliser_and_independent_smallholders_in_Indonesia____Background_and_Challenges.pdf

Dislich, C., Keyel, A., Salecker, J., Kisel, Y., Meyer, K., & Auliya, M. (2017). A Review of the Ecosystem Functions in Oil Palm Plantations, Using Forests as a Reference System. *Biological Reviews*, 92(3), 1539–1569. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/brv.12295>

Fontalvo, M., Vecino, R., & Barrios, A. (2014). African palm oil *elae guineensis*: Alternative energy resource to biodiesel production in Colombia and its environmental impact. *Prospectiva*, 12(1), 90-98. doi:<https://doi.org/10.15665/rp.v12i1.155>

Fowler, D., Nemitz, E., Misztal, P., Marco, C. D., Skiba, U., & Ryder, J. (2011). Effects of land use on surface–atmosphere exchanges of trace gases and energy in Borneo: comparing fluxes over oil palm plantations and a rainforest. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, 366, 3196–3209. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3179637/>

Frohmann, A., & Olmos, X. (2016). *Huella de Carbono, exportaciones y estrategias empresariales al cambio climático*. Informe de desarrollo agrícola frente al cambio climático, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Departamento de Cooperación Española para América Latina, Madrid.

- Frohmann, A., Herreros, S., Mulder, N., & Olmos, X. (2015). *Sostenibilidad ambiental y competitividad internacional. La huella de carbono de las exportaciones de alimentos*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL); Cooperación Regional Francesa para América del Sur.
- García-García, J. A. (2018). *Cálculo del tamaño de la muestra en investigación*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iem/v2n8/v2n8a7.pdf>
- Gaveau, D., Sloan, S., Molidena, E., Yaen, H., Sheil, D., & Abram, N. (2014). Four Decades of Forest Persistence, Clearance and Logging on Borneo. *PLoS ONE*, 9(7), e101654. Obtenido de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101654>
- Ghazali, A., Asmah, S., Syafiq, M., Yahya, M., & Aziz, N. (2016). Effects of monoculture and polyculture farming in oil palm smallholdings on terrestrial arthropod diversity. *J Asia Pac Entomol*, 19(2), 415–421. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322356134_Effects_of_monoculture_and_polyculture_farming_in_oil_palm_smallholdings_on_terrestrial_arthropod_diversity
- Gómez, T., & Barranco, Q. (2007). *Tu huerto y jardín ecológicos*. Barcelona, España: Editorial Océano, S.L. doi:ISBN: 978-84-7556-470-8
- González, J. A. (2014). *Tamaño muestral*. Obtenido de http://www.ub.edu/ceea/sites/all/themes/ub/documents/Tamano_muestral.pdf
- Hashim, Z., SSAM, Z., & Muhamad, I. (2017). Quality assessment of fried palm oils using fourier transform infrared spectroscopy nd multivariate approach. *Chem Eng Trans*, 829–34. Obtenido de <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET1756139>
- Hau, L., Shamsuddin, R., May, A., Saenong, A., Lazim, A., & Narasimha, M. (2020). Mixed composting of palm oil empty fruit bunch (EFB) and palm oil mill effluent (POME) with various organics: an analysis on final

- macronutrient content and physical properties. *Waste Biomass Valorization*, 11(10), 5539-5548. Obtenido de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84903367985&origin=inward&txGid=28fe0c28632c11c5866e385b414709a6&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
- Haverkort, A. J., & Hillier, J. G. (2011). Cool Farm Tool – Potato: Model Description and Performance of Four Production Systems. *Potato Research*(54), 355-369. doi:10.1007/s11540-011-9194-1
- Henson, I., Ruíz, R., & Romero, H. (2012). The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia: a preliminary analysis. II. Greenhouse gas emissions and the carbon budget. *Agron. colomb*, 30(3), 1-7. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652012000300008
- Howes J, F. C. (2020). Wild Asia Group Scheme (WAGS) BIO farms as a transitional strategy for oil palm: a case study of bio-interventions and the results from our demonstration plots in Perak, Malaysia. *Wild Asia*.
- INEC. (2021a). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020*. Boletín Técnico, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales. Unidad de Estadísticas Agropecuarias, Quito. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf
- INEC. (2021b). *III Censo Nacional Agropecuario, de producción Agrícola y Unidades de desarrollo*. Investigación agrícola, agropecuaria, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Departamento de Regulación y Estadística, Quito.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*. Ginebra: OMM / PNUMA. doi:ISBN 978-92-9169-343-6

- IPCC. (2018). *Annex I: Glossary . Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengt.* Paris, Francia. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/>
- IPCC. (2021). *Informe IPCC: Cambio climático 2021. Repercusión en la Seguridad Nacional.* Organización de las Naciones Unidas, Organización Meteorológica Mundial. Nueva York: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- Khasanah, N., Noordwijk, M. v., Slingerland, M., Sofiyudin, M., & Stomph, D. (2020). Oil palm agroforestry can achieve economic and environmental gains as indicated by multifunctional land equivalent ratios. *Front Sustain Food Syst*, 3(122), 1-9. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2019.00122/full>
- Loera, M. C., & Sanz, E. G. (2018). *Calentamiento global y cambio climático.* Investigación científica, Universidad de Zaragoza, Programa Doctoral en Agricultura e Ingeniería del Desarrollo Sostenible, Zaragoza.
- Macik, M., Gryta, A., & Frac, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Adv. Agron.*, 162, 31-87. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211320300274>
- Mardegan, S., Flexa, A., Noirtin, S., Freitas, R., Avelara, M., & Teixeira, F. A. (2022). Organic farming enhances soil carbon and nitrogen dynamics in oil palm crops from Southeast Amazon. *Soil Science and Plant Nutrition*, 68(1), 104-113. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/epub/10.1080/00380768.2022.2031285?needAccess=true>
- Martínez, L., Bello, P., & Castellanos, Ó. (2012). *Sostenibilidad y desarrollo: el valor agregado de la agricultura orgánica.* Bogotá, Colombia: [Tesis de

Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Programa Interdisciplinario Biogestión. doi:ISBN: 978-958-761-260-8

- Matos, I., Costa, M., Oliveira, E. d., Pezo, N., Silva, H. d., Rodrigues, J., . . . Dias, S. (2021). Contribution of Pueraria phaseoloides L. in the Cycling of Macronutrients in oil Palm Plantation. *Journal of Agricultural Studi*, 9(3), 1-13. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/352000636_Contribution_of_Pueraria_phaseoloides_L_in_the_Cycling_of_Macronutrients_in_oil_Palm_Plantations/fulltext/60b4e56e299bf1f6d58c2932/Contribution-of-Pueraria-phaseoloides-L-in-the-Cycling-of-Macronutrients-
- Melling, L., Chaddy, A., Goh, K., & Hatano, R. (2013). Soil CO₂ fluxes from different ages of oil palm in tropical peatland of Sarawak, Malaysia as influenced by environmental and soil properties. 982:. *Acta Hort*, 982, 25–35. Obtenido de https://www.actahort.org/books/982/982_2.htm
- Melo, G. (2018). *Medidas de reducción y mitigación de la huella de carbono en la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Matriz Quito*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador]. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15129/MEDIDAS%20DE%20REDUCCI%C3%93N%20Y%20MITIGACI%C3%93N%20DE%20LA%20HUELLA%20DE%20CARBONO%20EN%20LA%20PONTIFICIA%20UNIVERSIDAD%20CAT%C3%93LICA%20D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE]. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático*. Quito: Manthra Comunicación. doi:ISBN: 976-994-22-145-2
- Murillo, L. M., Rivera, J., & Robles, R. C. (2018). *Cambio Climático y Desarrollo Sostenible*. Informe de Desarrollo Sostenible, Secretaría General Iberoamericana , Conferencia Iberoamericana de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático, Madrid.

- Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático., (pág. 26). Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Nikander, S. (2008). *Greenhouse gas and energy intensity of product chain: case transport biofuel*. Finlandia: Helsinki University of Technology. Obtenido de https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/case_study_of_nexbtl_ghg_and_energy_intensity.pdf
- Noguera, D. M., & Córdova, A. (2003). Estudio de Mathis Wackernagel y William Rees: Nuestra huella ecológica. Reduciendo el impacto humano sobre la tierra. *Revista Latinoamericana Polis*, 4(11), 4.
- Normas de la Huella de Carbono de Productos Agrícolas. (2016). *Cambio Climático e industria agrícola*. Centro de Comercio Internacional. Ginebra: ITC.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2012). *Review of GHG calculators in agriculture and forestry sectors A Guideline for Appropriate Choice and Use of Landscape Based Tools*. Roma. Obtenido de https://www.carbonfarming.org.nz/wp-content/uploads/articles/Review_existingGHGtool_GB.pdf
- Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment*, 178(1-4), 135-160. doi:10.1007/s10661-010-1678-y
- Pardon, L., Bessou, C., Netelenbos, P., Dubos, B., Ollivier, J., Marichal, R., . . . Gabrielle, B. (2017). Key unknowns in nitrogen budget for oil palm plantations. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 36(20), 1-10. Obtenido de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01338623/document>
- Pinzón Colmenares, I. E., & Ramírez Cando, L. J. (2021). Ecoeficiencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro y su influencia al cambio climático en Shushufindi Ecuador. *La Granja: Revista de ciencias de la vida*, 33(1), 76-91. doi:http://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.07

- Ponti, T. d., Rijk, B., & Ittersum, M. v. (2012). The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems*, 108, 1-9. Obtenido de https://www.wur.nl/upload_mm/9/a/9/4eff5e4c-0058-4fac-9441-288b83a105d4_The%20crop%20yield%20gap%20between%20organic%20and%20conventional%20agriculture%20De%20Ponti%20et%20al%202012.pdf
- Rahman, N., Bruun, T., Giller, K., Ven, G. v., Neergaard, A. d., & Magid, J. (2019). Soil greenhouse gas emissions from inorganic fertilizers and recycled oil palm waste products from Indonesian oil palm plantations. *GCB Bioenergy*, 1-19. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12618>
- Rahman, N., de Neergaard, A., Magid, J., van de Ven, G., Giller, K., & Bruun, T. (2018). Changes in soil organic carbon stocks after conversion from forest to oil palm plantations in Malaysian Borneo. *Environmental Research Letters*, 13(10), 1-7. Obtenido de <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aade0f>
- Raigón, M., Navarro, I., Pozuelo, R., & Poveda, D. (2000). *Estudio comparativo de costes de producción en agricultura ecológica y convencional*. España: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ramírez Cando, L. J. (29 de agosto de 2022). Pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales. (P. R. Escobar Barragán, Entrevistador) Quito, Ecuador.
- Reeve, J., Hoagland, J., Villalba, P., Carr, A., Atucha, C., & Cambardella, D. (2016). Organic Farming, Soil Health, and Food Quality: Considering Possible Links. *In Advances in Agronomy*, 319–368. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211315300031>
- Reijnders, L., & Huijbregts, M. (2008). Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*, 16, 477-48.

- REPSA, S.A. (2016). *Reducción de gases efecto invernadero en las operaciones de la empresa Reforestadora de Palmas de el Peten S.A.* Guatemala. Obtenido de https://repsa.com.gt/wp-content/uploads/2019/09/PLAN-REDUCCION-GHG-REPSA_2019-1.pdf
- Rodríguez, A., Saucedo, A., Sotomayor, O., Wambeke, J. V., & Meza, L. (2017). *Agricultura y Cambio Climático. Instituciones, políticas e innovación.* Informe de investigación, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Seminario Internacional FAO; CEPAL; ONU, Santiago de Chile.
- RSPO. (2016). *Procedimiento de la RSPO de Evaluación de GEI para Nuevos Desarrollos.* Roundtable on Sustainable Palm Oil . Kuala Lumpur: RSPO Secretariat. Obtenido de <https://rspo.org/publications/download/558bab10f932573>
- RSPO. (2018). *Principios y criterios para la producción de Aceite de Palma Sostenible.* Roundtable on Sustainable Palm Oil . Kuala Lumpur: RSPO Secretariat.
- Samedani, B., Juraimi, A., Rafii, M., Sheikh, A., & Anwar, M. (2015). Effect of cover crops on weed suppression in oil palm plantation. *Int J Agric Biol*, 17(2), 251–260. Obtenido de http://www.fspublishers.org/published_papers/82268_...pdf
- Sampieri, H. (2018). *Metodología de la Investigación 2.* Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2009). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios.* Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Huella_carbono_prod_dist_consumo.pdf
- Shiva, V. (2000). *Stolen harvest. The hijacking of the global food supply.* Cambridge: South End Press. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=yVn_OlBeDqoC&oi=f

nd&pg=PA1&dq=Shiva,+V.+(2000).+Stolen+harvest.+The+hijacking+of
+the+global+food+supply.+Cambridge:+South+End+Press.&ots=mPsmc
mwh0u&sig=Ee7qu4bQsLgwj7414xQPbzIjFdY#v=onepage&q&f=false

Shukla, S. (2020). *Probability sampling method*. Ahmedabad, India: Department of Education, Gujarat University. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Satishprakash-Shukla/publication/346476551_PROBABILITY_SAMPLING_METHOD/links/5fc47008299bf104cf942b28/PROBABILITY-SAMPLING-METHOD.pdf?origin=publication_detail

Siddiquee, S., Nur, S., & Naher, L. (2017). Effective composting of empty fruit bunches using potential *Trichoderma* strains. *Biotechnol. Rep*, 13, 1-7. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X16300959>

Snyder, C., Bruulsema, T., & Jensen, T. (2008). Mejores prácticas de manejo para minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de los fertilizantes. *Informaciones agronómicas*, (40), 7-10. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Tom-Bruulsema/publication/228831112_Mejores_Practicas_de_Manejo_para_Minimizar_las_Emisiones_de_Gases_de_Efecto_Invernadero_asociadas_con_el_Uso_de_los_Fertilizantes/links/53ee0a1a0cf2981ada1745dd/Mejores-Practicas-de

Subash, U., Hongmin, D., Garg, A., Upadhyay, J., & Montenegro, M. (2016). *Tecnologías para la mitigación del cambio climático*. Investigación científica, Departamento de Ingeniería de Gestión de la Universidad Técnica de Dinamarca en Buenos Aires, Centro de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible , Buenos Aires.

Suliman, N., & Qursyna, N. (2019). Enhancing soil chemical properties at plantation Enhancing soil chemical properties at plantation Enhancing soil chemical properties at plantation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 0103, 1-8. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1019/1/012003/pdf>

- Tahir, P., Liew, W., Lee, S., Ang, A., Hua, S., Mohamed, R., & Halis, R. (2019). Diversity and characterization of lignocellulolytic fungi isolated from oil palm empty fruit bunch, and identification of influencing factors of natural composting process. *Waste Manage*, *100*, 128-137. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19305720>
- Tapia, C., Olivares, C., & Parraguez, I. N. (2020). *Línea de Base del conocimiento Regional sobre las implicaciones de la Huella de Carbono en los procesos de toma de decisiones*. Centro de Estudios de Sistemas Sociales. Guayaquil: CESSO.
- Truckell, I., Shah, S., Baillie, I., Hallett, S., & Sakrabani, R. (2019). Soil and transport factors in potential distribution systems for biofertilisers derived from palm oil mill residues in Malaysia. *Computers and Electronics in Agriculture*, *166*, 1-9. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918315904?via%3Dihub>
- Tully, K., & McAskill, C. (2020). Promoting Soil Health in Organically Managed Systems: A Review. *Organic Agriculture*, *10*(3), 339–358. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13165-019-00275-1>
- Uning, R., Latif, M., Othman, M., Juneng, L., Mohd, N., & Khairul, A. (2020). A review of Southeast Asian oil palm and its CO2 fluxes. *Sustainability*, *12*(12), 5077. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/12/5077>
- Vera , G., Villareal , L., & Siza, J. (01 de junio de 2022). Criterios técnicos sobre medidas de mitigación de emsiones de GEI, mediante mejoras del manejo de plantaciones de palma aceitera en Esmeraldas - Ecuador. (P. R. Escobar Barragán, Entrevistador)
- Vera, G., & Sacón, Á. (5 y 6 de julio de 2021). Validación y metodología de encuestas para recolectar información sobre el manejo de plantaciones orgánicas de palma aceitera en Esmeraldas - Ecuador. (P. R. Escobar Barragán , Entrevistador)

- Viguera, B., Martínez-Rodríguez, M. R., Donatti, C., Harvey, C., & Alpizar, F. (2019). *Impactos del cambio climático en la agricultura de Chile. Estrategias de mitigación y adaptación*. Investigación científica, CATIE, Centro de Conservación Internacional para el Desarrollo BioAgrícola, Santiago de Chile.
- Villareal , L., & Siza , J. (14 y 18 de Enero de 2022). Recolección de información a través de encuestas sobre el manejo de plantaciones convencionales de palma aceitera en Esmeraldas - Ecuador. (P. R. Escobar Barragán, Entrevistador) Ecuador.
- Webber, D. (2016). La Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible y su impacto en la agroindustria de la palma de aceite en América Latina. *Revista Palmas*, 37(No. Especial, Tomo I), 87-92. doi:ISSN 0121- 2923
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). A Definition of Carbon Footprint. *ISA uk Research & Consulting*(07-01), 1-9. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/247152314_A_Definition_of_Carbon_Footprint/link/00b7d52b42ae1d9583000000/download
- Windekp, T., Kindomihou, V., Dagbenonbakin, G., Janssens, M., & Sinsin, B. (2016). Quantitative assessment of palm oil wastes generated. *African Journal of Agricultural*, 11(19), 1787-1796. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Kindomihou-Valentin/publication/303291342_Quantitative_assessment_of_palm_oil_wastes_generated_by_mills_in_Southern_Benin/links/576c0a4108ae193ef3a99de1/Quantitative-assessment-of-palm-oil-wastes-generated-by-mills-in-
- Woittiez, L., van Wijk, M., Slingerland, M., & van Noordwijk, M. (2018). Brechas de rendimiento en el cultivo de palma de aceite: una revisión cuantitativa de factores determinantes. *Palmas*, 39(1), 16-68. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/12400/12311>
- Yee, K., Tan, K., Abdullah, A., & Lee, K. (2009). Life cycle assessment of palm biodiesel: Revealing facts and benefits for sustainability. *Applied Energy*,

86, 189-196. Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261909001597>

Yunga, S. A., & Uvidia, A. D. (2020). *Análisis comparativo del cálculo de huella de carbono en prácticas climáticamente inteligentes*. [Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar], Programa de Maestría en Cambio Climático y Negociación Ambiental. Quito: UASB.

ANEXO 1

Modelo de encuesta aplicada para recolectar información de las fincas

A) INFORMACIÓN GENERAL

1. Año de la información recolectada: **2020**

2. Cultivo: **Palma aceitera** (*Elaeis guineensis*)

3. Nombre del predio:

4. Superficie total del predio (hectáreas):

5. Localización del predio:

Provincia	Cantón	Parroquia	Recinto	Código del predio
Esmeraldas				

6. Superficie del cultivo de palma aceitera año 2020 (hectáreas):

7. Rendimiento de la superficie del cultivo de palma aceitera (toneladas/año 2020):

8. Cantidad de residuos del cultivo de palma aceitera año 2020 (Residuos del cultivo = racimos de fruta vacía (RFV) e inflorescencias) (toneladas):

9. Temperatura media anual año 2020 (grados centígrados):

10. Altura del predio (metros sobre el nivel del mar):

11. Distancia del predio con la extractora (kilómetros):

B) SUELO

1. Textura del suelo: _____
 - a) Fina (arcilloso)
 - b) Gruesa (arenoso)
 - c) Media (franco)
2. Materia orgánica del suelo (%): _____
3. Humedad del suelo: _____
 - a) Suelo húmedo
 - b) Suelo seco

Nota: Tomar en cuenta que: los suelos bajo regadío, son considerados suelos húmedos

4. Drenaje del suelo: _____
 - a) Bueno
 - b) Malo
5. pH del suelo: _____

C) APLICACIÓN DE FERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE PALMA ACEITERA EN EL 2020

1. Favor llenar la siguiente tabla:

Fertilizante	Cantidad	Unidad (por ejemplo kg/ha)	Método de aplicación

Ejemplo de tabla llena:

Fertilizante	Cantidad	Unidad (por ejemplo kg/ha)	Método de aplicación
Urea - 46,4% N	200	kg/ha	Aplicado al voleo
Estiércol de corral de ganado - 0,6% N	500	kg/ha	Incorporado al suelo

Los fertilizantes a elegir son los siguientes:

	DESCRIPCIÓN
Fertilizante 1	Bicarbonato de amonio - 30% N
Fertilizante 2	Nitrato de amonio - 35% N
Fertilizante 3	Sulfato de amonio - 21% N
Fertilizante 4	Nitrato de sulfato de amonio - 21% N

Fertilizante 5	Amoníaco anhidro - 82% N
Fertilizante 6	Nitrato de calcio y amonio -27% N
Fertilizante 7	Nitrato de calcio - 15% N
Fertilizante 8	Compuesto NK: 19,5% de N; 29,5% K
Fertilizante 9	Compuesto NPK: 15% N; 15% K ₂ O; 15% P ₂ O ₅
Fertilizante 10	Fosfato de diamonio - 14% N; 44% P ₂ O ₅
Fertilizante 11	Kainit / sulfato de magnesio: 11% de K ₂ O; 5% de MgO
Fertilizante 12	Cal - 52% CaO
Fertilizante 13	Piedra caliza - 55% CaCO ₃ / 29% CaO
Fertilizante 14	Cal, alga - 30% CaO
Fertilizante 15	Fosfato monoamónico - 11% N; 52% P ₂ O ₅
Fertilizante 16	Muriato de potasio / Cloruro de potasio - 60% K ₂ O
Fertilizante 17	Fosfato / Fosfato de roca - 25% P ₂ O ₅
Fertilizante 18	Sulfato de potasio - 50% K ₂ O; 45% SO ₃

Fertilizante 19	Superfosfato - 21% P ₂ O ₅
Fertilizante 20	Super fosfato triple - 48% P ₂ O ₅
Fertilizante 21	Urea - 46,4% N
Fertilizante 22	Solución de nitrato de amonio de urea - 32% N
Fertilizante 23	Compost (cero emisiones) - 1% N
Fertilizante 24	Compost (producción totalmente aireada) - 1% N
Fertilizante 25	Compost (otras emisiones distintas de cero) - 1% N
Fertilizante 26	Estiércol de corral de ganado - 0,6% N
Fertilizante 27	Estiércol de corral porcino - 0,7% N
Fertilizante 28	Estiércol de corral de oveja - 0,7% N
Fertilizante 29	Estiércol de corral de caballos - 0,7% N
Fertilizante 30	Estiércol de gallina ponedora - 1,9% N
Fertilizante 31	Arena para pollos de engorde / pavos - 3% N
Fertilizante 32	Purines de ganado - 0,26% N

Fertilizante 33	Purines de cerdo - 0,36% N
Fertilizante 34	Purines de cerdo separados - parte líquida - 0,36% N
Fertilizante 35	Purines de cerdo separados – parte sólida – 0,5% N
Fertilizante 36	Otro (describir):

Los métodos de aplicación a elegir son los siguientes:

- Aplicado en solución;
- Aplicado y luego inundado;
- Difusión al agua de inundación;
- Aplicado al voleo;
- Incorporado al suelo;
- Goteo subsuperficial
- Otro (describir):

D) APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL CULTIVO DE PALMA ACEITERA EN EL 2020

1. Favor indicar el número total de aplicaciones de plaguicidas en el cultivo de palma aceitera en el año 2020

Número total de aplicaciones de plaguicidas en el año 2020	
---	--

Ejemplo de tabla llena:

Plaguicida (ingrediente activo)	Cantidad	Unidad (kg/ha o l/ha)	Bomba de aplicación (motor o manual)	Tipo de combustible utilizado (gasolina o diésel)	Cantidad de combustible utilizado (l/ha o galón/ha)	Número de aplicaciones año 2020
Abamectin	1,5	l/ha	motor	gasolina	1 litro/ha	2
Spinosad	0,5	l/ha	manual	no aplica	no aplica	2
Emamectin benzoate	0,3	kg/ha	motor	diésel	0,5 litro/ha	1

Detalle de cada aplicación de plaguicidas en el cultivo de palma aceitera en el año 2020:

Plaguicida (ingrediente activo)	Cantidad	Unidad (kg/ha o l/ha)	Bomba de aplicación (motor o manual)	Tipo de combustible utilizado (gasolina o diésel)	Cantidad de combustible utilizado (l/ha o galón/ha)	Número de aplicaciones año 2020

Criterios a considerar:

- Si se realizaron mezclas de plaguicidas en un tanque, cada plaguicida de la mezcla cuenta como una aplicación independiente.
- Favor indicar el tipo de bomba utilizada en cada aplicación: Motor o manual.
- En caso de haber utilizado la bomba de aplicación a motor, favor indicar cuánta gasolina o diésel consumió por hectárea.

E) MANEJO DE RESIDUOS

1. ¿Qué realizó con los residuos del cultivo de palma aceitera (hojas, frutas, ramas, estípites (tallos), inflorescencias) en el año 2020?, favor elegir entre los siguientes métodos:

- Se tratan en montones o pozos
- Compostaje con aireación no forzada
- Compostaje con aireación forzada
- Incorporados al suelo directamente
- Quemado
- Exportados fuera de la finca
- Abandonados en el terreno sin tratamiento

Método o métodos elegidos: _____

Con la información anterior favor llenar la siguiente tabla:

Cantidad de residuos del cultivo de palma aceitera en el año 2020	Unidad (ton/ha o kg/ha)	Escoger el método: Se trata en montones o pozos; Compostaje con aireación no forzada; Compostaje con aireación forzada; Incorporado al suelo directamente; Quemado; Exportado fuera de la finca; Abandonados en el terreno sin tratamiento

Ejemplo de tabla llena:

Cantidad de residuos del cultivo de palma aceitera en el año 2020	Unidad (ton/ha o kg/ha)	Escoger el método
500	ton/ha	Incorporado al suelo directamente
300	kg/ha	Se trata en montones o pozos

F) USO DE ENERGÍA DE CAMPO

MANTENIMIENTO DEL CULTIVO DE PALMA ACEITERA EN 2020

Actividad	Número de operaciones año 2020	Galones de combustible utilizado por hectárea	Tipo de combustible (diésel o gasolina)	Maquinaria utilizada	Total combustible utilizado en 2020
Limpieza del terreno (deshierba entre plantas y coronas)					
Limpieza de canales (drenaje)					
Poda de las hojas/ramas de las palmas					
Otra:					

--	--	--	--	--	--

PULVERIZACIÓN / APLICACIÓN EN EL CULTIVO DE PALMA ACEITERA EN EL 2020

Actividad	Número de operaciones año 2020	Galones de combustible utilizado por hectárea	Tipo de combustible: (diésel o gasolina)
Pulverización de fertilizantes			
Esparcimiento de fertilizantes			
Encalado			
Inyección de estiércol			
Otra:			

IRRIGACIÓN EN EL CULTIVO DE PALMA ACEITERA EN EL 2020

Porcentaje (%) de área regada en el año 2020		Agua agregada a esta área (litros)	
Tipo (pivote; pistola de lluvia; inundación; goteo)		Electricidad de la red (kilovatio/hora)	
Profundidad de bombeo en metros		Indicar el tipo de combustible y cantidad: diésel o gasolina (galones)	
Distancia de transporte horizontal en metros		Indicar el tipo de combustible y cantidad: diésel o gasolina (galones)	

COSECHA DEL CULTIVO DE PALMA ACEITERA EN EL 2020

Si utilizó tracción animal, para las labores de cosecha en el año 2020, favor mencionar el número animales utilizados: _____

¿Cuántas horas utilizó al animal por cada labor de la cosecha en el año 2020?, para responder con detalle a esta pregunta, favor llenar la siguiente tabla:

Descripción de la actividad	Número de operaciones año 2020	Horas utilizadas por el animal	Clase de animal utilizado (búfalo, caballo, mula, asno, buey)

Si utilizó maquinaria para las labores de cosecha en el año 2020, favor llenar la siguiente tabla: No se utilizó

Descripción de la actividad	Número de operaciones año 2020	Galones de combustible utilizado por hectárea	Tipo de maquinaria utilizada (tractor, camión, camioneta)	Tipo de combustible (diésel o gasolina)

G) TRANSPORTE DENTRO DE LA FINCA

MENCIONE LAS FUENTES DE ENERGÍA QUE SE UTILIZARON PARA EL TRANSPORTE (DE INSUMOS, RFF, MONITOREO Y SUPERVISIÓN) DENTRO DE LA FINCA EN EL 2020

Fuente de energía	Cantidad de energía eléctrica utilizada en el año 2020	Unidades
Electricidad de la red		kWh (Kilovatio/hora)
	Cantidad de combustible utilizado en el año 2020	Unidades
Diésel		Galones
Gasolina		Galones
Gas Licuado de Petróleo (GLP)		Kilogramos

Únicamente si NO conoce los valores anteriores, favor llenar la siguiente tabla para estimar la cantidad de energía utilizada para el transporte dentro de la finca en el año 2020

	Distancia	Unidad (kilómetros)		
Distancia entre edificios agrícolas y campo (promedio)				
	Cantidad	Unidad (toneladas o kilogramos)	Distancia	Unidad (kilómetros)
Transporte de plaguicidas en la finca / año 2020				
Transporte de fertilizantes en la finca / año 2020				

Transporte de estiércol en la finca / año 2020				
Transporte de racimos de fruta fresca (RFF) en la finca / año 2020				
Monitoreo y supervisión de la explotación agrícola / año 2020				

H) PROCESAMIENTO BÁSICO Y ALMACENAMIENTO DE LA COSECHA ANUAL DEL 2020

EN CASO DE HABER REALIZADO PROCESAMIENTO DE LOS RACIMOS DE FRUTA FRESCA (RFF) COSECHADOS EN EL 2020, FAVOR LLENAR LA SIGUIENTE TABLA:

	Cantidad	Unidad (toneladas o kilogramos)	Fuente de energía utilizada (electricidad de la red, diésel, gasolina, o gas (GLP))
Lavado			
Selección			

INFORMACIÓN SOBRE EL ALMACENAMIENTO DE LOS RACIMOS DE FRUTA FRESCA (RFF) COSECHADOS EN EL 2020

Favor indicar el porcentaje (%) almacenado de racimos de fruta fresca (RFF) en cuartos fríos (con respecto a la cosecha anual del 2020)	
--	--

INFORMACIÓN SOBRE LA ENERGÍA UTILIZADA PARA LA CARGA Y DESCARGA DE LA COSECHA ANUAL DE LOS RFF
EN EL 2020

Actividad	Cantidad	Unidad (toneladas o kilogramos)	Fuente de energía (diésel, gasolina, o tracción animal)	Cantidad de combustible utilizado en el 2020 (litros, galones; no aplica para tracción animal)

¿EN LA FINCA SE UTILIZÓ UN CUARTO FRÍO PARA EL ALMACENAMIENTO DE LA COSECHA, FAVOR CONTESTAR SI o NO? _____

ÚNICAMENTE SI LA RESPUESTA A LA PREGUNTA ANTERIOR ES SÍ, FAVOR LLENAR LOS SIGUIENTES CUADROS:

Ítem	Cantidad	Unidad de medida (días, semanas, o meses)	Diferencia de temperatura entre el local de almacenamiento con el ambiente (en grados centígrados)

Tiempo de almacenamiento de los racimos de fruta fresca (RFF) en cuartos fríos			
--	--	--	--

MENCIONE LA FUENTE Y LA CANTIDAD DE ENERGÍA QUE SE UTILIZÓ PARA EL ALMACENAMIENTO EN CUARTOS FRÍOS DE LOS RACIMOS DE FRUTA FRESCA (RFF) EN EL 2020

Fuente de energía	Cantidad	Unidades
Electricidad de la red		kWh (Kilovatio/hora)
Diésel		Galones
Gasolina		Galones
Gas Licuado de Petróleo (GLP)		Kilogramos

D) TRANSPORTE FUERA DE LA FINCA

DETALLAR LA INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE FUERA DE FINCA, DE LOS RFF DE LA COSECHA ANUAL DEL 2020

	Cantidad de racimos de fruta fresca (RFF)	Unidad (kilogramos o toneladas)	Distancia en kilómetros (entre la finca y la extractora)	Modo (vehículo pesado o ligero)	Combustible (diésel o gasolina)	Cantidad utilizado (litros o galones)	Descripción:
1							Vehículo pesado: (carga superior a 3,5 toneladas). Vehículo ligero: (carga inferior a 3,5 toneladas).
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
Total							

J) SECUESTRO

CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN LA FINCA Y SUPERFICIE DE BOSQUES

Cambios de uso del suelo	Cambios: Sin cambios; Bosque a pastizales; Bosque a área cultivable; De pastizales a bosque; De pastizales a áreas cultivables; De área cultivable a bosque; De área cultivable a pastizales	Hace cuánto tiempo se realizó este cambio en la finca (años)	Porcentaje (%) de campo convertido

Superficie de bosques	Tipo de bosque: Bosque tropical; Bosque tropical caducifolio húmedo; Bosque seco tropical; Matorral tropical; Sistema de montaña tropical; Bosque húmedo subtropical; Bosque seco subtropical; Estepa subtropical; Sistema montañoso subtropical	Número de hectáreas	Edad actual (años)	Edad cuando se tala (años)

K) CAMBIOS GERENCIALES

	Opciones	Anotar la opción	¿Hace cuánto tiempo se realizó este cambio? (años)	Porcentaje (%) de tierra con cambio de práctica
Cobertura del suelo con especies vegetales	Ningún cambio; Comenzó a agregar; Dejó de agregar			
Compost	Ningún cambio; Comenzó a agregar; Dejó de agregar			
Adición de estiércol	Ningún cambio; Comenzó a agregar; Dejó de agregar			
Incorporación de residuos	Ningún cambio; Comenzó a agregar; Dejó de agregar			

L) BIOMASA ARÉA Y SUBTERRÁNEA PARA 6 CLASES DE COBERTURA DEL SUELO

Clase de cobertura del suelo en el predio	Número de hectáreas
Bosque no intervenido	
Bosque intervenido (en regeneración)	
Cultivos arbóreos (incluida la palma aceitera)	
Arbustos	
Cultivos anuales (ciclo corto)	
Pastizales	

ANEXO 2.

Registro fotográfico



Imagen 1. Recolección de racimos de fruta fresca (RFF)



Imagen 2. Actividades de mantenimiento del cultivo



Imagen 3. Tractor utilizado en algunas fincas



Imagen 4. Visita a las plantaciones



Imagen 5. Control de malezas utilizando motoguadaña a gasolina



Imagen 6. Vehículo pesado utilizado en labores de cosecha



Imagen 7. Entrevista con el Ingeniero Gabriel Vera, técnico de campo, que se encuentra supervisando labores de cosecha



Imagen 8. Utilización de tracción animal en labores de cosecha



Imagen 9. Leguminosa Pueraria (*Pueraria phaseoloides*)



Imagen 10. Plantación de palma aceitera con cobertura de Pueraria



Imagen 11. Panorama de plantación con cobertura vegetal



Imagen 12. Entrevista con Ángel Sacón, técnico de campo