



Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de un modelo de negocio sostenible de palma aceitera en la región de Ucayali, Perú

Hacia una cadena de palma aceitera que contribuya a la conservación de bosques y la reducción de gases de efecto invernadero

Alianza



Fomentado por el:



Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del Parlamento de la República Federal de Alemania



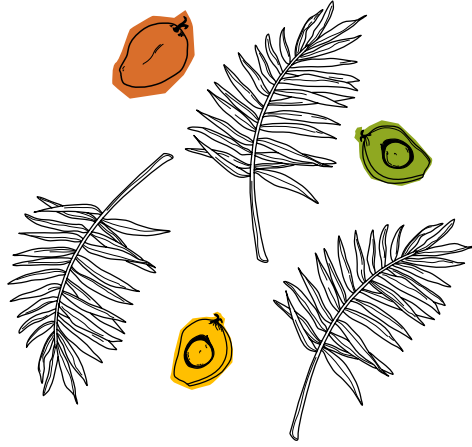
La Alianza de Bioversity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) brinda soluciones científicas que abordan las crisis mundiales de malnutrición, cambio climático, pérdida de la biodiversidad y degradación ambiental.

La Alianza se enfoca en el nexo entre agricultura, medio ambiente y nutrición. Trabajamos con socios locales, nacionales y multinacionales en África, Asia y América Latina y el Caribe, y con los sectores público y privado y la sociedad civil. Con colaboraciones novedosas, la Alianza genera evidencia e integra innovaciones para transformar los sistemas alimentarios y los paisajes a fin de sostener el planeta, impulsar la prosperidad y nutrir a las personas en medio de una crisis climática.

La Alianza es parte de CGIAR, un consorcio mundial de investigación para un futuro sin hambre, dedicado a transformar los sistemas alimentarios, terrestres y acuáticos en medio de una crisis climática.

<https://alliancebioiversityciat.org>

www.cgiar.org



Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de un modelo de negocio sostenible de palma aceitera en la región de Ucayali, Perú

Hacia una cadena de palma aceitera que contribuya a la conservación de bosques y la reducción de gases de efecto invernadero

Miguel Romero, Piedad Pareja, María Claudia Tristán,
José Sánchez Choy y Marcela Quintero



PROYECTO: MODELOS DE NEGOCIOS PARA ABORDAR LOS MOTORES DE DEFORESTACIÓN EN PERÚ (SUSTAINABLE AMAZON BUSINESSES-SAB)

Entidad líder:

Alianza de Bioersity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Contrapartes:

Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI),
Gobierno Regional de Ucayali (GOREU)

Donante:

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU, por sus siglas en alemán)

Período de ejecución:

Agosto de 2018 – Agosto de 2022

Ámbito geográfico de intervención:

Región Ucayali, Perú

Alianza de Bioersity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Sede Regional para las Américas

Km 17 Recta Cali-Palmira. C.P. 763537

A.A. 6713, Cali, Colombia

Teléfono: +57 602 4450000

Correo electrónico: m.a.romero@cgiar.org

Página web: <https://alliancebioersityciat.org>

Publicación CIAT No. 526

Julio 2022

Romero M; Pareja P; Tristán MC; Sánchez Choy J; Quintero M. 2022. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del modelo del negocio sostenible de palma aceitera en la región de Ucayali, Perú. Publicación CIAT No. 526. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 58 p.

Fotos de Portada: © CIAT - © CIFOR

Créditos fotos: A menos que se indique lo contrario, el crédito de fotografía corresponde al CIAT.

Este trabajo está protegido bajo una licencia

Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

Derechos de autor © CIAT 2022. Algunos derechos reservados.

Agradecimientos



El presente documento ha sido elaborado por la Alianza de Bioersity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), bajo el liderazgo del área de Paisajes Multifuncionales. La construcción de este informe ha sido posible gracias a la valiosa contribución de los extensionistas y productores de palma aceitera Oleaginosas Amazónicas S.A. (Olamsa) y del Comité Central de Palmicultores de Ucayali (Cocepu) en Perú.

El proyecto Modelos de negocios para abordar los motores de la deforestación en el Perú (Sustainable Amazon Businesses-SAB) hace parte de la Iniciativa Climática Internacional (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU, por sus siglas en alemán) apoya esta iniciativa sobre la base de una decisión adoptada por el Bundestag alemán.

Contenido

1

INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivo general	5
1.2. Actividades propuestas	5
1.3. Descripción del modelo de negocio	5
1.4. Prácticas de mitigación adoptadas en el modelo de negocio	6

2

ENFOQUE METODOLÓGICO	10
2.1. Estándares y guías.....	11
2.2. Límite geográfico	11
2.3. Límite operacional	12
2.4. Límite temporal	13
2.5. Recolección de información.....	13
2.6. Cálculo de las emisiones de GEI	15
2.7. Calidad de datos	34
2.8. Consideraciones	34

3

INVENTARIO DE EMISIONES DEL MODELO DE NEGOCIO.....	36
3.1. Emisiones por uso y cambio de uso del suelo	40
3.2. Emisiones por uso de maquinaria y equipos	43
3.3. Emisiones por el uso de fertilizantes.....	44
3.4. Emisiones por manejo de residuos inorgánicos.....	45
3.5 Emisiones por manufactura de insumos.....	47
3.6 Emisiones por transporte de insumos.....	48

4

HUELLA DE CARBONO DEL MODELO DE NEGOCIO

pág 50

5

CONCLUSIONES

pág 54

6

REFERENCIAS

pág 56

Tablas

TABLA 1	Límite operacional del inventario de GEI	12
TABLA 2	Potencial de calentamiento global	16
TABLA 3	Factores de emisión para combustión estacionaria	22
TABLA 4	Composición de combustibles comerciales en Perú	23
TABLA 5	Factores de emisión para emisiones indirectas de N ₂ O	26
TABLA 6	Concentración de nitrógeno de los fertilizantes y enmiendas	27
TABLA 7	Factores de emisión por la manufactura de insumos	32
TABLA 8	Ruta recorrida por tipo de insumo	33
TABLA 9	Distancias recorridas y factores de emisión para el transporte de insumos	33
TABLA 10	Principales características del sistema de línea base y el modelo de negocio	38
TABLA 11	Conversión de tierras forestales (bosque primario o bosque secundario) a palma	40
TABLA 12	Reservas de carbono de diferentes tipos de coberturas	41
TABLA 13	Emisiones de GEI por cambio de uso del suelo	42
TABLA 14	Incremento del carbono orgánico del suelo por manejo	42
TABLA 15	Emisiones de GEI por el uso de combustible en maquinaria y equipos	43
TABLA 16	Emisiones de GEI por el uso de fertilizantes nitrogenados	45
TABLA 17	Emisiones de GEI por el manejo de residuos	46
TABLA 18	Emisiones de GEI por manufactura de insumos	47
TABLA 19	Emisiones de GEI por transporte de insumos	49
TABLA 20	Emisiones de GEI totales por la implementación del MdN	52

Figuras

FIGURA 1	Límite operacional del cultivo	13
FIGURA 2	Grupos focales con productores de palma de aceite	14
FIGURA 3	Colecta de datos de actividad en cada fase del cultivo	17
FIGURA 4	Monitoreo de deforestación en área de influencia de los predios	13
FIGURA 5	Diagrama de la etapa de cultivo	39
FIGURA 6	Emisiones y remociones totales de GEI en línea base y MdN	52
FIGURA 7	Participación de cada fuente en el total de las emisiones de línea base y del MdN	53



1

INTRODUCCIÓN










El Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) señala que la temperatura promedio de la superficie terrestre se ha incrementado a 0,85 °C como consecuencia del incremento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. En consecuencia, se han aumentado e intensificado los eventos de sequías, inundaciones, olas de calor, afectando la disponibilidad del agua, la producción, la calidad de los alimentos, proliferación de plagas y enfermedades, generando pérdidas de superficies cultivadas, reducción de productividad e incremento de la mortalidad pecuaria (IPCC, 2015).

A nivel global, el 15% de las emisiones de GEI provienen del sector uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS) (UICN, 2020). El principal factor de cambio de uso y cobertura del suelo es la deforestación; en el periodo de 15 años de 2001 a 2015, más de 71,76 millones de hectáreas de tierra fueron deforestadas para la producción de commodities (GCF Task Force, 2019).

En el Perú, el sector agropecuario es la principal fuente de emisiones GEI del país. De acuerdo con el último Inventario Nacional de GEI (2016), las emisiones netas del país equivalen a 205.294,1 GgCO₂eq, donde el sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés) representa el 65,7% de las emisiones (134.901,5 GgCO₂eq). Dentro de este sector, la principal fuente de emisión está asociada al cambio de uso del suelo, en particular por la conversión de tierras forestales a tierras de cultivo y pasturas. Las emisiones netas de las subcategorías Tierras de Cultivo y Pastizales ascienden a 92.759,9 GgCO₂ y equivalen al 68,7% de las emisiones del sector (MINAM, 2016a).

El desafío está en cómo aumentar la productividad reduciendo al mismo tiempo las externalidades negativas en términos de degradación ambiental, deforestación, emisiones de GEI y pérdida de biodiversidad asociadas.

Según el IPCC y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la mitigación consiste en la intervención humana encaminada a reducir las emisiones de GEI por las fuentes o potenciar el secuestro de carbono mediante los sumideros. En el caso del sector agricultura y las cadenas de valor de productos agrícolas, las opciones que se pueden explorar para reducir emisiones incluyen:

-  La reducción de emisiones derivadas de cambios en el uso de la tierra, y el manejo y uso de la tierra productiva.
-  El aumento de las reservas terrestres de carbono mediante su secuestro y almacenamiento en los suelos, la biomasa y los productos madereros.
-  La reducción de las emisiones derivadas de la producción energética a través de la sustitución de combustibles fósiles por biomasa.
-  El aumento de la producción sin un aumento proporcional de las emisiones reduce la intensidad de estas (esto es, las emisiones de GEI por unidad de producto).
-  La reducción de las emisiones de GEI mediante la reducción de las pérdidas y desperdicio de alimentos y el reciclaje de madera (IPCC, 2014).

El Gobierno peruano ha identificado 62 medidas de mitigación para implementar al 2030, en 5 áreas prioritizadas donde las acciones del sector uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS) representan el 70% de la meta de mitigación del país. En cuanto a las medidas de mitigación para los cultivos

permanentes de la Amazonía, que son relevantes para la temática de esta estrategia, se espera que, desde la asociatividad, el acceso a la tecnología y las alternativas de fertilizante orgánicos se logren las metas de mitigación del sector a nivel nacional (MINAM, 2019). En el año 2020, Perú formula la actualización de sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) para la mitigación de GEI, donde se plantea una meta no condicionada de limitar las emisiones de GEI hasta un nivel de 179,0 MtCO₂eq, mediante la implementación de medidas de mitigación formuladas en todos los sectores de emisiones que conforman las NDC de mitigación (MINAM, 2021).

En este contexto, se impulsó el proyecto Modelos de negocios para abordar los motores de la deforestación en Perú (Sustainable Amazonian Businesses-SAB) con el objeto de desarrollar un modelo de negocio (MdN) para la cadena de valor de la palma, libre de deforestación y bajo en emisiones gracias a la adopción de prácticas de producción con potencial de mitigar las emisiones de GEI (Ivanova et al., 2020; Ivanova et al., 2021). El MdN se trabajó con dos organizaciones vinculadas entre sí dentro de la cadena de valor de palma aceitera, el Comité Central de Palmicultores de Ucayali (Cocepu) y la empresa Oleaginosas Amazónicas S.A. (Olamsa), ubicadas en la región de Ucayali.

Con el fin de cuantificar el potencial de mitigación de emisiones de GEI por la implementación del MdN, se ha realizado un inventario detallado de emisiones y remociones de GEI con una línea base de 104 productores priorizados por Cocepu y Olamsa, así como el inventario de emisiones con la adopción de las prácticas propuestas en el MdN.

El presente informe ha sido elaborado en el marco del proyecto SAB, liderado por la Alianza de Bioersity International y el Centro Internacional




de Agricultura Tropical (CIAT), en coordinación con el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) de Perú. A su vez, es parte de la Iniciativa Climática Internacional (IKI) la cual es apoyada por el Ministerio Federal para el Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear de Alemania (BMU). En el proyecto se utilizan: el enfoque territorial, de cadena de valor y bajo de emisiones para alinear los compromisos hacia una visión libre de deforestación, que reconcilie usos sostenibles y competitivos con los compromisos nacionales de mitigación.


1.1. Objetivo general

Realizar el inventario de emisiones de un modelo de negocio para la cadena de valor de la palma aceitera, libre de deforestación y baja en emisiones de carbono de los productores del Comité Central de Palmicultores de Ucayali (Cocepu) en la región de Ucayali, Perú.

1.2. Actividades propuestas

Las actividades propuestas en el presente análisis incluyen:

-  Identificación de los productores priorizados y levantamiento de datos de actividad en grupos focales.
-  Consolidación de la base de datos de los factores de emisión a emplear en el análisis.
-  Cuantificación de las emisiones y remociones del cultivo de palma de aceite hasta la obtención de racimos de fruta fresca (RFF) bajo las condiciones productivas de la región para los productores priorizados.

-  Generación de escenarios de mitigación establecidos en el MdN y cuantificación de las emisiones y remociones del cultivo de palma de aceite.

El proyecto SAB ha desarrollado y aplicado un enfoque que combina metodologías y herramientas de múltiples disciplinas, incluyendo análisis de cambio de uso del suelo, tipificación de sistemas productivos, metodologías rurales participativas y análisis de emisiones de GEI, como resultado de la experiencia del equipo de Paisajes Multifuncionales de la Alianza de Bioversity y el CIAT.

El trabajo desarrollado se delimitó geográficamente al departamento de Ucayali, con un enfoque en las áreas de mayor producción, principalmente en las zonas circundantes al corredor productivo de la Carretera Federico Basadre, a lo largo de las provincias de Padre Abad y Coronel Portillo.

Este documento presenta el enfoque metodológico empleado en la colecta de la información de datos de actividad con los productores priorizados en grupos focales y el análisis de la información para el establecimiento de la línea base de emisiones. Asimismo, se incluye el escenario de prácticas de adopción propuestas en el MdN, cuya comparación con la línea base permite determinar su potencial de mitigación de emisiones de GEI.

1.3. Descripción del modelo de negocio

El MdN posee tres elementos centrales en su propuesta de valor: incremento de la productividad, acceso a mercados y sistemas de monitoreo y certificación. Todos estos elementos enmarcados en el compromiso de diseñar un MdN libre de deforestación y bajo en emisiones de GEI.

Para lograr que el MdN incluya prácticas que reduzcan los GEI, se realizó la revisión literaria de diversos artículos científicos y literatura gris, obteniendo un listado de prácticas con potencial de mitigación de GEI. Se crearon escenarios (ex ante) para evaluar el nivel de reducción de GEI de cada práctica y su implementación fue posteriormente validada con el grupo focal de productores y el personal técnico de Cocepu. De forma paralela, se evaluaron diferentes estrategias para mejorar la productividad y asegurar el acceso a los mercados. Las prácticas propuestas en el MdN son implementadas con 104 productores de la cooperativa, quienes en su mayoría manejan el cultivo de forma convencional y en una menor parte de los productores cuentan con un manejo orgánico.

De esta manera, el sistema de producción actual de palma de aceite (convencional y orgánico) se consideró el escenario de línea base, mientras que el MdN adiciona determinadas mejoras productivas y prácticas de mitigación. El detalle de ambos sistemas se presenta en la sección inventario de emisiones de GEI. Ambos sistemas productivos poseen las mismas consideraciones con relación al alcance del inventario y la metodología de cálculo de las emisiones.

1.4. Prácticas de mitigación adoptadas en el modelo de negocio

Basado en los análisis de emisiones de GEI en tres diferentes tipologías productivas en la región de Ucayali (determinadas por la intensidad de uso de insumos) se estableció que las prácticas de manejo de cultivo para la mitigación del cambio climático deben estar orientadas a la reducción de las emisiones por el cambio en el uso del suelo,

las cuales pueden representar hasta el 99% de las emisiones en cultivos establecidos en áreas recién deforestadas. El segundo punto crítico es el manejo de los fertilizantes, cuyas emisiones son el resultado de la manufactura de insumos, seguido del uso en campo y su transporte (Ivanova et al., 2020).

En posteriores análisis ex ante de emisiones de GEI, se definió el potencial de mitigación de siete prácticas de manejo del cultivo. Con base en el impacto en la reducción de emisiones, mejor relación costo beneficio y potencial de adopción, las siguientes prácticas fueron seleccionadas e incorporadas en el MdN: i) acuerdos cero deforestación, ii) uso de racimos de fruta vacía (RFV) como abono (mulch), y iii) siembra de coberturas leguminosas.

Promover la siembra de nuevas áreas de palma de aceite en zonas ya intervenidas

En el caso de palma, evitar la deforestación y dirigir el establecimiento de nuevas áreas en zonas degradadas tiene un efecto significativo en la reducción de emisiones. Se estima que, si el cultivo no es establecido en áreas de bosques primarios, se puede evitar la emisión de 248,4 t de C/ha. Este impacto puede ser considerablemente mayor si se evita la intervención de suelos orgánicos o turberas, los cuales pueden contener hasta 700 t de C/ha.

Posterior a la realización de prácticas que reduzca las emisiones de las plantaciones de palma, es importante implementar prácticas que permitan compensar las emisiones restantes. Algunas actividades para compensar dichas emisiones consisten en establecer áreas de conservación de bosques o recuperación de este, debido a su alto potencial de fijación de carbono, permitiendo a su vez la protección de la biodiversidad en la región.



Uso de los racimos de fruta vacíos (RFV) como abono (mulch)

Los RFV son el principal residuo sólido del proceso de extracción de aceite de palma, que representa entre el 20–23% del peso de estos (Baron et al., 2019). Los RFV se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica, un elevado contenido de humedad (que puede superar el 60%), una alta relación C/N (>50) y una concentración promedio de 0,95% de nitrógeno (N), 0,27% de fósforo (P), 2,11% de potasio (K) y 0,33% de calcio (Ca) (Baron et al., 2019). Su alto contenido de humedad limita su uso como combustible (Omar et al., 2011), siendo preferible su empleo como cobertura orgánica (mulch) o en la producción de fertilizante orgánicos (compost) (Lin, 2009). El uso de los RFV como cobertura orgánica, consiste en colocar los racimos frescos entre las palmas para su lenta descomposición para contribuir al control de las malezas, erosión del suelo, retención de la humedad y la nutrición del cultivo (Anyaocha et al., 2018).

El potencial de mitigación de emisiones de GEI en esta práctica radica en la incorporación de nutrientes minerales a través del mulch, lo que reduce la dependencia de insumos químicos, evitando así las emisiones de GEI por uso, manufactura y transporte de fertilizantes sintéticos. El manejo del mulch debe cumplir con las recomendaciones técnicas correspondientes, ya que un manejo inadecuado puede resultar en la generación de condiciones anaeróbicas que pueden representar mayores emisiones de GEI (Elbersen et al., 2013).

En la generación del escenario de uso de los RFV como cobertura vegetal, se tienen en cuenta tres atributos: el primero, la disminución de la aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos y en consecuencia la reducción de emisiones directas de N_2O , y la disminución de emisiones por producción y transporte de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Segundo, el ingreso constante de alto contenido de materia orgánica a través de los RFV genera un incremento en el carbono orgánico del suelo. Tercero, la



taza de aplicación, la tasa de aplicación de RFV está condicionada a la producción de esta por hectárea; una vez cuantificada la tasa de aplicación de N en RFV, el nitrógeno restante necesario para alcanzar la tasa de N aplicado en la línea base, es suministrado en forma de fertilizante sintético.

Uso de leguminosas como abono verde

Las leguminosas son un grupo de plantas que tienen la capacidad de formar una relación simbiótica con las bacterias del género *Rhizobium*, las cuales pueden fijar el nitrógeno atmosférico y volverlo asimilable para la planta. La acumulación del nitrógeno atmosférico en las leguminosas las convierte en “almacenes” de nitrógeno, motivo por el cual son empleadas como abonos verdes en diferentes sistemas de cultivos (Guiller, 2001).

Su mayor potencial de mitigación de GEI está asociado con la opción de sustituir parcialmente el uso de fertilizantes sintéticos (reducción de las emisiones asociadas a la manufactura, transporte y uso de los fertilizantes sintéticos). Dado que las condiciones de crecimiento varían ampliamente entre los diferentes estudios, existen diferencias considerables en la cantidad del nitrógeno almacenado en las coberturas de leguminosas (Corley & Tinker, 2016). Las leguminosas tienen el potencial de acumular alrededor de 176 kg N/ha (Agamuthu & Brough, 1985). Además, el ingreso constante de materia orgánica, al igual que con los RFV, contribuye en el incremento de carbono orgánico del suelo.

En el caso de la aplicación de las leguminosas como cobertura vegetal se ha considerado un aporte anual de nitrógeno de 29,33 kg N/ha con un ciclo de renovación natural de 3 años, el mismo que se repite durante toda la vida útil del cultivo. Dicho aporte se basa en lo reportado en la literatura, donde se estima una acumulación de 176 kg N/ha en el follaje de la leguminosa y cuyo mayor impacto se da a medida que esta muere, se descompone y libera el nitrógeno almacenado; adicionalmente, se ha considerado una disponibilidad del nitrógeno del 50%.



2

**ENFOQUE
METODOLÓGICO**





2.1. Estándares y guías

El inventario de GEI del sistema productivo de palma se ha elaborado siguiendo los lineamientos del estándar internacional ISO 14064-1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero; el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte; y la Guía Técnica-Protocolo de GEI: Interpretación del Estándar de Contabilidad e Informes Corporativos para el Sector Agrícola (GHG Protocol, por su abreviación en inglés). Los protocolos de GEI han sido desarrollados por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés) y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) (WRI, 2018). Estos estándares y protocolos, que son compatibles entre sí, especifican los principios y requerimientos que toda organización debe cumplir para el cálculo y reporte de sus emisiones y remociones de GEI.

En el caso de la metodología de cálculo de las emisiones de GEI, se han utilizado las Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, así como sus actualizaciones realizadas en el 2019. Dichos documentos presentan, de acuerdo con la actividad productiva y disponibilidad de información, diferentes modalidades de cálculo y factores de emisión por defecto (IPCC, 2006).

2.2. Límite geográfico

La definición del límite geográfico permite acotar la inclusión de las emisiones de GEI del sistema productivo a un espacio físico determinado. En este caso, el inventario de GEI de la producción de palma es específico a los productores del Comité Central de Palmicultores de Ucayali (Cocepu), ubicado en las provincias de Coronel Portillo y Padre Abad del departamento de Ucayali, cuya zonificación ecológica corresponde al bosque húmedo tropical.

Cocepu es una organización gremial que agrupa a pequeños y medianos palmicultores y cuenta con 870 socios, de los cuales 104 fueron seleccionados para ser incluidos en el MdN. En consecuencia, el inventario de GEI y el análisis de cambio de uso de suelo está enfocado en este grupo de agricultores socios de Cocepu con un total de 2.407 hectáreas de intervención.

En el presente estudio, se asume la parcela de palma como la unidad de análisis, reportando el inventario de GEI por unidad de área (CO₂ eq/ha). El resultado a nivel de área es de utilidad para los tomadores de decisiones en el sector agricultura, donde las emisiones de GEI se reportan en función del área intervenida y sirven como insumo para el inventario nacional.

2.3. Límite operacional

La definición del límite operacional implica identificar las emisiones de GEI relacionadas con las actividades del sistema productivo, clasificándolas como emisiones directas e indirectas. De acuerdo con la ISO 14064-1, las emisiones directas de GEI corresponden a

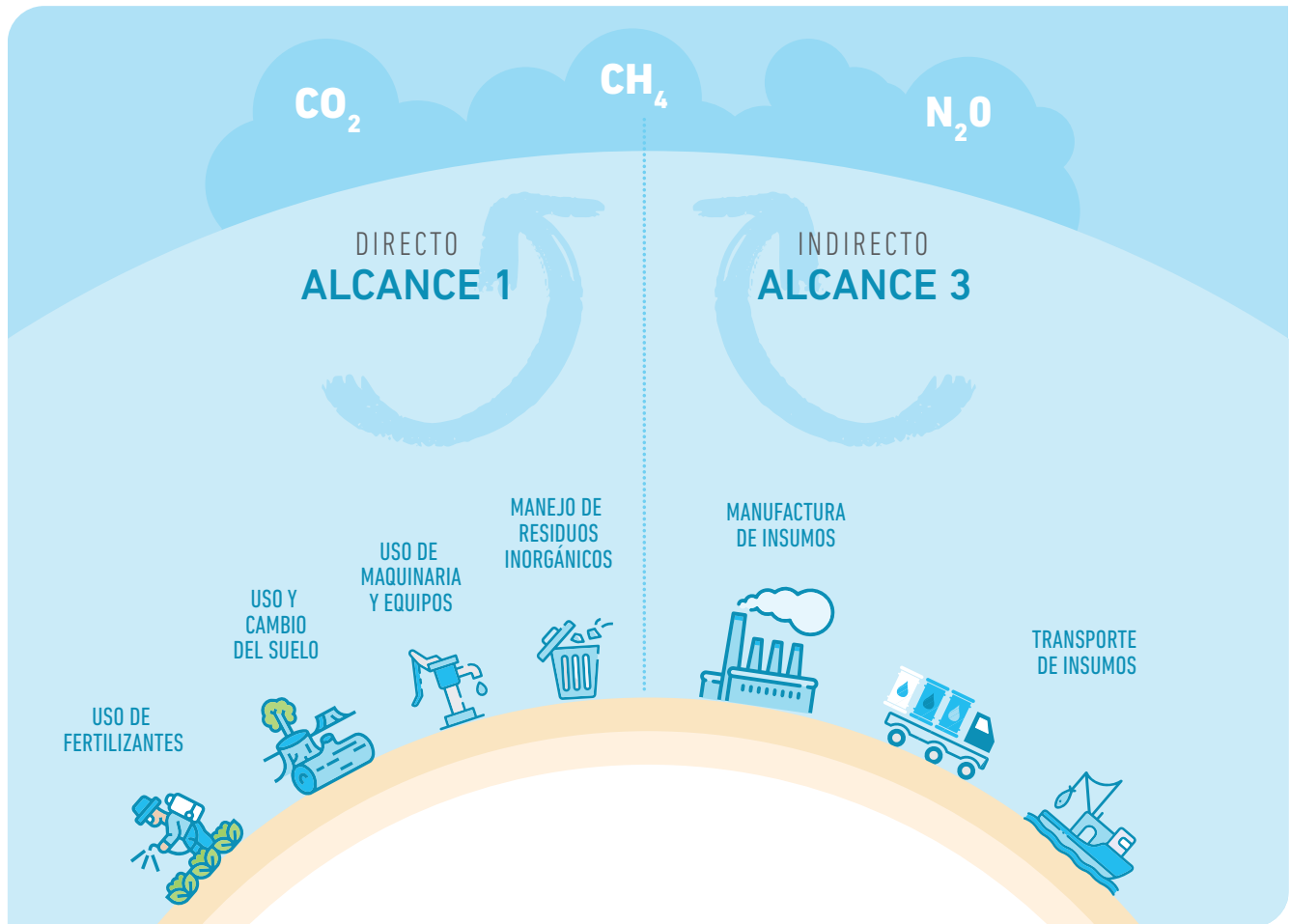
aquellas emisiones de fuentes que son propiedad o están controladas por el agricultor dueño de la parcela de palma. Mientras que las emisiones indirectas serían aquellas que son consecuencia de la actividad productiva de la parcela, pero donde el agricultor no es propietario de la fuente emisora o no posee control sobre esta. El GHG Protocol denomina a las emisiones directas como “Alcance 1”; a las emisiones indirectas asociadas a la electricidad “Alcance 2” y a las otras emisiones indirectas “Alcance 3”. Asimismo, las directrices para el sector agrícola señalan que, cuando el cambio de uso de suelo resulte en la reducción de las existencias de carbono (p. ej. por deforestación), dichas emisiones deben incluirse en el Alcance 1, mientras que todas las demás emisiones o remociones de carácter biogénico no deben incluirse en la contabilización (ver sección de Consideraciones).

De acuerdo con los estándares y protocolos, la contabilidad de GEI de Alcance 1 y 2 son de carácter obligatorio, mientras que el inventario y reporte del Alcance 3 es de carácter opcional. A continuación, se presentan las fuentes de emisión categorizadas según cada uno de los alcances y los GEI resultantes de dichas fuentes:

Tabla 1. Límite operacional del inventario de GEI.

ALCANCE	FUENTES DE EMISIÓN	GASES DE EFECTO INVERNADERO		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Alcance 1	Uso y cambio de uso del suelo	X		X
	Uso de maquinaria y equipos	X	X	X
	Uso de fertilizantes y enclado	X		X
	Manejo de residuos	X		X
Alcance 3	Manufactura de insumo agrícolas	X	X	X
	Transporte de insumo agrícolas	X	X	X

Figura 1. Límite operacional del cultivo.



2.4. Límite temporal

El inventario de emisiones y remociones de GEI ha sido construido considerando las prácticas de manejo del cultivo, el uso de insumos y la tecnología existente en el año 2021, el cual representa un diagnóstico desde esta perspectiva durante este periodo.

2.5. Recolección de información

El inventario de GEI requirió la recolección de información primaria (nivel de actividad) y secundaria. La información primaria se recogió

durante el mes de noviembre de 2021 en la región de Ucayali. Siguiendo la metodología de la finca típica, se convocó a un grupo de agricultores de palma de Cocepu y con su apoyo se recolectó la información de todas las actividades que son fuente de emisión de GEI en el sistema productivo de palma. La información secundaria se obtuvo de artículos científicos, estudios locales y fichas técnicas, mientras que se usaron los factores de emisión reportados por el IPCC (actualización 2019), Infocarbono y Ecoinvent. Por otro lado, con la participación de los agricultores se validaron las potenciales prácticas de mitigación de GEI, que habían sido previamente identificadas a través de la revisión de literatura.

Recolección del nivel de actividad – finca típica

Existen diferentes métodos para recopilar información de insumos y producción a nivel de predio, como el muestreo representativo de parcelas individuales, el uso de valores agregados regionales o el uso de fincas típicas (Feuz & Skold, 1990). Las encuestas estadísticas representativas tienen validez externa, pero el costo puede ser restrictivamente alto, los valores obtenidos suelen ser promedios que no reflejan una realidad funcional de un sistema productivo y difícilmente llegan a un nivel de detalle que permita entender los efectos de los cambios en distintos parámetros sobre el resultado económico de una parcela.

La metodología de finca típica consiste en seleccionar a un grupo representativo de agricultores con quienes se definen las características generales de un predio típico, por ejemplo: sistema productivo, área promedio de

los predios, otras actividades agropecuarias y su porcentaje de ocupación, distancias a centros urbanos, valor de la tierra, área de costeo, entre otros. Es decir, se requiere del consenso entre los valores, conceptos y términos referentes a las características agroambientales, físicas, estructurales, legales del predio y del cultivo, y de otros aspectos como la composición familiar típica y los roles en la labor productiva. Esta metodología permite un nivel de análisis más profundo, con similitud a un sistema productivo real y con mayor representatividad funcional (Feuz & Skold, 1990).

Aunque el ejercicio no refleja la realidad de ninguno de los productores en específico, es posible obtener un resultado representativo, es decir, válido para efectos de extrapolación a una población en particular (p. ej. una organización de productores). En este caso, dos grupos de cuatro agricultores de palma de Cocepu constituyeron los grupos focales para la caracterización de la finca típica de palma para el manejo convencional y el manejo orgánico.

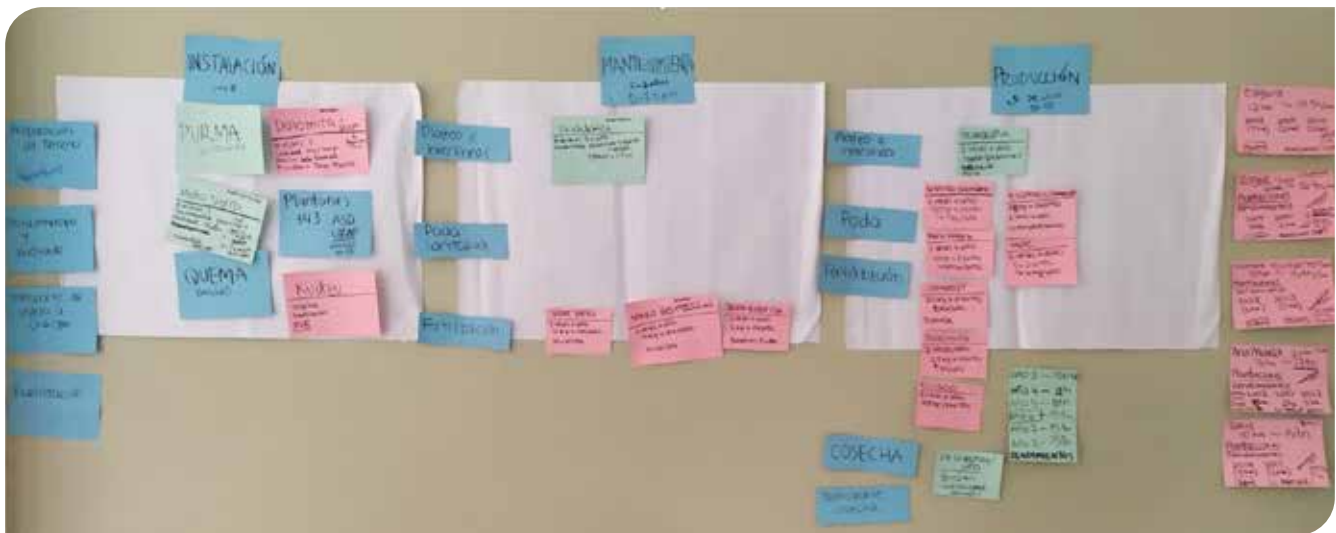
 **Figura 2.** Grupos focales con productores de palma de aceite.



Identificación de fases productivas: Junto con los productores seleccionados y técnicos se determinaron tres fases del cultivo: establecimiento del cultivo (desde el cambio de uso del suelo hasta la siembra de plántones), fase de mantenimiento (0 a 3 años) y fase productiva y cosecha (3 a 25 años).

Colecta de datos de actividad: En cada fase se identificaron las principales actividades ejecutadas en torno a las cuales se colectaron los datos de actividad, tales como preparación del terreno, siembra, fertilización, manejo de plagas, podas y cosecha. Para cada actividad se recolectó información de intensidad en el uso de insumos (p. ej. agroquímicos, abonos y combustible), procedencia de los insumos, frecuencia de la labor, maquinaria y equipos empleados, gestión de residuos, entre otros. En el caso de datos de cosecha, se elaboró una curva de rendimiento para los 22 años productivos, incluyendo meses de cosecha y cantidades.

 **Figura 3.** Colecta de datos de actividad en cada fase del cultivo.



Toda la información colectada y sistematizada se presentó y evaluó con expertos y productores conocedores, con el fin de validar los hallazgos y ajustar los parámetros. El proceso de revisión se repite hasta obtener consensos sobre la representatividad y validez de los resultados.

2.6. Cálculo de las emisiones de GEI

La categoría de impacto que se evalúa en un inventario de GEI es la de calentamiento global. Para el cálculo de las emisiones de GEI se requiere conocer el nivel de actividad, el factor de emisión relacionada con dicha actividad y el potencial de calentamiento global del gas emitido (IPCC, 2006).

Ecuación 1. Cálculo general de las emisiones de CO₂eq.

$$\text{Emisiones}_{\text{CO}_2\text{eq}} = \text{Nivel de actividad} * \text{Factor de emisión} * \text{Potencial de calentamiento}$$

Nivel de actividad: Hace referencia a la medición cuantitativa de la actividad. Por ejemplo, la cantidad de galones de combustible consumido o los kilogramos de fertilizantes aplicados.

Factor de emisión: Es la cantidad de GEI emitido por nivel de actividad. Por ejemplo, kilogramos de CO₂ emitidos por galón de combustible usado.

Potencial de Calentamiento Global (PCG): Expresa el potencial de calentamiento de un determinado gas en comparación con el que posee el mismo volumen de CO₂ durante el mismo periodo, permitiendo que el impacto de los GEI se exprese en una única unidad: CO₂ equivalente (CO₂ eq). En conformidad a lo dispuesto por la ISO 14064,

GHG Protocol y el IPCC, se debe considerar un horizonte de 100 años para la evaluación de la categoría de impacto de calentamiento global.

El IPCC publicó en el 2013, como parte del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5, por sus siglas en inglés), el listado de los potenciales de calentamiento global actualizados para los diferentes GEI (ver Tabla 2). Los seis principales GEI son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Para efectos del presente inventario y dada la naturaleza del sistema productivo evaluado, el análisis se centró en el CO₂, CH₄ y N₂O.

Tabla 2. Potencial de calentamiento global.

NOMBRE COMÚN INDUSTRIAL	FORMULA QUÍMICA	PCG PARA 100 AÑOS
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28 o 30*
Óxido Nitroso	N ₂ O	265

*Metano fósil

Fuente: Quinto Informe de Evaluación del IPCC, 2013.

Cálculo de las emisiones de GEI directas

Para la construcción del inventario de GEI se consideran las emisiones directas e indirectas asociadas a la parcela de palma. El diferenciarlas ayuda a reconocer el grado de intervención y control que posee el agricultor sobre las fuentes de GEI.

Uso y cambio de uso del suelo:

Conversión de tierras forestales a palma: Variación de las reservas de carbono

Las emisiones por cambio en el uso del suelo son generadas por la conversión de coberturas

vegetales naturales o seminaturales a sistemas agropecuarios, lo cual resulta en la liberación a la atmósfera del carbono almacenado en la biomasa y el suelo. Dado que el cultivo de palma tiene una vida útil de aproximadamente 25 años, se considera este tiempo para la evaluación del cambio de uso de suelo. Para la línea base (2021), el cambio ocurrido previo al 1997 no se considera en el análisis. Para el MdN, cuya implementación se asume en el año 2022, el periodo de evaluación es de 1998 a 2022.

A partir de la geolocalización de las parcelas de los agricultores y siguiendo la metodología de la Mesa Redonda sobre el Aceite de Palma Sostenible (Roundtable on Sustainable Palm Oil - RSPO, por sus siglas en inglés), se determinó el

historial del cambio de uso del suelo de los 104 agricultores durante el periodo 2005–2021. Con el fin de tener un área de deforestación representativa para la línea base y evitar variabilidades interanuales, se optó por estimar la deforestación promedio anual.

 **Figura 4.** Monitoreo de deforestación en área de influencia de los predios.



A partir del promedio anual de deforestación, se calcularon las emisiones que corresponden al año 2021 (año de línea base del inventario). Las emisiones generadas por cambio de uso del suelo se reportan en el año de la intervención (año en que se realizó la deforestación), con excepción de las emisiones de carbono orgánico del suelo que cuentan con un periodo de amortización de 25 años. En este último caso, ya que solo se cuenta con información oficial de deforestación a partir del año 2005, se usó el valor promedio de deforestación de 2005 al 2021 para los años faltantes de la línea base (1997 a 2004) y el MdN (1998 a 2004).

Para cuantificar las emisiones por el cambio de uso del suelo se evaluó el cambio neto de carbono de una cobertura a otra (p. ej. el cambio de bosque primario a cultivo de palma). El cálculo incluyó los cuatro tipos de reserva de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono orgánico del suelo y materia orgánica muerta (IPCC, 2006). De acuerdo con la guía de Orientación sobre las Buenas Prácticas para el Uso de Tierra, Cambio de Uso de Tierra y Silvicultura (GBP-UTCUTS), se empleó la ecuación descrita en el capítulo 3 (IPCC, 2005):

Ecuación 2. Variación de las reservas de carbono en tierras convertidas a tierras agrícolas.

$$\Delta C_{TTA} = \Delta C_{TTAB} + \Delta C_{TTASuelo}$$

Donde:

- ΔC_{TTA} = variación de las reservas de carbono en tierras convertidas en tierras agrícolas, t C/año.
- ΔC_{TTAB} = variación de las reservas de carbono en la biomasa en tierras convertidas en tierras agrícolas (biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta), t C/año¹.
- $\Delta C_{TTASuelo}$ = variación de las reservas de carbono en el suelo en tierras convertidas en tierras agrícolas, t C/año.

Ecuación 3. Variación de las reservas de carbono en la biomasa en tierras convertidas a tierras agrícolas.

$$\Delta C_{TTAB} = S_{Conversión} * (C_{Después} - C_{Antes Conversión})$$

Donde:

- ΔC_{TTAB} = variación de las reservas de carbono en la biomasa en tierras convertidas en tierras agrícolas, t C/año².
- $S_{Conversión}$ = superficie anual de tierras convertidas en tierras agrícolas a partir de un uso inicial, ha/año.
- $C_{Después}$ = reserva de carbono en la biomasa inmediatamente después de la conversión a tierra agrícola, t C/ha. Se asume un valor de cero.
- C_{Antes} = reserva de carbono en la biomasa inmediatamente antes de la conversión a tierra agrícola, t C/ha.

1. En la ecuación original de la GBP-UTCUTS no se incluye la variación de las reservas de carbono de la materia orgánica muerta. En el presente estudio sí se ha incluido dicha reserva.
2. En la ecuación original de la GBP-UTCUTS se incluye además el carbono de un año de crecimiento del cultivo tras la conversión. Sin embargo, dado que el alcance del presente inventario no se consideran las remociones ni emisiones del árbol de la palma, se excluyó de la ecuación el carbono por un año de crecimiento de la palma.

Ecuación 4. Variación de las reservas de carbono del suelo en tierras convertidas a tierras agrícolas.

$$\Delta C_{TTASuelo} = [S_{Conversión} * (COS_0 - COS_{0-T})]/T$$

Donde:

- $\Delta C_{TTASuelos}$ = variación de las reservas de carbono del suelo en tierras convertidas en tierras agrícolas, t C/año.
- $S_{Conversión}$ = superficie anual de tierras convertidas en tierras agrícolas a partir de un uso inicial, ha.
- COS_0 = reserva de carbono orgánico en el suelo en el año del inventario, t C/ha.
- COS_{0-T} = reserva de carbono orgánico en el suelo antes de la conversión a tierra agrícola, t C/ha.
- T = periodo del inventario, años (25 años: ciclo del cultivo).

Cuando el valor resultante de las Ecuaciones 3 y 4 sea negativo, se considerará el valor absoluto de dicho valor y se contabilizará como una emisión (ver Consideraciones). Las emisiones de carbono de la Ecuación 2 se multiplicaron por 44/12 para expresar el resultado en unidades de CO₂.

Los datos del contenido de carbono en la biomasa ($C_{Después}$ y C_{Antes}) y el suelo (COS_0 y COS_{0-T}) fueron obtenidos de la revisión de literatura, priorizando aquellos estudios realizados en la región de Ucayali (ver sección Emisiones por uso y cambio de uso del suelo).

**Conversión de tierras forestales a palma:
Nitrógeno mineralizado por pérdida de carbono orgánico del suelo**

Adicional a las emisiones de carbono por el cambio de uso de suelo (cuando el uso previo contiene una mayor reserva de carbono), la

pérdida de carbono orgánico del suelo conduce a la mineralización del nitrógeno del suelo y en consecuencia a la liberación de N₂O. La metodología para la estimación de las emisiones directas e indirectas de N₂O se describe en detalle en la sección Uso de Fertilizantes (metodología para estimaciones N₂O de suelos gestionados), donde las emisiones producto de la mineralización del nitrógeno se calculan a través de las Ecuaciones 8 y 10. Las emisiones por volatilización no se consideran en el caso de la mineralización del nitrógeno.

Para aplicar las ecuaciones antes mencionadas, se debe estimar previamente la cantidad de nitrógeno mineralizada por la pérdida de carbono del suelo. Para ello, se usó la ecuación extraída de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra, Volumen 4.

Ecuación 5. Cantidad de nitrógeno mineralizado por la pérdida de C del suelo.

$$F_{SOM} = \Delta C_{TTASuelos} * \frac{1}{R}$$

Donde:

- F_{SOM} = cantidad de nitrógeno mineralizado por la pérdida de C del suelo, como resultado del cambio de uso del suelo, kg N/año.
- $\Delta C_{TTASuelos}$ = variación de las reservas de carbono en el suelo en tierras convertidas en tierras agrícolas, t C/año (ver Ecuación 4).
- R = ratio C: N en la materia orgánica. El valor de 15 se utiliza por defecto para cambios de uso del suelo de bosque a tierras agrícolas.

Tierras que se mantienen en su mismo uso: Variación de las reservas de carbono en el suelo por manejo

El MdN incluye como prácticas de mitigación el uso de los residuos de cosecha (racimos de fruta vacías) y la siembra de cobertura leguminosa. El ingreso constante de alto contenido de materia orgánica genera un incremento en el carbono orgánico del suelo, el cual se calcula con la Ecuación 4, con la diferencia que se emplean los factores de cambio de existencia por defecto del IPCC.

Ecuación 6. Variación de las reservas de carbono del suelo en tierras que se mantienen en su mismo uso.

$$\Delta C_{TATASuelo} = [S_{Conversión} * (COS_0 - COS_{0-T})]/T$$
$$COS = COS_{REF} * F_{LU} * F_{MG} * F_I$$

Donde:

- $\Delta C_{TATASuelos}$ = variación de las reservas de carbono del suelo en tierras que se mantienen en su mismo uso, t C/año.
- $S_{Conversión}$ = superficie anual de tierras agrícolas que se mantienen en su mismo uso, ha.
- COS_0 = reserva de carbono orgánico en el suelo bajo el nuevo manejo del suelo, t C/ha.
- COS_{0-T} = reserva de carbono orgánico en el suelo previo al cambio de manejo del suelo, t C/ha.
- T = periodo del inventario, años (25 años: ciclo del cultivo).

- COS_o y COS_{o-T} = se calculan usando la ecuación COS.
- COS_{REF} = existencia de carbono de referencia, t C/ha.
- F_{LU} = factor de cambio de la existencia de carbono relacionado con el tipo de uso del suelo, sin dimensión.
- F_{MG} = factor de cambio de la existencia de carbono determinado por el régimen de gestión, sin dimensión.
- F_I = factor de cambio de la existencia de carbono determinado por el aporte de materia orgánica, sin dimensión.

Si el valor resultante es positivo se le antepondrá el signo negativo y se considerará como una remoción (ver Consideraciones). Las emisiones de carbono se multiplicaron por $44/12$ para expresar el resultado en unidades de CO_2 .

El valor del COS_{REF} se obtuvo de información secundaria de estudios realizados en la región de Ucayali, mientras que se usaron los factores de referencia de 1 para F_{LU} , 1 para F_{MG} , y 1,11 F_I , extraídos de Directrices del IPCC: Volumen 4, Capítulo 5, Tabla 5.5 (IPCC, 2019).

Uso de maquinaria y equipos

Las emisiones por el uso de maquinaria y equipos se calculan siguiendo la metodología de combustión estacionaria. Se obtienen multiplicando el consumo de combustible (en unidades de TJ) por el factor de emisión correspondiente al GEI. De acuerdo con lo estipulado por las mismas Directrices del IPCC sobre Energía, en el Volumen 2 (2006), se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Emisiones de GEI para combustión estacionaria.

$$Emisiones_{GEI} = Consumo_{combustible} * FE_{GEI, combustible} * PCG$$

Donde:

- $Emisiones_{GEI}$ = Emisiones anuales de un gas de efecto invernadero por tipo de combustible (kg GEI/año).
- $Consumo_{combustible}$ = Cantidad de combustible quemado, TJ/año.
- $FE_{GEI, combustible}$ = Factor de emisión de un gas de efecto invernadero por tipo de combustible, kg GEI/TJ (ver Tabla 3).
- PCG = Potencial de calentamiento global (ver Tabla 2).

Tabla 3. Factores de emisión para combustión estacionaria.

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN (kg/TJ)*			PODER CALORÍFICO** TJ/Gg	DENSIDAD** kg/l
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
Gasohol 90				42,90	0,71
Gasolina	63.900	10	0,6		
Biocombustibles líquidos	79.600	10	0,6		
Diésel B5				42,20	0,87
Diésel	74.100	10	0,6		
Biodiésel	70.800	10	0,6		

* Fuente: Energía: Volumen 2, Capítulo 2, Tabla 2.5 (IPCC, 2006).

** Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (MINAM, 2016a).

Para convertir el consumo de combustible de unidades de volumen (L o gal) a unidades de energía (TJ), se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Consumo de combustible.

$$\text{Consumo}_{\text{combustible}} = \text{Consumo}_{\text{combustible en gal}} * \rho * PCN * FC$$

Donde:

- **Consumo_{combustible}** = consumo de combustible, TJ/año.
- **Consumo_{combustible en gal}** = consumo de combustible, galones/año.
- **PCN** = Poder calorífico neto o inferior del combustible, TJ/Gg.
- **ρ** = Densidad del combustible, kg/l.
- **FC** = Factor de conversión de unidades. 1 gal = 3.7854 l; 1 Gg = 10⁶ kg.

Adicionalmente, según la legislación vigente, la gasolina y el diésel comercial contienen un porcentaje de biocombustibles. La gasolina es una mezcla de etanol carburante y gasolina, con una concentración de etanol del orden de 7,8% (Gasohol), mientras que el diésel incluye un 5% de biodiésel (Diésel B5).

Tabla 4. Composición de combustibles comerciales en Perú.

COMBUSTIBLE	DESCRIPCIÓN	% BIOCOMBUSTIBLE
Gasohol	Es la mezcla que contiene gasolina (de 84, 90, 95 o 97 octanos y otras, según sea el caso) y 7,8% volumen de alcohol carburante. Comercializada a partir del 1 de enero de 2010.	7,80%
Diésel B2	A partir del 01 de julio de 2010, se inició la comercialización de este combustible en reemplazo del Diésel N° 2. El Diésel B2 es un combustible constituido por una mezcla de Diésel N° 2 y 2% en volumen de Biodiésel (B100).	2,00%
Diésel B5	A partir del 01 de enero de 2011, se inició la comercialización de este combustible en reemplazo del Diésel B2. El Diésel B5 es un combustible constituido por una mezcla de Diésel N° 2 y 5% en volumen de Biodiésel (B100).	5,00%

Fuente: MINAM, 2016b.

Las emisiones de CO₂ resultantes de la quema de biocombustibles (fracción de etanol y biodiésel de los combustibles) no se incluyen en la contabilidad de emisiones al considerárseles carbono de origen biogénico. Las emisiones de CH₄ y N₂O de la combustión de biocombustibles sí han sido contabilizadas.

De esta manera, para el cálculo de las emisiones de GEI por el uso de maquinarias y equipos, primero se calculó la energía consumida (TJ) para el Gasohol 90 y Diésel B5 (Ecuación 7), se aplicó los porcentajes correspondientes de combustible/ biocombustible (ver Tabla 4) y finalmente se empleó la Ecuación 6 utilizando los factores de emisión de la Tabla 3.

Uso de fertilizantes y encalado

Uso de fertilizantes: emisiones de N₂O

Uno de los GEI generados en mayor volumen en el sector agrícola es el N₂O, el cual se genera naturalmente en los suelos a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación de forma directa e indirecta. La vía directa significa que los suelos liberan directamente el N en forma de N₂O después de la aplicación de los agregados que contienen nitrógeno. Mientras que la vía

indirecta involucra dos procesos: (i) volatilización: parte del N del suelo gestionado se volatiliza en forma de NH₃ y NO_x, los cuales se depositan junto con sus subproductos NH₄⁺ y NO₃⁻ sobre la superficie del suelo para posteriormente liberarse como N₂O; y (ii) lixiviación: parte del N inorgánico del suelo gestionado, principalmente como NO₃⁻, se pierde por escurrimiento o lixiviación y posteriormente un porcentaje se libera como N₂O (IPCC, 2006).

El uso de fertilizantes nitrogenados, en consecuencia, es una fuente de emisión de N₂O, el cual se genera de forma directa e indirecta. La metodología usada para la aplicación de fertilizantes es la que se emplea para las estimaciones de N₂O de suelos gestionados, la misma que incluye además las emisiones por los aportes de residuos agrícolas, estiércol y orina en el suelo, así como por el proceso de mineralización del nitrógeno por la pérdida de carbono orgánico del suelo (por manejo o cambio de uso del suelo). En el presente estudio, las emisiones de N₂O consideradas son las resultantes del uso de fertilizantes sintéticos, fertilizantes orgánicos (compost), aplicación de residuos de cosecha y uso de leguminosas como cobertura vegetal que se declaran en esta sección

Uso de Fertilizantes; además, del nitrógeno mineralizado por la pérdida de carbono del suelo que se ha contabilizado en la sección Uso y Cambio de Uso del Suelo (IPCC, 2006).

Todas las ecuaciones empleadas para el cálculo de las emisiones directas e indirectas de N_2O han sido extraídas de las Directrices del IPCC, Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (2006), aunque en algunos casos estas han sido simplificadas:

Ecuación 9. Emisiones directas de N_2O de suelos gestionados.

$$N_2O_{directas} = N_2O - N * FE_N * 44/28$$

Donde:

- $N_2O_{directas}$ = cantidad anual de óxido nitroso liberado, kg N_2O /año.
- N_2O-N = cantidad anual de nitrógeno aplicado a través de la fertilización sintética (F_{SN}), fertilización orgánica (F_{ON}), residuos de cultivos (F_{CR}), deposición de orina y heces (F_{PRP}) o aquel que se mineraliza por la pérdida de carbono del suelo (F_{SOM}), kg N_2O-N /año.
- FE_N = factor de emisión, kg N_2O-N / kg de N aplicado.
- $44/28$ = valor de conversión de las emisiones de N_2O-N a emisiones de N_2O (peso molecular de N_2O y el N_2).

El factor de emisión utilizado para los fertilizantes sintéticos en climas húmedos fue de 0,016 kg N_2O-N /kg de N aplicado, mientras que se utilizó el valor de 0,006 kg N_2O-N /kg de N aplicado para todos los aportes de N procedentes de enmiendas orgánicas, residuos agrícolas (incluyendo los cultivos fijadores de N) y nitrógeno mineralizado de la descomposición de la materia orgánica del suelo en climas húmedos. En el presente estudio las emisiones procedentes de la deposición de orina y heces de animales no aplican. Los factores de emisión fueron extraídos de la actualización de las Directrices del IPCC, Volumen 4, Capítulo 11 y Tabla 11.1 (IPCC, 2019).

Respecto al cálculo de las emisiones indirectas de N_2O por deposición atmosférica de N volatilizado, este incluye únicamente los aportes de nitrógeno de los fertilizantes sintéticos u orgánicos y la deposición de orina y heces. En el caso de las emisiones indirectas por lixiviación y escurrimiento, la ecuación incluye el nitrógeno aplicado a través de la fertilización sintética u orgánica, residuos de cultivos, deposición de orina y heces y el que se mineraliza por la pérdida de carbono del suelo (IPCC, 2019). Las emisiones por la deposición de orina y heces no aplican.

Ecuación 10. Emisiones indirectas N_2O producidas por volatilización.

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} * Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) * Frac_{GASM})] * FE_v$$

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)} - N * 44/28$$

Donde:

- $N_2O_{(ATD)} - N$ = cantidad anual de N_2O -N producido por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados, kg N_2O -N/año.
- $N_2O_{(ATD)}$ = cantidad anual de N_2O producido por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados, kg N_2O /año.
- F_{SN} = cantidad anual de N de fertilizante sintético aplicado a los suelos, kg N/año.
- $Frac_{GASF}$ = fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH_3 y NO_x , kg N volatilizado/kg de N aplicado (ver Tabla 5).
- F_{ON} = cantidad anual de N de estiércol animal gestionado, compost, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicado a los suelos, kg N/año.
- F_{PRP} = cantidad anual de N de orina y estiércol depositada por los animales de pastoreo, kg N/año.
- $Frac_{GASM}$ = fracción de N de materiales de N orgánico (F_{ON}) y N de orina y heces depositada por animales de pastoreo (F_{PRP}) que se volatiliza como NH_3 y NO_x , kg N volatilizado/kg de N aplicado (ver Tabla 5).
- FE_v = factor de emisión correspondiente a las emisiones de N_2O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua, kg N_2O -N/(kg NH_3 -N + NO_x -N volatilizado) (ver Tabla 5).
- $44/28$ = valor de conversión de las emisiones de N_2O -N a emisiones de N_2O (peso molecular de N_2O y el N_2).

Ecuación 11. Emisiones indirectas N_2O producidas por lixiviación y escurrimiento.

$$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{PRP} + F_{SOM}) * Frac_{LIXIVIACIÓN} * FE_L$$

$$N_2O_{(L)} = N_2O_{(L)} - N * 44/28$$

Donde:

- $N_2O_{(L)}-N$ = cantidad anual de N_2O-N producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, kg $N_2O-N/año$.
- $N_2O_{(L)}$ = cantidad anual de N_2O producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, kg $N_2O/año$.
- F_{SN} = cantidad anual de N de fertilizante sintético aplicado a los suelos, kg N/año.
- F_{ON} = cantidad anual de N de estiércol animal gestionado, compost, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicado a los suelos, kg N/año.
- F_{CR} = cantidad anual de N de residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N, kg N/año.
- F_{PRP} = cantidad anual de N de orina y estiércol depositada por los animales de pastoreo, kg N/año.
- F_{SOM} = cantidad anual de N mineralizado por la pérdida de carbono del suelo, kg N/año.
- FE_L = factor de emisión para emisiones de N_2O por lixiviación y escurrimiento de N, kg $N_2O-N/(kg N por lixiviación y escurrido)$ (ver Tabla 5).

En la siguiente Tabla se presentan todos los factores de emisión para las emisiones indirectas de N_2O . En el caso del factor volatilización (FE_v) se usó el correspondiente al clima húmedo (0,014), mientras que para la fertilización sintética se empleó el $FracGASM$ de la urea (0,15).

Tabla 5. Factores de emisión para emisiones indirectas de N_2O .

FACTOR DE EMISIÓN POR VOLATILIZACIÓN Y LIXIVIACIÓN	VALOR POR DEFECTO	VALOR DESAGREGADO	
FE_v [volatilización y redeposición de N], kg N_2O-N (kg $NH_3-N + NO_x-N$ volatilizado) -1	0,010	Clima húmedo	0,014
		Clima seco	0,005
FE_L [lixiviación/escurrimiento], kg N_2O-N (kg N lixiviación/escurrimiento) -1	0,011	Urea	0,15
		A base de amonio	0,08
		A base de nitrato	0,01
		A base de nitrato de amonio	0,05
$FracGASF$ [Volatilización de fertilizante sintético], (kg $NH_3-N + NO_x-N$) (kg N aplicado) -1	0,11		

FACTOR DE EMISIÓN POR VOLATILIZACIÓN Y LIXIVIACIÓN	VALOR POR DEFECTO	VALOR DESAGREGADO
FracGASM [Volatilización de todos los fertilizantes de N orgánicos aplicados, y de estiércol y orina depositados por animales en pastoreo], (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N aplicado o depositado) -1	0,21	
FracLIXIVIACIÓN-(H) [pérdidas de N por lixiviación/escorrimento en regiones donde Σ (lluvia en la estación lluviosa) - Σ (EP en el mismo período) > capacidad de retención del agua del suelo, o donde se emplea irrigación (excepto por goteo)], kg N (kg N agregado o por deposición de animales en pastoreo)-1	0,24	

Fuente: Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra, Volumen 4, Cap. 11, Tabla 11.3 (IPCC, 2019).

Adicional a la cantidad de fertilizante aplicado, cuyo valor fue recolectado a través de los grupos focales, es necesario conocer la concentración de nitrógeno de cada uno de los fertilizantes. En la siguiente tabla se muestran los valores usados de acuerdo con la información de sus fichas técnicas.

Tabla 6. Concentración de nitrógeno de los fertilizantes y enmiendas.

NOMBRE	TIPO DE FERTILIZANTE	% DE N EN MATERIA SECA
Urea	Sintético	46%
Compost – super suelo	Orgánico	1,5%
Racimos de fruta vacíos (RFV)	Residuos agrícolas	0,95% ¹

¹ Fuente: Baron et al., 2019.

En el caso de la aplicación de las leguminosas como cobertura vegetal en el MdN, se ha considerado un aporte anual de nitrógeno de 29,33 kg N/ha con un ciclo de renovación natural de 3 años, el mismo que se repite durante toda la vida útil del cultivo. Dicho aporte se basa en lo reportado en la literatura, donde se estima una acumulación de 176 kg N/ha en el follaje de la leguminosa y cuyo mayor impacto se da a medida que esta muere, se descompone y libera el nitrógeno almacenado. A pesar de que algunos estudios indican que las leguminosas mueren completamente a partir del séptimo

año (probablemente por competencia de luz y nutrientes con la palma), todos los agricultores de los grupos focales coincidieron que esta se mantiene en el suelo aun con las palmas maduras. Adicionalmente, se ha considerado una disponibilidad del nitrógeno del 50%.

Las emisiones de N₂O resultantes de la aplicación de las Ecuaciones 8, 9 y 10 deben de ser multiplicadas por 265, que representa el potencial de calentamiento global de este gas, de tal manera se uniformice a la unidad de CO₂eq.

Uso de fertilizantes: emisiones de CO₂ por urea

La aplicación del agregado de urea a los suelos durante la fertilización conduce a una pérdida de CO₂. La urea (CO(NH₂)₂) se convierte en amonio (NH₄⁺), ion hidroxilo (OH⁻) y bicarbonato (HCO₃⁻) en presencia de agua y de enzimas de ureasa. De esta manera, el bicarbonato formado se convierte en CO₂ y agua. Para el cálculo de las emisiones de carbono por aplicación de urea, se utilizó la siguiente ecuación extraída de las Directrices del IPCC, Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (2006):

Ecuación 12. Emisiones de CO₂ por la fertilización con urea.

$$\text{Emisión CO}_2 = M * FE * 44/12$$

Donde:

- Emisión CO₂ = cantidad anual de dióxido de carbono liberado, kg CO₂/año.
- M = cantidad anual de fertilización con urea, kg urea/año.
- FE = factor de emisión, kg de C/kg de urea.
- 44/12 = valor de conversión de las emisiones de CO₂-C a emisiones de CO₂ (peso molecular de CO₂ y el C).

El factor de emisión (FE) general es de 0,20 para urea, que es equivalente al contenido de carbono de la urea sobre la base de su peso atómico (20% para CO(NH₂)₂).

Encalado: emisiones de CO₂

El agregado de carbonatos a los suelos en forma de cal (p. ej., piedra caliza cálcica (CaCO₃) o dolomita (CaMg(CO₃)₂)) conduce a emisiones de CO₂, ya que las cales se disuelven y liberan bicarbonato (2HCO₃⁻), que se convierte en CO₂ y agua (H₂O).

La ecuación para estimar las emisiones de CO₂ por la aplicación de cal fue extraída de las Directrices del IPCC, Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (2006). El factor de emisión para la piedra caliza es de 0,12, mientras que para la dolomita es de 0,13. Dichos valores equivalen al contenido de carbono en ambos materiales.

Ecuación 13. Emisiones de CO₂ por encalado.

$$\begin{aligned} \text{Emisión CO}_2 - \text{C} &= (M_{\text{Caliza}} * FE_{\text{Caliza}}) + (M_{\text{Dolomita}} * FE_{\text{Dolomita}}) \\ \text{Emisión CO}_2 &= \text{Emisión CO}_2 - \text{C} * 44/12 \end{aligned}$$

Donde:

- CO₂-C = cantidad anual de carbono liberado por encalado, kg CO₂-C/año.
- CO₂ = cantidad anual de dióxido de carbono liberado por encalado, kg CO₂/año.
- M_{Caliza} = cantidad anual de piedra caliza cálcica (CaCO₃), kg CaCO₃/año.
- FE_{caliza} = factor de emisión, kg de C / kg de CaCO₃.
- M_{Dolomita} = cantidad anual de dolomita (CaMg(CO₃)₂), kg CaMg(CO₃)₂/año.
- FE_{Dolomita} = factor de emisión, kg de C/kg de CaMg(CO₃)₂.
- 44/12 = valor de conversión de las emisiones de CO₂-C a emisiones de CO₂ (peso molecular de CO₂ y el C).

Manejo de residuos

El sistema de cultivo de palma tiene tanto residuos orgánicos (residuos de cosecha) como residuos inorgánicos (envases de insumo agrícolas). El principal residuo de cosecha son los racimos de fruta vacíos (RFV), los cuales después de haber sido procesados en la planta extractora de aceite pueden regresar al cultivo como enmienda. El uso de los RFV en el predio se ha contemplado en el MdN y su análisis se ha incluido en la sección Uso de Fertilizantes al ser fuente de nutrientes.

Los residuos inorgánicos están conformados, principalmente, por los costales de los fertilizantes y los envases de pesticidas. En el caso de los costales, estos son reutilizados dentro de la parcela o enterrados, lo que no genera emisiones de GEI. Los envases de pesticidas son quemados, muy probablemente en el interior del predio, generando emisiones de GEI. El método para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de la incineración se basa en la estimación del contenido de carbono de los desechos quemados (carbono biogénico y fósil). En el presente estudio, el carbono contenido en los desechos es de origen fósil, por lo cual las emisiones de CO₂ se incluyen en el inventario. Las ecuaciones para estimar dichas emisiones fueron obtenidas del Volumen 5 – Desechos del IPCC (2006):

Ecuación 14. Emisiones de CO₂ por la quema de desechos.

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i (SW_i * dm_i * CF_i * OF_i) * \frac{44}{12}$$

Donde:

- **Emisiones de CO₂** = emisiones anuales de CO₂, kg CO₂/año.
- **SW_i** = cantidad anual de desechos sólidos de tipo i (peso húmedo) incinerados, kg/año.
- **dm_i** = contenido de materia seca en los desechos (peso húmedo) incinerados, fracción.
- **CF_i** = fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total), fracción.
- **OF_i** = factor de oxidación, fracción.
- **44/12** = factor de conversión de C en CO₂.
- **i** = tipo de desecho incinerado.

Los valores por defecto usados para la quema de los envases de plástico fueron: 1 para el contenido de materia seca en los desechos, 0,8 para la fracción de carbono en la materia seca y 1 para el factor de oxidación (asumiéndose una combustión completa). Dichos valores por defecto fueron extraídos las Directrices del IPCC, Desechos: Volumen 5, Capítulo 2 (Tabla 2.5) y Capítulo 5 (Tabla 5.2) (2006).

Con respecto a las emisiones de CH₄ en una incineración discontinua, el IPCC indica que, por la alta variabilidad e incertidumbre, es una buena práctica considerar el factor de emisión de cero. Asimismo, las emisiones de metano son resultado de una combustión incompleta y la Ecuación 14 incluye el supuesto de una combustión completa de los desechos. Para la estimación de las emisiones de N₂O, se empleó la siguiente ecuación extraída del Volumen 5:

Ecuación 15. Estimación de las emisiones de N₂O por la quema de desechos.

$$Emisiones\ de\ N_2O = \sum_i (IW_i * EF_i)$$

Donde:

- **Emisiones de N₂O** = emisiones anuales de N₂O, kg/año.
- **IWi** = cantidad de desechos de tipo i incinerados, kg/año.
- **EFi** = factor de emisión de N₂O, kg de N₂O/kg de desechos de tipo i.
- **i** = categoría o tipo de desecho incinerado.

El factor de emisión considerado fue de 170 g N₂O/t desechos plásticos (GIO, 2005 citado en IPCC, 2006). El valor resultante de N₂O de la Ecuación 15 debe multiplicarse por 265 para expresar las emisiones en unidades de CO₂eq.



Cálculo de las emisiones de GEI indirectas

Manufactura de insumos

Para la estimación de las emisiones de GEI debido a la fabricación de los insumos aplicados en el cultivo, se usaron factores por defecto que se encuentran en la base de datos de Ecoinvent – versión 3.3 (2016). Al multiplicar la cantidad del producto consumido por el factor de emisión, se obtiene la cantidad de emisiones en unidades de CO₂eq.

Tabla 7. Factores de emisión por la manufactura de insumos.

NOMBRE DE INSUMO	NOMBRE EN LA BASE DE DATOS DE ECOINVENT	FACTOR DE EMISIÓN (kg CO ₂ eq/kg PRODUCTO)
Gasolina	Market for petrol, 5% ethanol by volume from biomass	0,8269
Diésel	Diesel, burned in agricultural machinery	0,2098
Aceite de motor	Market for petroleum	0,2528
Glifosato	Market for glyphosate	11.891
Clorpirifos-Tifon	Market for pesticide-unspecified	10.512
Urea	Market for urea as N (GLO)	3,3464
Cloruro de Potasio (KCL)	Market for potassium chloride, as K ₂ O (GLO)	0,4741
Roca fosfórica	Market for phosphate rock, as P ₂ O ₅ , beneficiated, dry	0,2991
Boro/Fertibagra	Boric oxide production	2,1668
Sulpomag	Market for magnesium sulfate (GLO)	0,4788
Kieserita	Market for magnesium sulfate (GLO)	0,4788
Cal-Dolomita	Market for dolomite	0,0444
Kalisop	Market for potassium chloride, as K ₂ O (GLO)	0,4741
Compost	Market for compost	0,0031
Costales polipropileno	Extrusion production, plastic film (RER)	0,4405

Fuente: Ecoinvent 3.3, 2016.

Transporte de insumos

Las emisiones indirectas por fuentes móviles hacen referencia a los GEI que se emiten a causa del transporte de insumos, desde el lugar de su fabricación hasta el predio. Se usaron factores de emisión por defecto de la base de datos de Ecoinvent 3.3, basados en la cantidad del producto transportado (t) y la distancia recorrida en kilómetros (km).

Tabla 8. Ruta recorrida por tipo de insumo.

NOMBRE DE INSUMO	RUTA TERRESTRE						RUTA MARÍTIMA			
	PUEBLO – CHACRA	PUCALLPA – PUEBLO	LIMA – PUCALLPA	PLANTA – CHACRA	SECHURA – PUCALLPA	TARMA – PUCALLPA	CANADÁ	ALEMANIA	CHINA	RUSIA
Gasolina y diésel	X	X	X							
Aceite de motor	X	X	X							
Glifosato	X	X	X						X	
Clorpirifos-Tifon	X	X	X							
Urea	X	X	X							X
Cloruro de Potasio (KCL)	X	X	X				X			
Roca fosfórica	X	X	X		X					
Boro/Fertibagra	X	X	X						X	
Sulpomag	X	X	X						X	
Kieserita	X	X	X					X		
Cal-Dolomita	X	X	X			X				
Kalisop	X	X	X					X		
Compost	X	X	X							
Racimos de fruta vacíos				X						
Costales de polipropileno	X	X	X							

Tabla 9. Distancias recorridas y factores de emisión para el transporte de insumos.

RUTA	DISTANCIA (km)	TRANSPORTE NOMBRE EN LA BASE DE DATOS DE ECOINVENT	FE (kg CO ₂ eq/t*km)
Planta-Chacra	20	Market for transport, freight, lorry 3.5–7.5 metric t, EURO3	0,5255
Pueblo-Chacra	20	Market for transport, freight, light commercial vehicle	1,9960
Pucallpa-Pueblo	60	Market for transport, freight, lorry 3.5–7.5 metric t, EURO3	0,5255
Lima-Pucallpa	746	Market for transport, freight, lorry >32 metric t, EURO3	0,0921
Sechura-Pucallpa	1.350	Market for transport, freight, lorry >32 metric t, EURO3	0,0921
Tarma-Pucallpa	487	Market for transport, freight, lorry >32 metric t, EURO3	0,0921
Canadá	8.414	Market for transport, freight, sea, transoceanic ship	0,0116
Alemania	10.482	Market for transport, freight, sea, transoceanic ship	0,0116
China	17.250	Market for transport, freight, sea, transoceanic ship	0,0116
Rusia	14.831	Market for transport, freight, sea, transoceanic ship	0,0116

Fuente: Ecoinvent 3.3, 2016.

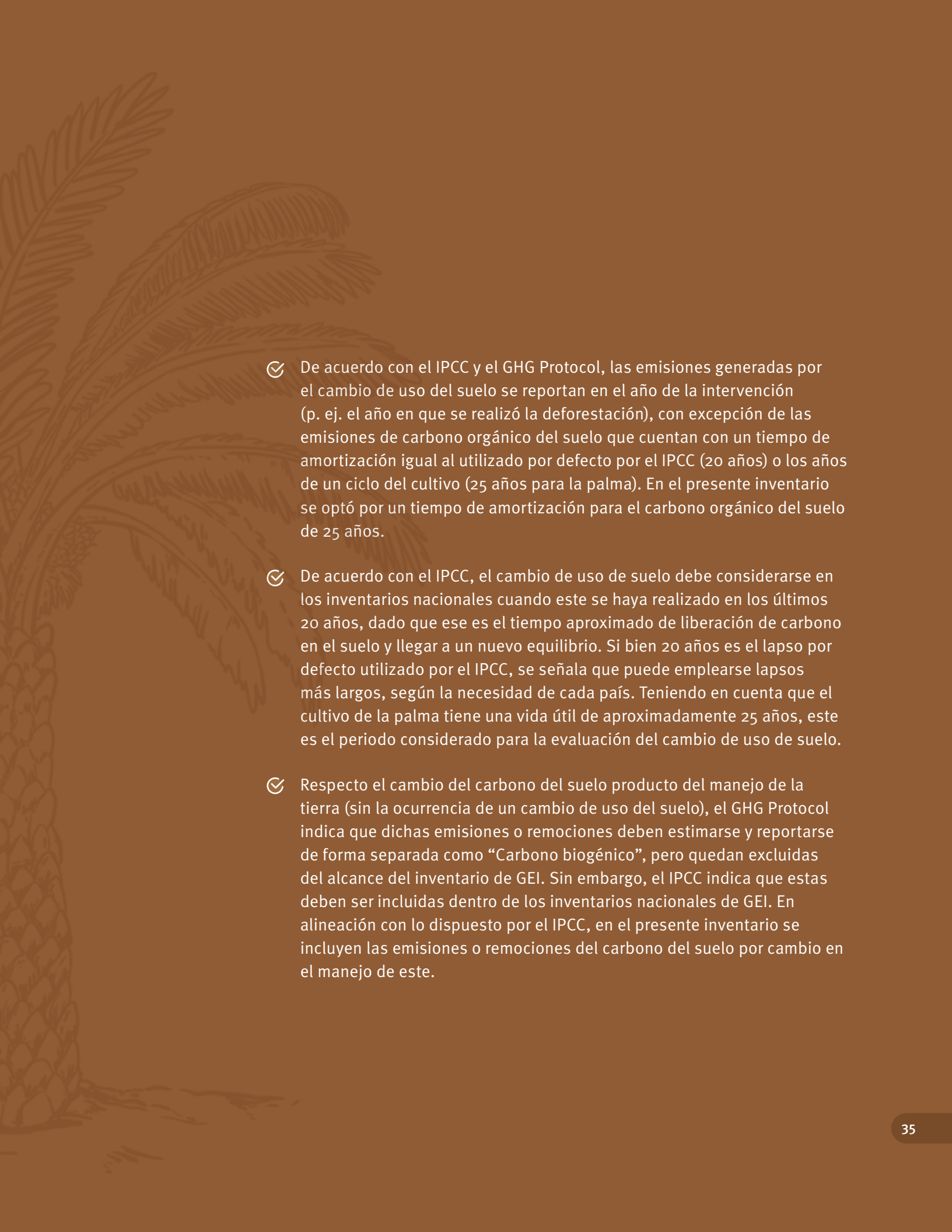
2.7. Calidad de datos

La recolección de la información primaria se realizó, a través de la conformación de grupos focales, con los socios de Cocepu (ver sección Recolección de información). Los datos fueron validados por el personal técnico de Cocepu y contrastada con información bibliográfica del sector. La información de los factores emisión se obtuvo de fuentes secundarias, como el IPCC (versión 2006 y actualizada en 2019), Infocarbono, Ecoinvent, artículos científicos, entre otros.

2.8. Consideraciones

A continuación, se presentan las consideraciones tenidas en cuenta para el análisis de datos:

- ✔ Dentro del balance de GEI, los valores reportados con signo positivo hacen referencia a las emisiones de carbono, mientras aquellos con signo negativo corresponden a remociones/fijaciones de carbono.
- ✔ De acuerdo con el IPCC y el GHG Protocol, las emisiones de CO₂ de origen biogénico (procedentes de la quema o degradación de la biomasa) no son incluidas dentro de la contabilidad de GEI. La única excepción son las emisiones de CO₂ generadas por el cambio de uso del suelo, las cuales sí deben ser incluidas en el inventario de GEI.
- ✔ Respecto a las remociones de carbono por el cultivo de palma, el GHG Protocol indica que estas deben estimarse y reportarse de forma separada como “Carbono biogénico”, pero quedan excluidas del alcance del inventario de GEI. Esto dado que la cantidad de CO₂ absorbido por la palma es equivalente a las emisiones de CO₂ que se liberan durante la oxidación completa de su biomasa, resultando en cero emisiones netas de CO₂ al final de la vida útil del cultivo. En consecuencia, ni las remociones ni las emisiones de carbono del cultivo de palma han sido incluidas en el inventario de GEI.

- 
- ✓ De acuerdo con el IPCC y el GHG Protocol, las emisiones generadas por el cambio de uso del suelo se reportan en el año de la intervención (p. ej. el año en que se realizó la deforestación), con excepción de las emisiones de carbono orgánico del suelo que cuentan con un tiempo de amortización igual al utilizado por defecto por el IPCC (20 años) o los años de un ciclo del cultivo (25 años para la palma). En el presente inventario se optó por un tiempo de amortización para el carbono orgánico del suelo de 25 años.
 - ✓ De acuerdo con el IPCC, el cambio de uso de suelo debe considerarse en los inventarios nacionales cuando este se haya realizado en los últimos 20 años, dado que ese es el tiempo aproximado de liberación de carbono en el suelo y llegar a un nuevo equilibrio. Si bien 20 años es el lapso por defecto utilizado por el IPCC, se señala que puede emplearse lapsos más largos, según la necesidad de cada país. Teniendo en cuenta que el cultivo de la palma tiene una vida útil de aproximadamente 25 años, este es el periodo considerado para la evaluación del cambio de uso de suelo.
 - ✓ Respecto el cambio del carbono del suelo producto del manejo de la tierra (sin la ocurrencia de un cambio de uso del suelo), el GHG Protocol indica que dichas emisiones o remociones deben estimarse y reportarse de forma separada como “Carbono biogénico”, pero quedan excluidas del alcance del inventario de GEI. Sin embargo, el IPCC indica que estas deben ser incluidas dentro de los inventarios nacionales de GEI. En alineación con lo dispuesto por el IPCC, en el presente inventario se incluyen las emisiones o remociones del carbono del suelo por cambio en el manejo de este.

3

**INVENTARIO
DE EMISIONES
DEL MODELO
DE NEGOCIO**





El inventario de emisiones de GEI del MdN incluye las emisiones y remociones causadas por la implementación de las prácticas de mitigación: acuerdo de conservación, uso de RFV como abono y siembra de cobertura leguminosa. Con el fin de identificar el potencial de mitigación del MdN, se realizó adicionalmente el inventario de emisiones de línea base (sin la incorporación de las prácticas de mitigación) para los 104 productores caracterizados en el grupo focal.

Como se muestra en la Tabla 10, las principales diferencias entre la línea base y el MdN en términos de emisiones de GEI están relacionadas con la reducción de emisiones por la no deforestación (conversión de bosques a tierras agrícolas), menor dependencia de insumos químicos e incremento de la reserva de carbono en suelo por la aplicación de abonos orgánicos. Además, en el MdN se propone la renovación de 238,5 ha, mientras que en la línea base se asume esa misma área como nuevas plantaciones donde 54,4 ha fueron establecidas a expensas de la deforestación de bosque. El área de renovación en el MdN posee un paquete de fertilización diferenciado para la fase de mantenimiento, de tal manera se asegure un adecuado crecimiento de la palma.

☰ **Tabla 10.** Principales características del sistema de línea base y el modelo de negocio.

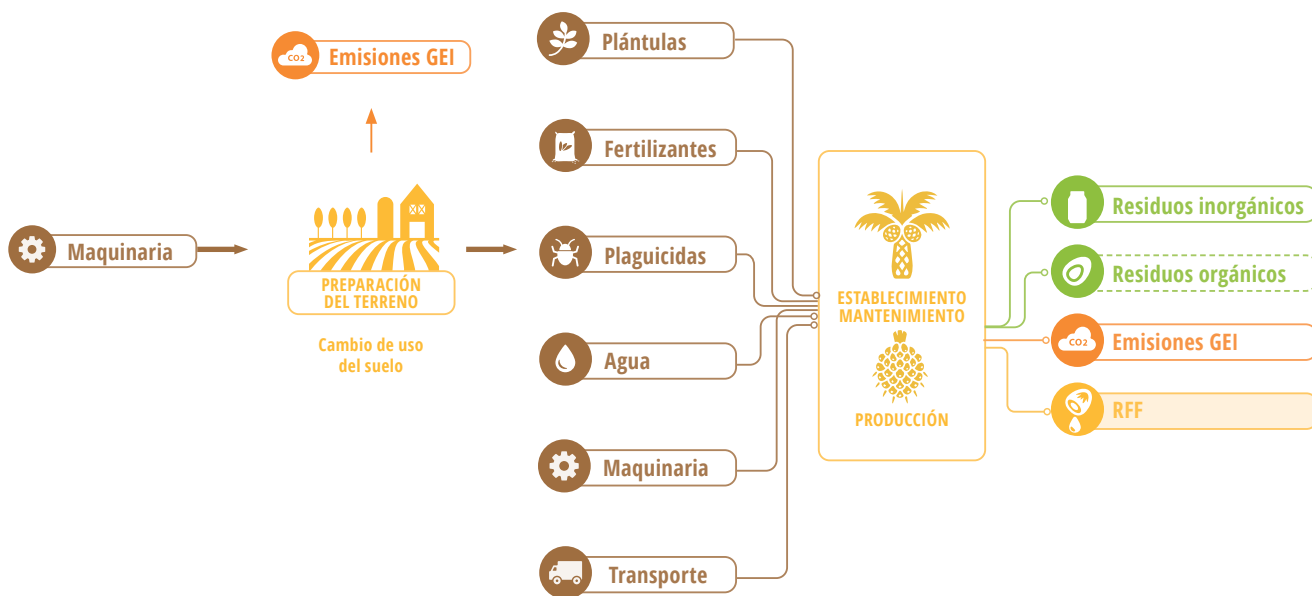
	LÍNEA BASE	MODELO DE NEGOCIO
INFORMACIÓN GENERAL		
No. de agricultores	104	104
Ubicación	Cocepu–Ucayali	Cocepu–Ucayali
Vida útil del cultivo	25 años	25 años
Duración de la etapa de mantenimiento	3 años	3 años
Duración de la etapa de producción	22 años	22 años
Área en mantenimiento (< 3 años)	238,5 hectáreas 216,0 – convencional 22,5 – orgánico	238,5 hectáreas 216,0 – convencional 22,5 – orgánico
Área en producción (3–23 años)	2.168,5 hectáreas 1.978,3 ha convencional 190,2 ha orgánico	2.168,5 hectáreas 1.978,3 ha convencional 190,2 ha orgánico
Área total con palma	2.407,0 hectáreas 2.194,3 ha convencional 212,70 ha orgánico	2.407,0 hectáreas 2.194,3 ha convencional 212,7 ha orgánico
Rendimiento de la palma (RFS)	12.678,2 kg/ha	12.678,2 kg/ha
ACTIVIDADES FUENTE DE EMISIÓN/REMOCIÓN DE GEI		
Uso y cambio de uso del suelo	54,4 ha/año deforestadas Promedio de deforestación anual (2005–2021).	Cero deforestación Ingreso de materia orgánica
Uso de maquinaria y equipos	Motosierra para la preparación del terreno; guadaña para plateo y deshierbe	Motosierra para la preparación del terreno, guadaña para plateo y deshierbe, excavadora para limpieza de zanjas y drenes
Uso de fertilizantes y encalado	Fertilización orgánica y sintética	<ul style="list-style-type: none"> • Fertilización orgánica y sintética • Uso de RFV y leguminosas • Fertilización diferenciada para el área de renovación (283,5 ha).
Manejo de residuos inorgánicos	Reutilización de costales y quema de envases de pesticidas	Reutilización de costales y quema de envases de pesticidas
Manufactura de insumo agrícolas	Manufactura del combustible, fertilizantes y pesticidas	<ul style="list-style-type: none"> • Manufactura del combustible, fertilizantes y pesticidas • Reemplazo de fertilizantes sintéticos que disminuye las emisiones de los GEI por su manufactura.
Transporte de insumo agrícolas	Manufactura del combustible, fertilizantes y pesticidas	<ul style="list-style-type: none"> • Manufactura del combustible, fertilizantes y pesticidas • Reemplazo de los fertilizantes sintéticos disminuye las emisiones de los GEI por su transporte.

En el inventario se recolectó y sistematizó información de las entradas y salidas de cada una de las actividades involucradas en las diferentes fases del cultivo: preparación del terreno, establecimiento y mantenimiento (0 a 3 años) y, producción y cosecha (3 a 25 años). Las actividades emisoras evaluadas fueron: uso y cambio de uso del suelo, uso de fertilizantes y enclado, uso de maquinaria y equipos, manejo de residuos, manufactura y transporte de insumos. La información colectada de cada actividad fuente de emisiones de GEI

se diferencia, además, según el manejo de la parcela, donde el 91,16% del área está bajo manejo convencional y el 8,84% bajo manejo orgánico.

Los resultados se presentarán en las siguientes unidades: i) Emisiones por ha (kg CO₂ eq/ha/año) y ii) Emisiones totales (t CO₂ eq/año). Las emisiones totales corresponden a las emisiones del total del área intervenida (2.407 ha). En la siguiente Figura se presentan las entradas y salidas del sistema:

Figura 5. Diagrama de la etapa de cultivo.



- Entradas al sistema
- RS que salen del sistema
- RS que reingresan al sistema
- Gases de efecto invernadero
- Producto etapa de cultivo

RS: Residuos



3.1. Emisiones por uso y cambio de uso del suelo

Cambio de uso del suelo: deforestación evitada

Con base en el Análisis en el Cambio del Uso del Suelo (LUCA, por sus siglas en inglés), realizado del 2005 al 2021 a los 104 agricultores seleccionados, se identificó un cambio de cobertura de bosque primario o bosque perturbado/secundario a palma de aceite. Dada la disponibilidad de información oficial de deforestación usada en el estudio, se evaluaron los periodos comprendidos entre 2005 a 2007, 2007 a 2009, 2010 a 2014 y 2014 a 2021, encontrando una tasa de deforestación promedio anual de bosque primario de 16,72 ha/año, una tasa de deforestación promedio anual de bosque secundario de 37,72 ha/año y un promedio total anual de deforestación de 54,4 ha/año.

☰ **Tabla 11.** Conversión de tierras forestales (bosque primario o bosque secundario) a palma.

USO PREVIO DEL SUELO	DEFORESTACIÓN – ANÁLISIS LUCA-RSPO (ha) ¹					DEFORESTACIÓN ANUAL ⁴ 2005–2021	DEFORESTACIÓN ESTIMADA ⁵ 1997–2021
	2005–2007	2007–2009	2010–2014	2014–2021	TOTAL 2005–2021		
Bosque primario²	20,07	71,92	75,18	91,95	259,13	16,72	417,94
Bosque perturbado³	80,70	218,88	171,20	113,95	584,72	37,72	943,10
Total (ha)	20,07	71,92	75,18	91,95	259,13	54,44	1.361,04

1. Información extraída del Análisis en el Cambio del Uso del Suelo realizado según la metodología de la RSPO, donde se analizaron cuatro periodos de deforestación entre 2005–2021.
2. Se ha reemplazado la nomenclatura de la RSPO de bosque complejo a bosque primario. De acuerdo con la RSPO, este bosque hace referencia a un bosque estructuralmente complejo con dosel irregular o multiestratificado.
3. Se ha reemplazado la nomenclatura de la RSPO de bosque simplificado a bosque perturbado. De acuerdo con la RSPO, este bosque hace referencia a un bosque estructuralmente simple o degradado con dosel uniforme o de un único estrato. Incluye bosques en regeneración tras una perturbación de gran escala como la tala intensiva o reciente, los daños por viento o incendios (o alguna combinación de estos factores).
4. La deforestación anual se calculó dividiendo la deforestación total entre el periodo de análisis Nov–2005 a May–2021 (15.5 años).
5. La deforestación estimada corresponde a la deforestación acumulada entre 1997–2021. Se calculó multiplicando la deforestación promedio anual por 25 años, que corresponde al periodo de análisis del cambio de uso del suelo del presente inventario de GEI. Este valor se utilizó para la línea base. Para el MdN se calculó la deforestación acumulada entre 1998–2022, considerando cero deforestación en el 2022. El valor resultante fue de 1.306,60 ha.

Los datos del contenido de carbono del uso previo del suelo (bosque primario y bosque perturbado) y del cultivo de palma fueron obtenidos de la revisión de literatura, priorizando aquellos estudios realizados en la región de Ucayali. A continuación, se presentan los valores de carbono considerados en cada cobertura.

☰ **Tabla 12.** Reservas de carbono de diferentes tipos de coberturas.

RESERVA DE CARBONO	TONELADAS DE CARBONO (t C/ha)		
	BOSQUE PRIMARIO ¹	BOSQUE PERTURBADO ²	PLANTACIÓN DE PALMA ³
Biomasa aérea	111,6	71,3	28,6
Biomasa subterránea	31,7	19,8	9,0
Materia orgánica muerta	33,6	22,1	8,5
Carbono orgánico del suelo	71,4	27,7	32,1
TOTAL (t C/ha)	248,3	140,9	78,2

- Bosque primario:** el valor de biomasa aérea es un promedio de los valores reportados para la región de Ucayali en: Valenzuela et al. (2015), Marililey (2013) y Cuellar et al. (2015). El valor de biomasa subterránea se estimó considerando una relación de 0,284 t biomasa subterránea/t biomasa aérea (Refinamiento de las guías 2006 del IPCC, 2019 – Vol. 4. Cap.4. Tabla 4.4). Los valores de materia orgánica muerta y carbono orgánico del suelo se obtuvieron del estudio Cuellar et al. (2015), desarrollado en la región de Ucayali.
- Bosque perturbado:** hace referencia a un mosaico de bosque intervenido, que incluye bosque residual resultante de talas pasadas y, bosque secundario, el cual ha crecido después de periodos largos de barbecho (Smith, 1999 citado por Málaga et al., 2020). Los valores se obtuvieron a partir de ecuaciones alométricas y muestreos in situ en la región de Ucayali del estudio de Málaga et al. (2020).
- Plantación de palma:** los valores corresponden a un cultivo maduro de palma (~ 30 años) en la región Ucayali del estudio de Málaga et al. (2020). Los valores se obtuvieron a partir de ecuaciones alométricas y muestreos in situ.

A partir del promedio anual de deforestación, se calcularon las emisiones correspondientes a la pérdida de biomasa para el año 2021, así como las emisiones de carbono y nitrógeno resultantes de la pérdida de carbono orgánico del suelo con un tiempo de amortización de 25 años. La línea base incluye todas las emisiones por la pérdida de biomasa del bosque (54,44 ha) y de carbono orgánico del suelo que involucra la deforestación acumulada entre 1997–2021 (1.361,04 ha). El MdN, a pesar de no presentar deforestación para el año 2022, incluye las emisiones por la pérdida del carbono del suelo en 1.306,60 ha, producto de la deforestación ocurrida en los últimos 25 años (1998–2022). En la siguiente Tabla se presentan las emisiones de GEI del proceso de cambio de uso de suelo:

☰ **Tabla 13.** Emisiones de GEI por cambio de uso del suelo.

COBERTURA PREVIA	PERDIDA DE C EN BIOMASA (kg C/ha)	PERDIDA DE C EN EL SUELO (kg C/ha)	N MINERALIZADO (kg N/ha)	EMISIONES POR ha (kg CO ₂ eq/ha/año)	EMISIONES TOTALES (t CO ₂ eq/año)
Línea base¹					
Bosque primario	176.924,99	39.300,00	2.620,00	5.571,95	13.411,85
Bosque perturbado	113.200,00	0	0	6.505,10	15.657,96
Modelo de negocio²					
Bosque primario	0	39.300,00	2.620,00	1.023,65	2.463,96
Bosque perturbado	0	0	0	0	0

1. Las emisiones totales de CO₂eq resultan de la multiplicación de la pérdida de C en biomasa por la fracción de área que sufrió deforestación en el año 2021 (0,69% bosque primario y 1,57% bosque perturbado) más la pérdida de C y N del suelo multiplicado por la fracción de área que sufrió deforestación entre 1997–2021 (17,36% bosque primario y 39,18% bosque perturbado) entre 25 años de amortización. El PCG del CO₂ es 1 y el N₂O es 265.
2. Las emisiones totales de CO₂eq resultan de la pérdida de C y N del suelo multiplicado por la fracción de área que sufrió deforestación entre 1998–2022 (16,67% bosque primario y 37,61% bosque perturbado) entre 25 años de amortización. El PCG del CO₂ es 1 y el N₂O es 265.

Como se evidencia en la Tabla anterior, la implementación de los acuerdos cero deforestación como parte del MdN, evita la emisión de 11 t de CO₂eq/ha/año, al pasar de 12.077,05 kg eq a 1.023,65 kg CO₂eq. La intervención en las 2.407 ha que hacen parte del MdN representa una reducción de emisiones de 26.605,86 t de CO₂eq/año.

Variación del carbono orgánico en el suelo por manejo

El ingreso constante de alto contenido de materia orgánica a la parcela, debido al uso de los RFV como abono y la siembra de leguminosas, genera un incremento en el carbono orgánico del suelo. Se asume que esta práctica se mantiene en el largo plazo y por ello el incremento del carbono orgánico en el suelo se da de forma paulatina durante la vida útil del cultivo. Dado que las prácticas de mitigación solo se ejecutan en el MdN, en el escenario de línea base la ganancia de carbono en el suelo es cero.

☰ **Tabla 14.** Incremento del carbono orgánico del suelo por manejo.

	NIVEL DE ACTIVIDAD		GANANCIA DE C	GANANCIA CO ₂ / ha	GANANCIA CO ₂ TOTAL
	LB ¹	MdN ²	MdN	MdN ³	MdN
VARIACION DE CARBONO DEL SUELO-MANEJO	t C/ha	t C/ha	t C/ha	kg CO ₂ eq/ha/año	t CO ₂ eq/año
Carbono orgánico en el suelo	32,10	35,63	-3,53	-517,88	-1.246,55

1. El valor de carbono orgánico del suelo corresponde a un cultivo maduro de palma (~ 30 años) en la región Ucayali del estudio de Málaga et al. (2020), que se obtuvo a partir de muestreos in situ.
2. De acuerdo con el IPCC, el ingreso continuo de alto contenido de materia orgánica en el suelo generaría el incremento del carbono orgánico del suelo en un 11% en un periodo de al menos 20 años.
3. Se ha utilizado un periodo de amortización de 25 años. Este valor resulta de la conversión de C en CO₂ y su división entre 25.

Como se evidencia en la Tabla anterior, el ingreso constante de alto contenido de materia orgánica a la parcela permite incrementar la reserva de carbono en el suelo en 0,52 t CO₂eq/ha/año. La intervención en las 2.407 ha que hacen parte del MdN generarían un incremento del carbono en el suelo del orden de 1.246,55 t de CO₂eq/año.

3.2. Emisiones por uso de maquinaria y equipos

En la siguiente Tabla se presentan los datos de actividad de uso de combustible fósil en la línea base para productores del tipo convencional y productores orgánicos, así como los datos de consumo bajo el escenario de adopción del MdN. En la fase de mantenimiento, en la línea base, el principal gasto de combustible es generado por el uso de motosierra en la preparación del terreno y la guadaña en labores de limpieza y deshierbe. La implementación del MdN incluye la renovación de 283 ha, en las cuales se contempla la adecuación de canales de drenaje que requieren el uso de una excavadora. Dicha maquinaria representa un consumo de aproximadamente 15,85 gal/ha (60 l), incrementando las emisiones por la implementación del modelo. En las fases de mantenimiento y producción, las intervenciones del MdN no generan una modificación en el uso de combustible, siendo el nivel de emisiones el mismo que la línea base.

Al totalizar las emisiones para las 2.407 ha de la intervención, se evidencia que el uso de la excavadora genera un incremento de 37,22 t CO₂eq/año por la implementación del MdN.

Tabla 15. Emisiones de GEI por el uso de combustible en maquinaria y equipos.

MAQUINARIA Y EQUIPOS	NIVEL DE ACTIVIDAD (gal/ha/año)				EMISIONES (kg CO ₂ eq/ha/año)		EMISIONES TOTALES (t CO ₂ eq/año)	
	LB		MdN		LB	MdN	LB	MdN
	CONV	ORG	CONV	ORG				
Preparación del terreno	3,0	1,5	18,8	17,3	2,12	17,58	5,09	42,32
Mantenimiento	4,5	3,0	4,5	3,0	3,23	3,23	7,76	7,26
Producción	4,5	2,0	4,5	2,0	28,80	28,80	69,32	69,32
Subtotal					34,14	49,60	82,18	119,40



3.3. Emisiones por el uso de fertilizantes

A continuación, se presentan los niveles de actividad de la aplicación de fertilizantes y enmiendas (cal) recolectados para la línea base y el MdN tanto para el manejo convencional como el orgánico. El MdN incluye como medidas de mitigación el uso de RFV y leguminosas como fuente de nitrógeno (N), las cuales sustituyen parcialmente el nitrógeno de origen sintético en la fase de producción. Durante la fase de mantenimiento y para el manejo orgánico, el aporte de N de los RFV y leguminosas complementaron la fertilización existente.

En la línea base, en la fase de mantenimiento, el sistema orgánico presenta una aplicación mayor de N y menor de cal con relación al

sistema convencional, mientras que en la fase de producción es el sistema convencional el que muestra un mayor aporte de N y menor de cal. La fertilización en el sistema orgánico corresponde a la aplicación de compost Super Suelo, mientras que en el sistema convencional se emplea urea.

La implementación del MdN representa un mayor ingreso de N en el sistema convencional y orgánico en la fase de mantenimiento en comparación a la línea base, debido al paquete de fertilización propuesto (con un mayor aporte de N) y el complemento con los aportes de los RFV y las leguminosas. En la fase productiva se mantiene la misma tasa de aplicación de N en el MdN respecto a línea base, sin embargo, parte del N aplicado en forma de urea es remplazado por N orgánico proveniente de los RFV y el aporte de leguminosas. En el caso de la cal en el MdN, la renovación de las palmas no considera su aplicación para el manejo convencional.

Aunque en el MdN se genera una mayor tasa de emisiones en la fase de mantenimiento por el incremento en la aplicación de N, en la fase productiva se reducen considerablemente las emisiones al pasar de 927,14 kg CO₂eq/ha/año a 720,80 kg CO₂eq/ha/año en el MdN. Esta reducción se atribuye al remplazo parcial de la fertilización sintética nitrogenada por la aplicación de los RFV y las leguminosas, las cuales tienen un menor factor de emisión para las emisiones directas de N₂O en comparación a la urea. La implementación del MdN en las 2.497 ha priorizadas genera un ahorro de 474,51 t CO₂eq/año.



Tabla 16. Emisiones de GEI por el uso de fertilizantes nitrogenados.

FERTILIZANTES Y ENMIENDAS		NIVEL DE ACTIVIDAD (kg/ha/año)				EMISIONES (kg CO ₂ eq/ha/año)		EMISIONES TOTALES (t CO ₂ eq/año)	
		LB		MdN		LB	MdN	LB	MdN
		CONV	ORG	CONV	ORG				
Mantenimiento	Nitrógeno	5,3	17,1	59,7	57,9	5,60	33,17	13,49	79,84
	Cal	429,0	71,5	0	71,5	18,67	0,32	44,94	0,77
Producción	Nitrógeno	85,1	34,2	85,1	74,2	732,14	525,80	1.762,29	1.265,62
	Cal	429	715	429	715	195,00	195,00	469,37	469,37
Subtotal						951,42	754,29	2.290,09	1.815,60

3.4. Emisiones por manejo de residuos inorgánicos

Las emisiones por residuos inorgánicos corresponden a la disposición de residuos de empaques de fertilizantes, enmiendas y plaguicidas. Los sacos de fertilizantes y enmiendas son reutilizados en la parcela (sin generar emisiones de GEI), mientras que los envases de plaguicidas son quemados. En el MdN se incrementa ligeramente el uso de plaguicidas en la preparación del terreno para la renovación

de las palmas, en comparación con el manejo en la línea base. En consecuencia, en el MdN se genera un mayor volumen de residuos de envases incrementándose las emisiones de GEI. Sin embargo, este incremento solo representa la emisión de 0,37 t CO₂ eq/año en todas las hectáreas priorizadas para el MdN. En la siguiente tabla, se presentan los niveles de actividad de los envases de plaguicidas y sus respectivas emisiones:

☰ **Tabla 17.** Emisiones de GEI por el manejo de residuos.

RESIDUOS	NIVEL DE ACTIVIDAD (kg/ha/año)				EMISIONES (kg CO ₂ eq/ha/año)		EMISIONES TOTALES (t CO ₂ eq/año)	
	LB		MdN		LB	MdN	LB	MdN
	CONV	ORG	CONV	ORG				
Preparación del terreno	0,09	0	0,67	0	0,02	0,18	0,06	0,43
Mantenimiento	0,18	0	0,18	0	0,05	0,05	0,12	0,12
Producción	0,18	0	0,18	0	0,44	0,44	1,06	1,06
Subtotal					0,51	0,67	1,23	1,61



3.5. Emisiones por manufactura de insumos

En ambos sistemas, las emisiones por manufactura de insumos se deben principalmente a la fabricación de fertilizantes y combustible. En el caso del MdN, durante la preparación del terreno se incrementan las emisiones por la manufactura del combustible por el uso de la excavadora para los canales de drenaje. En la fase de mantenimiento, el MdN muestra una mayor

cantidad de emisiones respecto a la línea base, dado que el paquete de fertilización propuesto abarca una mayor cantidad de insumos que lo que actualmente se aplica en el campo. Sin embargo, durante la fase de producción, la manufactura de la urea disminuye significativamente al ser remplazada por los RFV (mulch) y las leguminosas. Este ahorro en la manufactura de insumos sintéticos en la fase de producción representa una disminución en las emisiones al pasar de 809,50 a 570,74 kg CO₂ eq/ha/año por la implementación del MdN. La implementación en el total del área priorizada representa un ahorro en emisiones de 524,32 t CO₂ eq/año.

Tabla 18. Emisiones de GEI por manufactura de insumos.

MANUFACTURA INSUMOS	NIVEL DE ACTIVIDAD (kg/ha/año)				EMISIONES POR ha		EMISIONES TOTALES	
	LB		MdN		LB	MdN	LB	MdN
	CONV	ORG	CONV	ORG	kg CO ₂ eq / ha/año	kg CO ₂ eq / ha/año	t CO ₂ eq / año	t CO ₂ eq / año
Preparación del terreno								
Combustible y aceite	8,58	4,16	60,78	56,36	0,64	0,64	1,54	1,54
Fert. y plaguicidas	1,17	0	8,17	0	1,25	7,85	3,01	18,90
Mantenimiento								
Combustible y aceite	12,49	8,45	12,49	8,45	0,97	0,97	2,33	2,33
Fert. y plaguicidas	906,72	1581,45	480,83	1.581,45	22,73	37,06	54,71	89,20
Bolsas plantines	7,87	7,87	7,87	7,87	8,66	8,66	20,84	20,84
Producción								
Combustible y aceite	12,49	5,64	12,49	5,64	0,34	0,34	0,83	0,83
Fert. y plaguicidas	1.263,55	3.795,35	1.176,74	3.795,35	809,50	570,74	1.948,48	1.373,78
Subtotal					844,09	62626	2.031,74	1.507,42



3.6. Emisiones por transporte de insumos

La estimación de las emisiones por transporte requiere conocer la cantidad de insumos agrícolas consumidos y residuos transportados, así como el tipo de vehículo para el transporte y la ruta recorrida entre el lugar de fabricación/disposición y la parcela. Con el fin de homogenizar los datos, los niveles de actividad del transporte fueron transformados a toneladas de insumo transportadas por un kilómetro.

Al igual que en la manufactura de insumos, en la fase de preparación del terreno, el MdN

incrementa sus emisiones, principalmente, por el combustible empleado en el uso de la excavadora para los canales de drenaje. En la fase de mantenimiento, las emisiones del MdN y la línea base son muy similares, mientras que en la fase productiva las emisiones del MdN son ligeramente superiores. A pesar de que durante la fase productiva se reemplaza una cantidad significativa de urea por los abonos orgánicos (RFV y leguminosas) y la distancia de movilización de estos insumos es menor a la urea (que se importa), la cantidad de RFV transportado es alto (2,79 t/ha) resultando en mayores emisiones para el modelo. La implementación en el total del área priorizada representa una emisión de 608,78 t CO₂eq/año en el MdN, superando en 9,46 t CO₂eq/año a la línea base.



© Neil Palmer / CIAT

Tabla 19. Emisiones de GEI por transporte de insumos.

TRANSPORTE INSUMOS	NIVEL DE ACTIVIDAD (kg/ha/año)				EMISIONES POR ha		EMISIONES TOTALES	
	LB		MdN		LB	MdN	LB	MdN
	CONV	ORG	CONV	ORG	kg CO ₂ eq / ha/año	kg Co ₂ eq / ha/año	t Co ₂ eq / año	t CO ₂ eq / año
Preparación del terreno								
Combustible y aceite	7,09	3,44	50,26	46,61	0,11	0,84	0,27	2,02
Fert. y plaguicidas	21,15	0	26,94	0	0,04	0,12	0,09	0,30
Mantenimiento								
Combustible y aceite	10,12	6,82	10,12	6,82	0,13	0,13	0,31	0,31
Fert. y plaguicidas	1.446,21	1.503,21	2.854,48	1.558,99	15,93	14,89	38,33	35,84
Bolsas plantines	0,16	0,16	0,16	0,16	0,03	0,03	0,07	0,07
Producción								
Combustible y aceite	10,31	4,66	10,31	4,66	1,50	1,50	3,61	3,61
Fert. y plaguicidas	6.576,65	3.415,04	5.217,47	3.415,04	231,25	235,40	556,62	566,62
Subtotal					248,98	252,92	599,31	608,78



4



HUELLA DE CARBONO DEL MODELO DE NEGOCIO



Luego de totalizar las emisiones por fase (preparación del terreno, establecimiento y mantenimiento, producción y cosecha) y por actividad (uso y cambio de uso del suelo, uso de maquinaria, uso de fertilizantes, manejo de residuos, producción de insumos, y transporte), se evidencia que la implementación del MdN genera una reducción marcada en las emisiones totales por hectárea de cultivo de palma de aceite, al pasar de 14.162,64 a 2.195,96 kg CO₂eq/ha/año. Al totalizar el área, para las 2.407 hectáreas priorizadas, se evidencia una reducción del 84% en las emisiones totales de GEI pasando de 34.074,38 t a solo 5.270,21 t CO₂eq/año.

Esta reducción está representada en su gran mayoría por la no deforestación de bosque primario o secundario para el establecimiento de nuevas plantaciones, ya que la firma de los acuerdos de conservación permite bajar a cero la tasa de 54,4 ha/año, que se han venido deforestando en los últimos años en el área priorizada. A pesar de que en la implementación del MdN no se genera un cambio de uso del suelo, el valor de emisiones de 2.463,96 t CO₂eq/año corresponde a la amortización de 25 años de las emisiones de carbono y nitrógeno del suelo resultantes de la pérdida por deforestación en años previos al MdN.

La segunda fuente de emisiones/remociones afectadas por la implementación del MdN es el incremento de la reserva de carbono en el suelo por la aplicación de abonos orgánicos (RFV y leguminosas). Esta práctica genera la captura de 1.246,55 t CO₂eq/año. Adicionalmente, el aporte nutricional de los RFV y las leguminosas (principalmente N) permite la reducción de las emisiones por el uso, manufactura y transporte de urea y otros fertilizantes sintéticos, lo cual representa una reducción en las emisiones de 989,35 t CO₂eq/año.

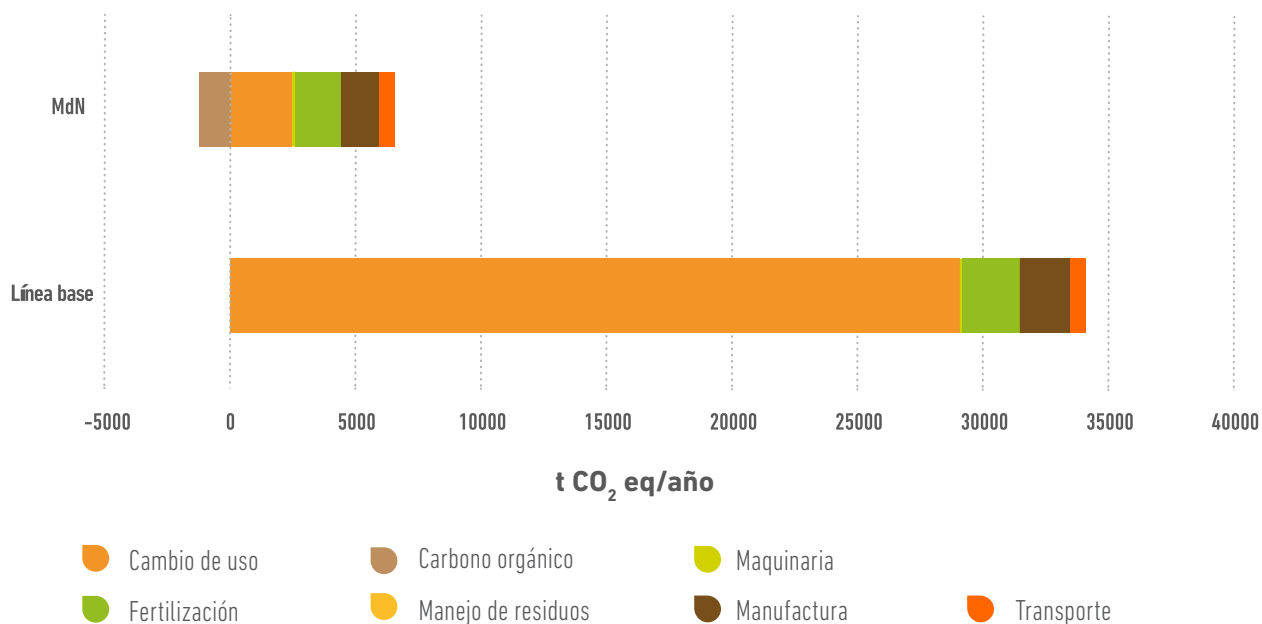
Por otro lado, el MdN también implica ciertas emisiones debido, principalmente, a los trabajos de renovación de palma (uso de la excavadora), aplicación de un paquete de fertilización diferenciado durante la fase de mantenimiento y el manejo de los RFV. Estas prácticas incrementan las emisiones en las actividades de maquinaria,

manejo de residuos inorgánicos y transporte. Sin embargo, su impacto en termino de emisiones de GEI es bajo comparado con la reducción de emisiones que se consigue con la implementación del modelo. El balance final de emisiones del MdN es considerablemente inferior a la línea base.

Tabla 20. Emisiones de GEI totales por la implementación del MdN.

ACTIVIDADES	EMISIONES (kg CO ₂ eq/ha/año)		EMISIONES TOTALES (t CO ₂ eq/año)	
	LB	MdN	LB	MdN
Cambio de uso del suelo	12.077,05	1.023,65	29.069,82	2.463,96
Incremento del carbono en el suelo	0	-517,88	0	-1.246,55
Maquinaria	34,14	49,60	82,18	119,40
Fertilización	951,42	754,29	2.290,09	1.815,60
Manejo de residuos inorgánicos	0,51	0,67	1,23	1,61
Manufactura de insumos	844,09	626,26	2.031,74	1.507,42
Transporte de insumos	248,98	252,92	599,31	608,78
BALANCE TOTAL	14.156,19	2.189,51	34.074,38	5.270,21

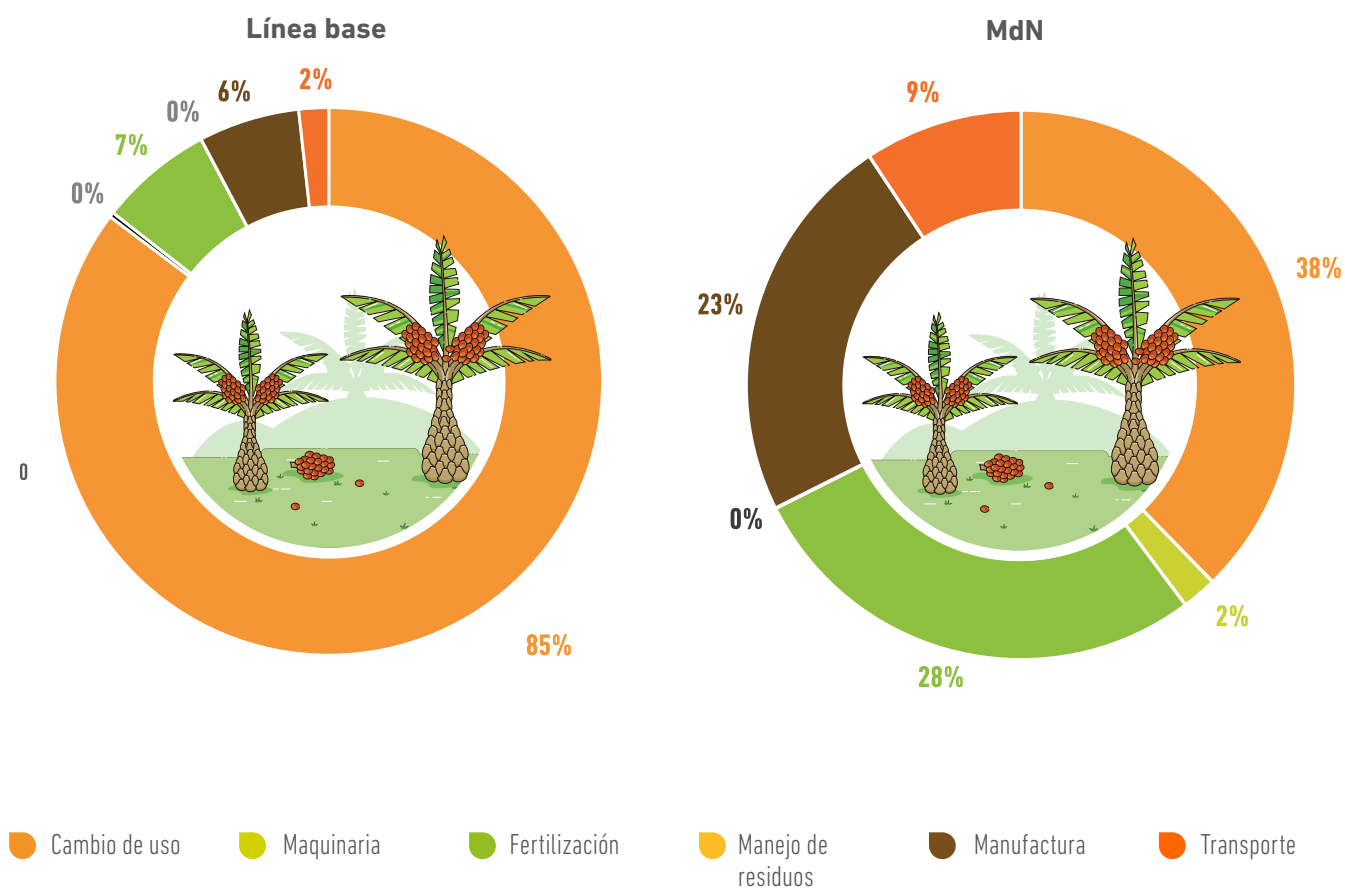
Figura 6. Emisiones y remociones totales de GEI en línea base y MdN.



Comparativamente se evidencia que en la línea base el mayor porcentaje de emisiones corresponde al cambio de uso del suelo (85%). Una vez se elimina la práctica de la deforestación, esta fuente de emisiones solo representa el 38% en el MdN, valor que tiene a disminuir con el paso de los años al ir cumpliéndose el periodo

de amortización de emisiones de carbono del suelo. Las otras fuentes de emisiones, en orden de importancia, fueron la fertilización, la manufactura y el transporte de insumos agrícolas. Como se ha mostrado, el remplazo de los fertilizantes sintéticos contribuye a reducir el uso de fertilizantes.

Figura 7. Participación de cada fuente en el total de las emisiones de línea base y del MdN.



A person wearing an orange shirt is using a machete to cut through a large pile of palm fronds and fruit. The pile is composed of many small, dark, round fruits, likely palm fruits, and is surrounded by dry palm fronds. The background is a dense thicket of green palm leaves.

5 CONCLUSIONES



Con el fin de cuantificar el potencial de mitigación de emisiones de GEI por la implementación del MdN en el cultivo de palma de aceite en el departamento de Ucayali (zonas circundantes al corredor productivo de la Carretera Federico Basadre, a lo largo de las provincias de Padre Abad y Coronel Portillo), se ha realizado un inventario detallado de emisiones y remociones de GEI a manera de línea base con 104 productores priorizados por Cocepu y Olamsa.

El inventario de emisiones de GEI del MdN incluye las emisiones y remociones causadas por la implementación de las prácticas de mitigación: Acuerdo de conservación; uso de RFV como abono; y siembra de cobertura leguminosa. La implementación conjunta de estas prácticas permite una reducción del 84% de las emisiones de GEI en comparación con el escenario de la línea base.

Esta reducción está representada en su gran mayoría por la no deforestación de bosque primario o secundario para el establecimiento de nuevas plantaciones, ya que la firma de los acuerdos de conservación permite bajar a cero la tasa de 54,4 ha/año que se han venido deforestando en los últimos años en el área priorizada.

La aplicación de RFV en forma de mulch y la cobertura de leguminosas permite un incremento de las reservas de carbono en el suelo, generando una captura de 1.246,55 t CO₂eq/año. Adicionalmente, la aplicación de los RFV permite la reducción de las emisiones por el uso, manufactura y transporte de urea y otros fertilizantes sintéticos, lo cual sumado al aporte de N por las leguminosas, representa una reducción en las emisiones de 989,35 t CO₂eq/año.

Sin tener en cuenta las emisiones del cambio de uso del suelo, el sistema productivo convencional cuenta con un gran potencial de reducción de emisiones, gracias a la disminución del uso de fertilizantes sintéticos.

6. Referencias

- Agamuthu P; Broughton WJ. 1985. Nutrient cycling within the developing oil palm–legume ecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 13:111–123.
- Anyaocha KE; Sakrabani R; Patchigolla K; Mouazen AM. 2018. Critical evaluation of oil palm fresh fruit bunch solid wastes as soil amendments: Prospects and challenges. In *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier 136: 399–409. <https://bit.ly/3FUtzwB>
- Baron V; Saoud M; Jupesta J; Rezky Praptantyo I; Tirto Admojo H; Bessou C; Caliman JP. 2019. Critical Parameters in The Life Cycle Inventory of Palm Oil Mill Residues Composting. *Indonesian Journal of Life Cycle Assessment and Sustainability* 3(1):24–41. Recuperado de: <https://bit.ly/3F8vj52>
- Corley RHV; Tinker PB. 2016. *The Oil Palm Fifth edition*. Wiley-Blackwell. 608 p.
- Cuellar J; Salazar E; Dietz J. 2015. Patrón de cambios del carbono almacenado en el ecosistema debido al cambio de uso del bosque tropical en la Cuenca de Aguaytía, Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lima, Perú. 133 p.
- ECOINVENT. Database. Version 3.3 2016. Disponible en: <http://www.ecoinvent.org/database/>
- Elbersen HW; Meesters KPH; Bakker RRC. 2013. Valorization of Palm Oil (Mill) Residues: Identifying and Solving the Challenges. Wageningen UR. 38 p.
- Feuz D; Sckold M. 1990. Typical farm theory agricultural research. Department of Economics Staff Paper Series. 22 p. Recuperado de: <https://bit.ly/3s2kA6D>
- GCF Task Force. 2019. Atacando la deforestación por commodities: es hora de ponerse aburridos. Recuperado de: <https://bit.ly/3KobOGF>
- Guiller KE. 2001. *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*. 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford.
- International Standard Organisation. 2006. ISO 14040: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2005. Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Penman J; Gytarsky M; Hiraishi T; Krug T; Kruger D; Pipatti R; Buendia L; Miwa K; Ngara T; Tanabe K; Wagner F. (eds.). Suiza. 628 p. Recuperado de: <https://bit.ly/3OFCCWd>
- IPCC. 2006. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Eggleston HS; Buendia L; Miwa K; Ngara T; Tanabe K. (eds.). En: *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES), Japan*. Recuperado de: <https://bit.ly/3vv4gNO>
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker TF; Qin D; Plattner GK; Tignor M; Allen A; Boschung J; Nauels A; Xia Y; Bex V; Midgley PM. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p. Recuperado de: <https://bit.ly/3F4IELI>

- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de: <https://bit.ly/3y7j9aW>
- IPCC. 2015. Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://bit.ly/300ij99>
- IPCC. 2019. The 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Recuperado de: <https://bit.ly/3vWVgQV>
- Ivanova Y; Tristán M; Romero M; Charry A; Lema S; Choy J; Velez A; Castro-Núñez A; Quintero M. 2020. Moving towards a palm oil value chain that contributes to the conservation of forests and a reduction in greenhouse gas emissions. CIAT Publication No. 502. International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Cali, Colombia. 144 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/110537>
- Ivanova Y; Lema S; Tristán MC; Sánchez-Choy J; Quintero M; Orjuela F; Castro JP. (2021) Zero Deforestation and Low Greenhouse Gas (GHG) Emissions business model. 1 p.
- Lin CY. 2009. Study on effective utilization of palm oil waste (empty fruit bunch) system in Malaysia. System in Malaysia 3:1-4.
- Málaga N; Hergoualc'h K; Kapp G; Martius C. 2020. Variation in Vegetation and Ecosystem Carbon Stock Due to the Conversion of Disturbed Forest to Oil Palm Plantation in Peruvian Amazonia. Ecosystems 24:351-369.
- Marililey S. 2013. Determinación del stock de carbono en los bosques de la zona propuesta para área de conservación regional Velo de la Novia en la Región Ucayali. Tesis. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016a. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero con año base 2016. Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016b. Guía 1: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero - Sector Energía. Recuperado de: <https://bit.ly/3ONTaew>
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2019. La Gestión Integral del Cambio Climático Por un Perú en Acción frente al Cambio Climático [presentación]. Dirección General de Cambio Climático y Desertificación. Octubre de 2019.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2021. Actualización de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional del Perú para el periodo 2021-2030. 17 p.
- Omar R; Idris A; Yunus R; Khalid K; Aida Isma MI. 2011. Characterization of empty fruit bunch for microwave-assisted pyrolysis. Fuel 90(4): 1536-1544. <https://bit.ly/3FUtzwB>
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2020. Deforestación y degradación. Recuperado de: <https://bit.ly/3LllbYL>
- Valenzuela L; Vásquez R; Rojas R; Villalba MI; Phillips O; López G; Chama V; Monteagudo A; Bellota D; Huillaca Y; Pallqui N. 2015. Línea base para el monitoreo de la vegetación en la Reserva Comunal El Sira. Arnaldoa 22(1): 243-268.
- WRI (World Resources Institute). 2008. GHG Protocol tool for mobile combustion. Versión 2.2. Disponible en: <https://bit.ly/3LswbCZ>



Alianza



Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del Parlamento
de la República Federal de Alemania

IKI
INTERNATIONAL
CLIMATE INITIATIVE



La Alianza de Bioversity Internacional y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) es parte de CGIAR, un consorcio mundial de investigación para un futuro sin hambre.

Bioversity Internacional es el nombre operativo del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

Sede Regional para las Américas
Km 17, Recta Cali-Palmira CP 763537
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia
Tel. (+57) 602 4450000

<https://alliancebioversityciat.org>
www.cgiar.org