

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

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

Alianza



Fomentado por el:



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](http://www.cgiar.org)




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

Hacia una cadena de cacao 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



Fundado por el:  
 Ministerio Federal  
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza  
y Seguridad Nuclear  
  
en virtud de una resolución del Excmo. Consejo  
de la República Federal de Alemania.





## 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

## 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 cacao orgánico del Comité Central con Desarrollo al Futuro de Curimaná (Central Curimaná).

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.

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](mailto:m.a.romero@cgiar.org)

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

Publicación CIAT No. 527

Agosto 2022

Romero M; Pareja P; Tristán MC; Sánchez Choy J; Quintero M. 2022. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de un modelo de negocio sostenible de cacao en la región de Ucayali, Perú. Publicación CIAT No. 527. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 59 p.

Fotos de Portada: © CIAT

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.



# Contenido

1

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
1.1. Objetivo general .....	5
1.2. Actividades propuestas .....	5
1.3. Descripción del modelo de negocio .....	6
1.4. Prácticas de mitigación adoptadas en el modelo de negocio .....	7

2

<b>ENFOQUE METODOLÓGICO .....</b>	<b>10</b>
2.1. Estándares y guías.....	11
2.2. Límite geográfico .....	11
2.3. Límite operacional .....	12
2.4. Límite temporal .....	14
2.5. Recolección de información.....	14
2.6. Cálculo de las emisiones de GEI .....	16
2.7. Calidad de datos .....	30
2.8. Consideraciones .....	30

3

<b>INVENTARIO DE EMISIONES DEL MODELO DE NEGOCIO.....</b>	<b>32</b>
3.1. Emisiones por cambio de uso del suelo .....	36
3.2. Emisiones por uso de maquinaria y equipos .....	40
3.3. Emisiones por el uso de fertilizantes.....	41
3.4. Emisiones por manejo de residuos inorgánicos .....	42
3.5. Fijaciones de carbono por especies forestales.....	43
3.6. Emisiones por manufactura de insumos.....	46
3.7. Emisiones por transporte de insumos.....	47

4

## HUELLA DE CARBONO DEL MODELO DE NEGOCIO

*pág 48*

5

## CONCLUSIONES

*pág 54*

6

## REFERENCIAS

*pág 57*



# Tablas

TABLA 1	Límite operacional del inventario de GEI	13
TABLA 2	Potencial de calentamiento global	16
TABLA 3	Factores de emisión para combustión estacionaria	21
TABLA 4	Composición de combustibles comerciales en Perú	22
TABLA 5	Factores de emisión para emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O	26
TABLA 6	Concentración de nitrógeno de fertilizantes orgánicos	26
TABLA 7	Arreglo agroforestal completo de cacao	27
TABLA 8	Ecuaciones para la estimación de la captura de carbono	28
TABLA 9	Factores de emisión por la manufactura de insumos	28
TABLA 10	Ruta recorrida por tipo de insumo	29
TABLA 11	Distancias recorridas y factores de emisión para el transporte de insumos	29
TABLA 12	Principales características del sistema de línea base y el modelo de negocio	34
TABLA 13	Conversión de tierras forestales a cultivo de cacao (2001–2020)	36
TABLA 14	Reservas de carbono de diferentes tipos de coberturas	38
TABLA 15	Emisiones de GEI por cambio de uso del suelo	39
TABLA 16	Emisiones de GEI por el uso de combustible en maquinaria y equipos	40
TABLA 17	Emisiones de GEI por el uso de fertilizantes	41
TABLA 18	Emisiones de GEI por el manejo de residuos orgánicos	43
TABLA 19	Arreglo agroforestal de cacao	43
TABLA 20	Estimación del carbono fijado por las especies forestales del SAF-cacao	45
TABLA 21	Estimación del CO <sub>2</sub> fijado por los arreglos SAF-cacao	45
TABLA 22	Emisiones de GEI por manufactura de insumos	46
TABLA 23	Emisiones de GEI por el transporte de insumos	47
TABLA 24	Emisiones y remociones de GEI totales en línea base y MdN	50
TABLA 25	Participación de cada fuente en el total de las emisiones de línea base y del MdN	52
TABLA 26	Balance total de emisiones de GEI por unidad de producto en línea base y MdN	53

# Figuras

FIGURA 1	Límite operacional de la parcela de cacao	13
FIGURA 2	Grupos focales con productores de cacao orgánico	15
FIGURA 3	Colecta de datos de actividad en cada fase del cultivo	15
FIGURA 4	Monitoreo de deforestación en área de influencia de las parcelas de cacao	17
FIGURA 5	Diagrama de la etapa de cultivo	35
FIGURA 6	Conversión de tierras forestales a cultivo de cacao (2001–2020)	37
FIGURA 7	Emisiones y remociones totales de GEI en línea base y MdN	51





# 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 y 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 (USCUISS) (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 GgCO<sub>2</sub> eq, 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 GgCO<sub>2</sub> eq). 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 GgCO<sub>2</sub> 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 cinco áreas prioritizadas donde las acciones del sector

uso de suelo y cambio de uso de suelo (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 fertilizantes orgánicos se logren las metas de mitigación del sector a nivel nacional (MINAM, 2019).

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 del cacao 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). El MdN se trabajó con los productores de cacao orgánico del Comité Central con Desarrollo al Futuro de Curimaná (Central Curimaná), ubicado en la región de Ucayali.

Con el fin de cuantificar el potencial de mitigación de emisiones de GEI por la implementación del MdN, se realizó un inventario detallado de emisiones y remociones de GEI con una línea base de 40 productores prioritizados por la Central Curimaná, así como el inventario de GEI con la adopción de las prácticas propuestas en el MdN.

El presente informe ha sido elaborado en el marco del proyecto “Modelos de negocios para abordar los motores de la deforestación en Perú”, liderado por la Alianza de Bioversity 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, este proyecto 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 cacao, libre de deforestación y bajo en emisiones de carbono de los productores de cacao orgánico de la Central Curimaná en la región de Ucayali, Perú.

## 1.2. Actividades propuestas

Las actividades propuestas en el presente análisis incluyen:

- Identificación de los productores prioritizados 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 cacao hasta la obtención de cacao seco bajo las condiciones productivas de la región para los productores prioritizados.
- Generación de escenarios de mitigación establecidos en el MdN y cuantificación de las emisiones y remociones del cultivo de cacao en dichos escenarios.

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 la provincia de Padre Abad.

Este documento presenta el enfoque metodológico empleado en la colecta de información de los datos de actividad con los productores prioritizados en los grupos focales y el análisis de la información para el establecimiento de la línea base del inventario de GEI. 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 contiene 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 la Central Curimaná. De forma paralela, se evaluaron diferentes estrategias para mejorar la productividad y asegurar el acceso a los mercados. De este trabajo en conjunto y con el objeto de encontrar un equilibrio entre el aspecto económico y el ambiental, se seleccionaron 40 socios de la Central Curimaná, quienes cuentan con un manejo orgánico del cacao.

El sistema orgánico es considerado un sistema bajo en emisiones a nivel de área (dadas las limitaciones en el uso de productos químicos) y cuenta con un mercado diferenciado a nivel comercial. De esta manera, el sistema de cacao orgánico se consideró el escenario para la línea base (sistema de producción actual), mientras que el MdN adiciona al sistema actual determinadas mejoras productivas y prácticas de mitigación.

El detalle de los dos sistemas productivos se presenta en la sección Inventario de emisiones de GEI; ambos 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

Con base en los análisis de emisiones de GEI en tres diferentes tipologías productivas en la región de Ucayali (tradicional, orgánico y tecnificado), se estableció que las prácticas de manejo de cultivo para la mitigación del cambio climático deben estar orientadas principalmente 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 los 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 cinco prácticas de manejo del cultivo. Con base en el impacto en la reducción de emisiones, mejor relación costo beneficio y potencial de adopción, fueron seleccionadas las prácticas de: i) Acuerdos cero deforestación e ii) implementación de sistemas agroforestales.

Es importante resaltar que al trabajar con una asociación de agricultores de cacao orgánico como escenario de línea base, las estrategias de mitigación relacionadas a la fertilización no pudieron ser incluidas. En consecuencia, se diseñó un MdN que asegure la no deforestación, incremente las reservas de carbono mediante su secuestro y almacenamiento en los sistemas agroforestales, y aumente el rendimiento de la parcela. Estas prácticas fueron incorporadas en el MdN y se describen a continuación:





## Promover la siembra de nuevas áreas de cacao en zonas ya intervenidas

En el caso del cultivo de cacao, 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 aproximadamente 248,4 t C. Este impacto puede ser considerablemente mayor si se evita la intervención de suelos orgánicos o turberas, los cuales pueden contener hasta 700 t C/ha.

Posterior a la realización de prácticas que reduzcan emisiones de las plantaciones de cacao, es importante implementar prácticas que permitan compensar las emisiones restantes. Algunas actividades para compensar dichas emisiones consiste en el establecimiento de

áreas de conservación de bosques o recuperación de este dado su alto potencial de fijación de carbono, permitiendo a su vez la protección de la biodiversidad en la región.

## Implementación de sistema agroforestales de cacao

Los sistemas agroforestales (SAF) consisten en la combinación de árboles forestales con cultivos. Así, el mayor potencial de mitigación de GEI de estos sistemas está relacionado al secuestro y almacenamiento de carbono de los árboles leñosos (Nair et al., 2009). Adicionalmente, los sistemas agroforestales pueden desempeñar un papel importante en la mejora de la calidad del suelo, a través de la fijación de nitrógeno, reducción de la erosión del suelo, aporte de nutrientes por medio de la hojarasca y la recuperación de nutrientes de suelos más profundos (Hartemink, 2003).



Díaz et al. (2016) en la localidad de San Martín (Perú) reportó una acumulación de carbono en un sistema de monocultivo de cacao de 72,91 t C/ha (densidad de siembra 3x3), mientras que otros autores han encontrado arreglos agroforestales de cacao con contenido de carbono de 111,1 y 131,1 t C/ha en Ucayali y Huánuco, respectivamente (con la misma densidad de siembra de cacao) (Pocomucha et al., 2016; Ramírez et al., 2014). En Latinoamérica, dependiendo del arreglo, las especies forestales incorporadas, la edad y las condiciones ecológicas, el contenido de carbono en los arreglos agroforestales de cacao fluctúan entre 43 y 131,1 t C/ha (plantaciones  $\geq$  7 años) (Callo-Concha et al., 2002; Alvarado, 2008; Ortiz et al., 2016; Cuellar et al., 2015; Díaz et al., 2016; Marín et al., 2016; Pocomucha et al., 2016; Ramírez et al., 2014; Zavala et al., 2018).

Por otro lado, respecto al rendimiento del cacao en sistemas agroforestales en comparación con los sistemas de monocultivo, se han reportado resultados tanto favorables (Jacobi et al., 2013) como no favorables (Schneider et al., 2016). No obstante, diferentes autores coinciden en señalar una mayor resiliencia de los sistemas agroforestales, donde la diversidad de productos puede contribuir a la seguridad alimentaria y la disminución de riesgo del agricultor (Jacobi et al., 2013; Marín et al., 2016; Schneider et al., 2016). Además, de considerarse el rendimiento acumulado de todos los productos cosechados en el sistema agroforestal, este puede ser superior al obtenido únicamente con el sistema de cacao en monocultivo (Schneider et al., 2016).

La implementación del sistema agroforestal en el MdN utilizó un arreglo teórico propuesto por la Oficina de las Naciones Unidas Contra las Drogas y el Delito (UNODC) para las regiones cacaoteras en Perú (UNODC y DEVIDA, 2014). Para las áreas en fase de mantenimiento se optó por la instalación de un arreglo de 250 árboles forestales (SAF-completo), mientras que para las plantaciones en producción un arreglo con 134 árboles forestales (SAF-linderos).





# 2

## ENFOQUE METODOLÓGICO



### 2.1. Estándares y guías

El inventario de GEI del sistema productivo del cacao 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 Agrícola del Protocolo de GEI: “Interpretación del estándar de contabilidad e Informes corporativos para el sector agrícola” (GHG Protocol, por su abreviación en inglés) (WRI, 2008). Los protocolos de gases de efecto invernadero 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). 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 de 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 cacao seco es específico de la asociación de productores del Comité Central con Desarrollo al Futuro de Curimaná (Central Curimaná), ubicada en el distrito de Curimaná, provincia de Padre Abad del departamento de Ucayali, cuya zonificación ecológica corresponde al bosque húmedo tropical.



La Central Curimaná es una pequeña organización de productores de cacao orgánico que cuenta con 142 socios, de los cuales se seleccionaron 40 para la propuesta del MdN bajo en carbono. Los 40 socios ocupan un área total de 711,6 ha, de las cuales 148 ha están destinadas al cultivo de cacao. En consecuencia, el inventario de GEI y el análisis de cambio de uso de suelo está enfocado en este grupo de agricultores seleccionados. Como parte del proyecto, se georreferenciaron los predios de los 40 agricultores seleccionados, información que fue utilizada para calcular el área total y el área con cultivo de cacao de cada uno respectivamente.

En el presente estudio, se asume la parcela de cacao como la unidad de análisis, reportando los resultados en las siguientes unidades: i) Emisiones por ha (kg CO<sub>2</sub> eq/ha/año), ii) Emisiones totales del área de intervención del MdN (t CO<sub>2</sub> eq/año) y, iii) Emisiones totales por unidad de producto (kg CO<sub>2</sub> eq/kg de cacao seco). 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 cacao. 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 del GHG Protocol 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. En el presente estudio, las remociones por las especies forestales del sistema SAF-cacao sí han sido incluidas en el inventario (ver sección de Consideraciones).

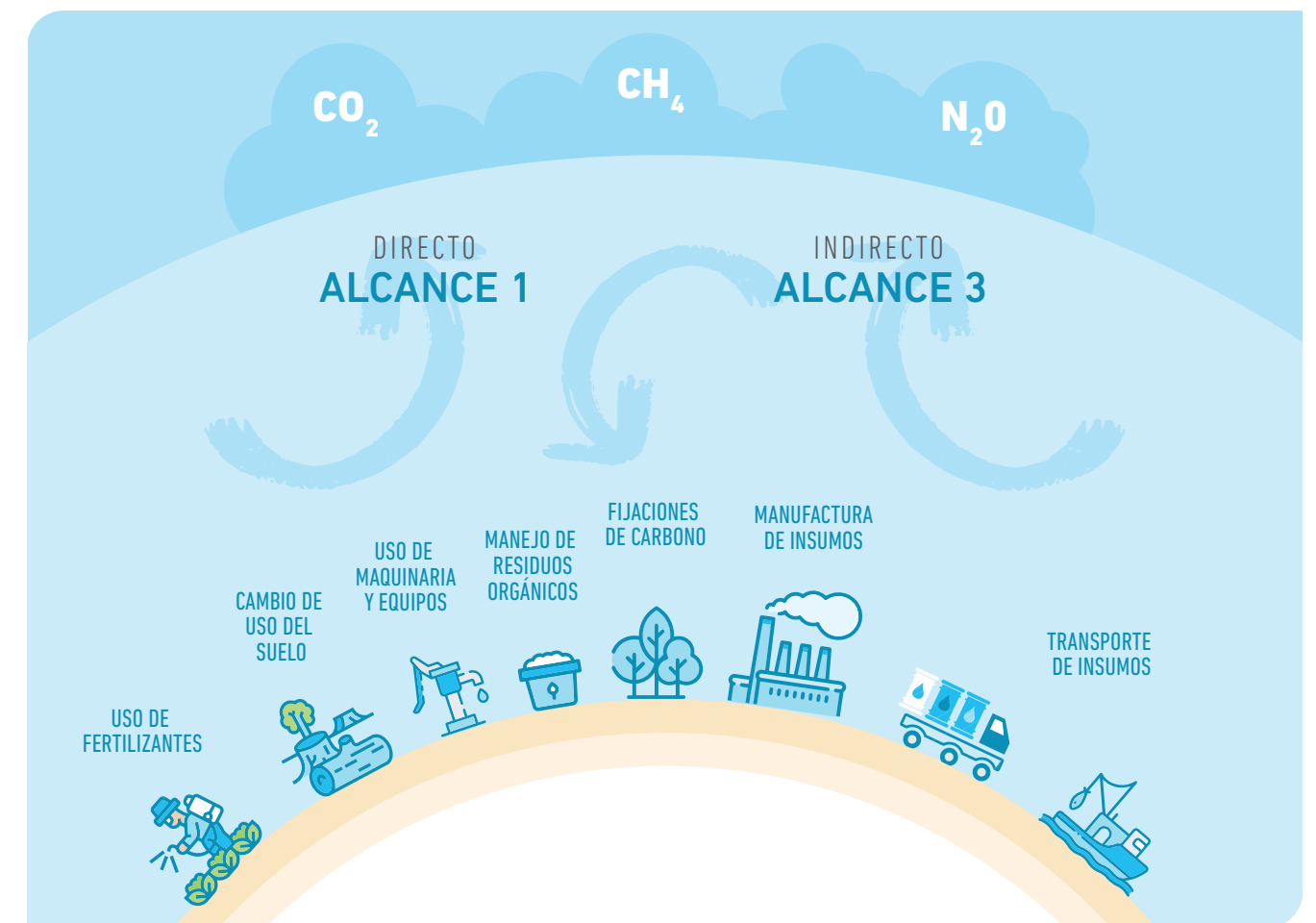
De acuerdo con los estándares y protocolos, la contabilidad de GEI de Alcance 1 y 2 son de carácter obligatorio, mientras que el inventario y reporte del Alcance 3 es de carácter opcional. A continuación, se presentan las fuentes de emisión categorizadas según cada uno de los alcances y GEI resultantes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

Tabla 1. Límite operacional del inventario de GEI.

ALCANCE	FUENTES DE EMISIÓN	GASES DE EFECTO INVERNADERO		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Alcance 1	Cambio de uso del suelo	X		X
	Uso de maquinaria y equipos	X	X	X
	Uso de fertilizantes			X
	Manejo de residuos orgánicos			X
	Fijación de carbono por especies forestales <sup>a</sup>	X		
Alcance 3	Manufactura de insumo agrícolas	X	X	X
	Transporte de insumo agrícolas	X	X	X

a. Carbono fijado por las especies forestales del arreglo agroforestal del modelo de negocio.

Figura 1. Límite operacional de la parcela de cacao.



## 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.

## 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 orgánicos de la Central Curimaná y con su apoyo se recolectó la información de todas las actividades que son fuente de emisión de GEI en el sistema productivo del cacao. 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 define 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 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, un grupo de agricultores orgánicos de la Central Curimaná constituyó el grupo focal a partir del cual se caracterizó la parcela típica orgánica.

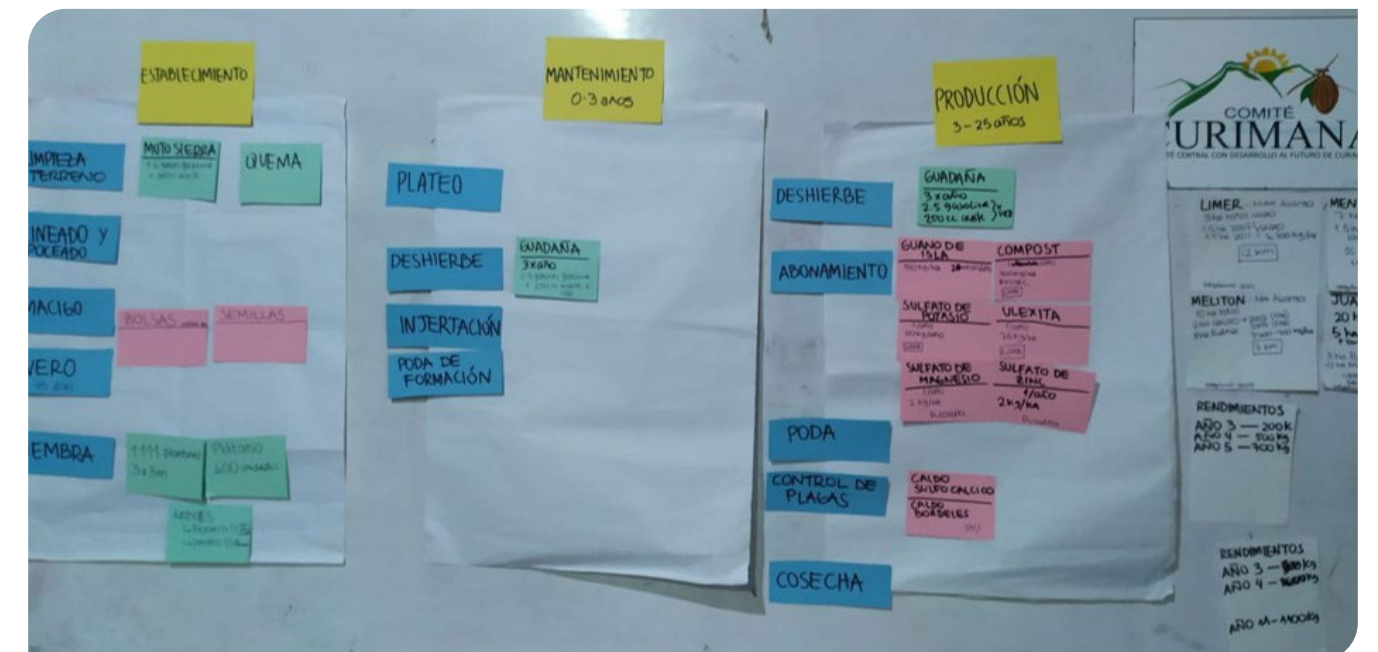
**Identificación de fases productivas:** Junto con los productores seleccionados y técnicos se determinaron tres fases del cultivo: establecimiento del cultivo (desde el cambio de uso del suelo hasta la siembra de árboles), fase de mantenimiento (0 a 2 años) y fase productiva y cosecha (2 a 25 años).

Figura 2. Grupos focales con productores de cacao orgánico.



**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. abonos, enmiendas 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 23 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 concedores, 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 CO<sub>2</sub>eq

$$Emisiones_{CO_2eq} = Nivel\ de\ Actividad * Factor\ de\ emisión * Potencial\ de\ calentamiento$$

**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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> durante el mismo periodo, permitiendo que el impacto de los GEI se exprese en una única unidad: CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>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 (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Para efectos del presente inventario y dada la naturaleza del sistema productivo evaluado, el análisis se centró en el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

Tabla 2. Potencial de calentamiento global.

NOMBRE COMÚN INDUSTRIAL	FÓRMULA QUÍMICA	PCG PARA 100 AÑOS
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	28 o 30 <sup>a</sup>
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	265

a. 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 cacao. El diferenciarlas ayuda a reconocer el grado de intervención y control que posee el agricultor sobre las fuentes de GEI.

## Cambio de uso del suelo

### Conversión de tierras forestales a cacao: 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 semi naturales 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 cacao 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 a 1997 no se considera en el análisis. Para el MdN, cuya implementación se asume en el año 2022, el periodo de evaluación es de 1998–2022.

A partir de la geolocalización de las parcelas de los agricultores y el uso de la herramienta Global Forest Watch, se pudo obtener el historial del cambio de uso del suelo de los 40 agricultores seleccionados durante el periodo 2001–2020. Con el objeto 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 las parcelas de cacao.





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 tiempo de amortización de 25 años. En este último caso, ya que solo se cuenta con información oficial de deforestación a partir del año 2001, se usó el valor promedio de deforestación desde 2001 hasta el 2020 para los años faltantes de la línea base y el MdN.

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 cacao). 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:**

- $\Delta C_{TTA}$  = variación de las reservas de carbono en tierras convertidas en tierras agrícolas, t C año.
- $\Delta C_{TTAB}$  = 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/año\*.
- $\Delta C_{TTASuelo}$  = 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:**

- $\Delta C_{TTAB}$  = variación de las reservas de carbono en la biomasa 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/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.

**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 CO<sub>2</sub>.

\* 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.

\* 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 considera ni las remociones ni emisiones del árbol de cacao, se excluyó de la ecuación el carbono por un año de crecimiento de la planta.



Los datos del contenido de carbono en la biomasa ( $C_{\text{Después}}$  y  $C_{\text{Antes}}$ ) y el suelo ( $\text{COS}_o$  y  $\text{COS}_{o-T}$ ) 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 cacao: 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  $\text{N}_2\text{O}$ . La metodología para la estimación de las emisiones

directas e indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  se describe en detalle en la sección Uso de fertilizantes (metodología para estimaciones  $\text{N}_2\text{O}$  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; por esto, se usó la ecuación extraída del Volumen 4: Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2006).

**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 suelo de bosque a tierras agrícolas.

**Uso de maquinaria y equipos**

Las emisiones por el uso 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 en el Volumen 2: Energía, se empleó la siguiente ecuación:

**Ecuación 6.** 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. Para el  $\text{CO}_2$  se utilizó el valor de 1;  $\text{CH}_4$  el valor de 30 para la fracción de combustible fósil y 28 para la fracción de etanol/biodiésel;  $\text{N}_2\text{O}$  el valor de 265 (ver Tabla 2).

**Tabla 3.** Factores de emisión para combustión estacionaria.

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

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

b. 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 7.** Consumo de combustible.

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

**Donde:**

- $\text{Consumo}_{\text{combustible}}$  = Consumo de combustible, TJ/año
- $\text{Consumo}_{\text{combustible en gal}}$  = Consumo de combustible, galones/año
- $\text{PCN}$  = Poder calorífico neto o inferior del combustible, TJ/Gg
- $\rho$  = Densidad del combustible, kg/l
- $\text{FC}$  = Factor de conversión de unidades. 1 gal = 3.7854 l; 1 Gg = 10<sup>6</sup> 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 y 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 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 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 CO<sub>2</sub> 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 CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O 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**

Uno de los GEI generados en mayor volumen en el sector agrícola es el N<sub>2</sub>O, 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 N<sub>2</sub>O 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 NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>, los cuales se depositan junto con sus subproductos NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sobre la superficie del suelo para posteriormente liberarse como N<sub>2</sub>O; y (ii) lixiviación: parte del N inorgánico del suelo gestionado, principalmente como NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se pierde por escurrimiento o lixiviación y posteriormente un porcentaje se libera como N<sub>2</sub>O (IPCC, 2006).

El uso de fertilizantes nitrogenados, en consecuencia, es una fuente de emisión de N<sub>2</sub>O, 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 N<sub>2</sub>O de suelos gestionados, la misma que incluye además las emisiones por los aportes de residuos agrícolas, 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) (IPCC, 2006). En el presente estudio, las emisiones de N<sub>2</sub>O consideradas son las resultantes del uso de fertilizantes orgánicos (compost y guano de isla) que se declaran en esta sección Uso de fertilizantes, el nitrógeno mineralizado por la pérdida de carbono del suelo que se ha contabilizado en la sección Cambio de uso del suelo y los aportes de residuos agrícolas al suelo que se incluyen en la sección Manejo de residuos orgánicos.

Todas las ecuaciones empleadas para el cálculo de las emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O han sido extraídas del Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra de las Directrices del IPCC (2006), aunque en algunos casos estas han sido simplificadas:

**Ecuación 8.** Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de suelos gestionados.

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

**Donde:**

- $N_2O_{\text{directas}}$  = cantidad anual de óxido nitroso liberado, kg N<sub>2</sub>O/año.
- $N_2O-N$  = cantidad anual de nitrógeno aplicado a través de la fertilización sintética (F<sub>SN</sub>), fertilización orgánica (F<sub>ON</sub>), residuos de cultivos (F<sub>CR</sub>), deposición de orina y heces (F<sub>PRP</sub>) o aquel se mineraliza por la pérdida de carbono del suelo (F<sub>SOM</sub>), kg N<sub>2</sub>O-N/año.
- $FE_N$  = factor de emisión, kg N<sub>2</sub>O-N / kg de N aplicado.
- $44/28$  = valor de conversión de las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O (peso molecular de N<sub>2</sub>O y el N<sub>2</sub>).



El factor de emisión utilizado fue de 0,006 kg N<sub>2</sub>O-N / kg de N aplicado, el cual se usó para todos los aportes de N procedentes de enmiendas orgánicas, residuos agrícolas y nitrógeno mineralizado de la descomposición de la materia orgánica del suelo en climas húmedos. El factor de emisión fue extraído de la actualización de las directrices del IPCC, Volumen 4, Capítulo 11, Tabla 11.1 (IPCC, 2019).

Respecto al cálculo de las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por deposición atmosférica de N volatilizado, este incluye únicamente los aportes de nitrógeno de los fertilizantes sintéticos u orgánicos. 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 y residuos de cultivos que se mineraliza por la pérdida de carbono del suelo. A continuación, se presentan las ecuaciones para las emisiones indirectas:

**Ecuación 9.** Emisiones indirectas N<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O<sub>(ATD)</sub>-N = cantidad anual de N<sub>2</sub>O-N producido por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados, kg N<sub>2</sub>O-N/año.
- N<sub>2</sub>O<sub>(ATD)</sub> = cantidad anual de N<sub>2</sub>O producido por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados, kg N<sub>2</sub>O/año.
- F<sub>SN</sub> = cantidad anual de N de fertilizante sintético aplicado a los suelos, kg N/año.
- Frac<sub>GASF</sub> = fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>, kg N volatilizado/kg de N aplicado (ver Tabla 5).
- F<sub>ON</sub> = 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<sub>PRP</sub> = cantidad anual de N de orina y estiércol depositada por los animales de pastoreo, kg N/año.
- Frac<sub>GASM</sub> = fracción de N de materiales de N orgánico (F<sub>ON</sub>) y N de orina y heces depositada por animales de pastoreo (F<sub>PRP</sub>) que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>, kg N volatilizado kg de N aplicado (ver Tabla 5).
- FE<sub>v</sub> = factor de emisión correspondiente a las emisiones de N<sub>2</sub>O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua, kg N<sub>2</sub>O-N/(kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizado) (ver Tabla 5).
- 44/28 = valor de conversión de las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O (peso molecular de N<sub>2</sub>O y el N<sub>2</sub>).

**Ecuación 10.** Emisiones indirectas N<sub>2</sub>O producidas por lixiviación y escurrimiento.

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

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

**Donde:**

- N<sub>2</sub>O<sub>(L)</sub>-N = cantidad anual de N<sub>2</sub>O-N producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, kg N<sub>2</sub>O-N/año.
- N<sub>2</sub>O<sub>(L)</sub> = cantidad anual de N<sub>2</sub>O producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, kg N<sub>2</sub>O/año.
- F<sub>SN</sub> = cantidad anual de N de fertilizante sintético aplicado a los suelos, kg N/año.
- F<sub>ON</sub> = 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<sub>CR</sub> = cantidad anual de N de residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N, kg N/año.
- F<sub>PRP</sub> = cantidad anual de N de orina y estiércol depositada por los animales de pastoreo, kg N/año.
- F<sub>SOM</sub> = cantidad anual de N mineralizado por la pérdida de carbono del suelo, kg N/año.
- FE<sub>L</sub> = factor de emisión para emisiones de N<sub>2</sub>O por lixiviación y escurrimiento de N, kgN<sub>2</sub>O-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<sub>2</sub>O. Sin embargo, en las emisiones por volatilización se usó el FE para clima húmedo (0,014) y el FracGASM de fertilizantes orgánicos (0,21). En el caso de las emisiones por lixiviación, no hay diferenciación según la fuente de emisión.



**Tabla 5.** Factores de emisión para emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O.

FACTOR DE EMISIÓN POR VOLATILIZACIÓN Y LIXIVIACIÓN	VALOR POR DEFECTO	VALOR DESAGREGADO	
FE <sub>v</sub> [volatilización y redeposición de N], kg N <sub>2</sub> O-N (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N volatilizado)-1	0,010	Clima húmedo	0,014
		Clima seco	0,005
FE <sub>l</sub> [lixiviación/escurrimiento], kg N <sub>2</sub> O-N (kg N lixiviación/escurrimiento)-1	0,011		
FracGASF [Volatilización de fertilizante sintético], (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N) (kg N aplicado)-1	0,11	Urea	0,15
		A base de amonio	0,08
		A base de nitrato	0,01
		A base de nitrato de amonio	0,05
FracGASM [Volatilización de todos los fertilizantes de N orgánicos aplicados, y de estiércol y orina depositados por animales en pastoreo], (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N) (kg N aplicado o depositado)-1	0,21		
FracLIXIVIACIÓN-(H) [pérdidas de N por lixiviación/escurrimiento 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: IPCC (2019). Vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use, Cap. 11, Tabla 11.3.

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 para el compost y guano de isla, de acuerdo con la información especificada en sus fichas técnicas:

**Tabla 6.** Concentración de nitrógeno de fertilizantes orgánicos.

TIPO DE FERTILIZANTE	% DE N
Guano de isla	12%
Compost-FOSAC	3,7%

Finalmente, las emisiones de N<sub>2</sub>O 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 CO<sub>2</sub>eq.

### Manejo de residuos orgánicos

El cálculo de las emisiones para el manejo de residuos orgánicos se enfocó en la disposición de las cáscaras de cacao, las cuales representan el mayor residuo de cosecha. Las emisiones de N<sub>2</sub>O resultantes de la introducción de residuos de cosecha en el suelo se calculó siguiendo la metodología para las estimaciones de N<sub>2</sub>O de suelos gestionados, la cual fue descrita en la sección Uso de fertilizantes. De esta manera, para estimar las emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O se aplicaron las Ecuaciones 8 y 10. Las emisiones por volatilización no se consideran en el caso de residuos de cosecha.

Para el cálculo de la cantidad de nitrógeno que las cáscaras de cacao aportaron al suelo (F<sub>CR</sub>), se consideró una relación de 10 kg cáscara peso húmedo/kg de cacao seco (Khanahmadi et al., 2016; Mansur et al., 2014), una humedad del 80% de la cáscara de cacao (Campos-Vega et al., 2018) y un porcentaje de nitrógeno en materia seca de 1,2% (Hougni et al., 2021). Por lo tanto, a partir de la cantidad de cacao seco producido por hectárea, se estimó la cantidad de residuos de cáscaras y su respectivo aporte de nitrógeno al suelo.

### Fijaciones de carbono por especies forestales

Para la estimación de las fijaciones de carbono de las especies forestales que forman parte del sistema agroforestal del cacao (en el modelo de negocio), se estableció un arreglo teórico con base a lo propuesto por UNODC & DEVIDA (2014) para las regiones cacaoteras del Perú.

Dada las diferencias de edades de los cultivos de cacao en los 40 agricultores seleccionados, se optó por aplicar el arreglo completo de SAF-cacao (134 árboles forestales de rápido crecimiento + 80 árboles forestales de lento crecimiento + 36 guabas) a las áreas que se encontraban en fase de mantenimiento y el SAF-linderos (134 árboles forestales de rápido crecimiento) a las áreas en producción. En la siguiente Tabla se muestra el arreglo agroforestal teórico (SAF-cacao completo) y las especies finalmente seleccionadas, las cuales ya se vienen usando por los agricultores de cacao en Ucayali.

**Tabla 7.** Arreglo agroforestal completo de cacao.

TIPO DE ÁRBOLES	DISTANCIAMIENTO	NO./HA	ESPECIES SELECCIONADAS
Árboles de cacao	3 x 3	1.111	
Árboles forestales de rápido crecimiento (linderos)	3	134	Capirona y Bolaina
Árboles forestales de lento crecimiento (interior)	18 x 9	80	Tornillo y Shihuahuaco
Árboles frutales – guaba	18 x 18	36	Guaba
<b>Total de árboles – SAF cacao</b>		<b>1.361</b>	

A partir de este arreglo, se estimó la captura de carbono por un periodo de 25 años coincidiendo con la vida útil del cacao y se calculó la fijación anual por hectárea de las especies forestales del arreglo. Para dicha estimación se usaron diferentes ecuaciones alométricas, a través de las cuales se estimó el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la biomasa aérea (BA) de las especies forestales a la edad de 25 años. Las ecuaciones utilizadas se presentan en la siguiente Tabla:



**Tabla 8.** Ecuaciones para la estimación de la captura de carbono.

ESPECIE	EDAD	VARIABLE	ECUACIÓN	REF.
Capirona	25	DAP	$DAP = 3.925 * (edad - 0,887)^{0,672}$	a
		Biomasa aérea	$BA = \exp(-7.219 - 6.445/DAP + 2.094 * \ln(DAP))$	a
Bolaina	25	DAP	$DAP = 25,44 / (1 + 8.395 * \exp(-0,448 * edad))$	a
		Biomasa aérea	$BA = \exp[-2.289 + 2.649 * \ln(DAP) - 0,021 * (\ln(DAP))^2]$	b
Tornillo	25	Biomasa aérea	$BA = 1.67740 / (1 + 144.4660 * \exp(-0,2944 * edad))$	a
Shihuahuaco	25	DAP	$DAP = (0,111 + 2,52 * edad) / (1 + 0,0633 * edad + 0,00126 * edad^2)$	a
		Biomasa aérea	$BA = \exp(-8.458 - 6.852/D + 2.439 * \ln(D))$	a
Guaba	20	Biomasa aérea		c

- a. Flores Y. 2021. Se seleccionaron las ecuaciones de crecimiento medio para las especies de tornillo y para el diámetro a la altura del pecho (DAP) de la especie shihuahuaco.  
 b. IPCC. 2005. Capítulo 4, Anexo 4A.2, Tabla 4A.1. Ecuación alométrica para maderas de zonas tropicales húmedas.  
 c. Ramírez et al., 2014.

El resultado de la aplicación de las ecuaciones expuestas en la Tabla anterior se presenta en la sección Inventario de emisiones de GEI: Fijaciones de carbono por especies forestales.

## 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 CO<sub>2</sub>eq.

**Tabla 9.** Factores de emisión por la manufactura de insumos.

NOMBRE DE INSUMO	NOMBRE EN LA BASE DE DATOS DE ECOINVENT	FACTOR DE EMISIÓN (kg CO <sub>2</sub> eq/kg producto)
Gasolina	Market for petrol, 5% ethanol by volume from biomass	0,8269
Aceite de motor	Market for petroleum	0,2528
Compost	Market for compost	0,0031
Sulfato de potasio	Market for potassium chloride, as K <sub>2</sub> O (GLO)	0,4741
Sulfato de magnesio	Market for magnesium sulfate (GLO)	0,4788
Sulfato de zinc	Zinc monosulfate production	1,1121
Ulexita (boro y calcio)	Boric oxide production	2,1668
Roca fosfórica	Market for phosphate rock, as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , beneficiated, dry	0,2991
Costales de 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 de producto transportado (t) y la distancia recorrida en kilómetros (km).

**Tabla 10.** Ruta recorrida por tipo de insumo.

NOMBRE DE INSUMO	RUTA TERRESTRE					RUTA MARÍTIMA		
	PIEBLO - CHACRA	PUCALLPA - PUEBLO	LIMA - PUCALLPA	SECHURA - PUCALLPA	BOLIVIA - LIMA	ISLA - PUERTO	ALEMANIA	CHINA
Gasolina	X	X	X					
Aceite de motor	X	X	X					
Guano de isla	X	X	X			X		
Compost	X	X	X					
Sulfato de potasio	X	X	X				X	
Sulfato de magnesio	X	X	X				X	
Sulfato de zinc	X	X	X					X
Ulexita (boro y calcio)	X	X	X		X			
Roca fosfórica	X	X		X				
Costales de polipropileno	X	X	X					

**Tabla 11.** 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 <sub>2</sub> eq/t*km)
Pueblo-Chacra	10	Market for transport, freight, light commercial vehicle	1,9960
Pucallpa-Pueblo	89	Market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3	0,5255
Lima-Pucallpa	746	Market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3	0,0921
Sechura-Pucallpa	1.350	Market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3	0,0921
Bolivia-Lima	1.509	Market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3	0,0921
Isla-Puerto	21	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

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 la Central de Curimaná (ver sección Recolección de información). El personal técnico de la asociación validó los datos y los contrastó con información bibliográfica del sector. La información de los factores emisión se obtuvo de fuentes secundarias, tales como el IPCC (actualización 2019), Infocarbono, Ecoinvent, artículos científicos, entre otros. Por consiguiente, se considera adecuada la calidad de los datos primarios y secundarios recolectados.

## 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 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 cacao, 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. En el caso de los inventarios nacionales de GEI, se reportan tanto las remociones anuales de carbono de los cultivos perennes como sus respectivas emisiones cuando se realiza la renovación del cultivo. En ambos casos, se entiende que la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por el cacao es equivalente a las emisiones de CO<sub>2</sub>, que se liberan durante la oxidación completa de su biomasa, resultando en cero emisiones netas de CO<sub>2</sub> al final de la vida útil del cultivo. En consecuencia, ni las remociones ni las emisiones de carbono del cultivo de cacao han sido incluidas en el inventario de GEI.

- ✓ Respecto a las remociones de carbono por las especies forestales del sistema SAF, el GHG Protocol no permite su inclusión, mientras que en los inventarios nacionales de GEI se incluyen las remociones por plantaciones forestales (no estando contemplados los sistemas SAF). A pesar de lo dispuesto por el GHG Protocol, en el alcance del presente inventario sí se han incluido las remociones de carbono por las especies forestales dado que constituyen un almacén de carbono a largo plazo.
- ✓ 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. 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 el cultivo de cacao). 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 en que se asume que las existencias de carbono del suelo llegan 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. Dado que el cultivo de cacao tiene una vida útil de aproximadamente 25 años, este es el periodo considerado para la evaluación del cambio de uso de suelo.





# 3

## INVENTARIO DE EMISIONES DEL MODELO DE NEGOCIO



En el inventario de emisiones de GEI se presentan las emisiones y remociones resultantes de cada una de las actividades que se desarrollan en la parcela de cacao. En el MdN se incluyen las emisiones de GEI de las prácticas de mitigación propuestas: acuerdos de conservación e implementación de un sistema agroforestal. Mientras que el inventario de línea base expone las condiciones actuales de los agricultores orgánicos (sin la incorporación de las prácticas de mitigación). La comparación de ambos escenarios permite identificar el potencial de mitigación del MdN.

Como se muestra en la Tabla 12, las principales diferencias entre ambos sistemas están relacionadas a la tecnificación del sistema de riego que involucra un incremento de la productividad, la reducción de emisiones por la no deforestación (conversión de bosques a tierras agrícolas) y el incremento de las reservas de carbono por la implementación de SAF.



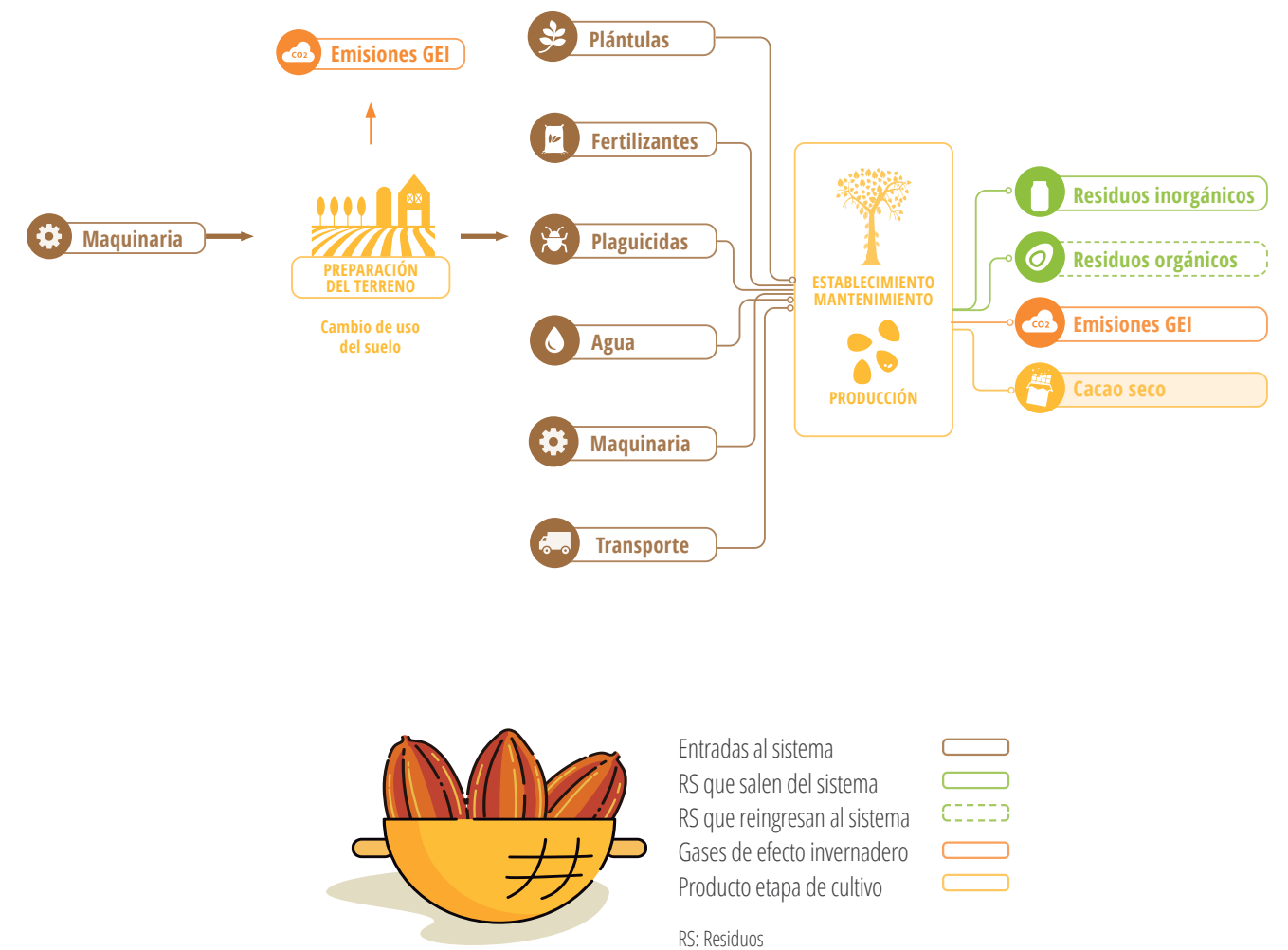
Tabla 12. Principales características del sistema de línea base y el modelo de negocio.

	LÍNEA BASE	MODELO DE NEGOCIO
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>		
No. de agricultores	40	40
Ubicación	Central Curimaná-Ucayali	Central Curimaná-Ucayali
Vida útil del cultivo	25 años	25 años
Duración de la etapa de mantenimiento	2 años	2 años
Duración de la etapa de producción	23 años	23 años
Área en mantenimiento (< 2 años)	28,5 ha	28,5 ha
Área en producción (2–23 años)	119,5 ha	119,5 ha
Área total con cacao	148 ha	148 ha
Área total de los predios de los agricultores	711,6 ha	711,6 ha
Rendimiento de cacao seco	1.164 kg/ha	22% del área: 1.164 kg/ha 78% del área: 1.455 kg/ha El riego por goteo incrementa un 25% el rendimiento
Sistema de riego	No tiene	22% del área sin riego (33,2 ha) 78% del área en riego por goteo (114,8 ha)
<b>ACTIVIDADES FUENTE DE EMISIÓN/REMOCIÓN DE GEI</b>		
Cambio de uso del suelo	4,02 ha/año Promedio de deforestación anual (2001–2020)	Cero deforestación
Uso de maquinaria y equipos	Guadaña para plateo y deshierbe	Guadaña para plateo y deshierbe Bomba para el riego por goteo
Uso de fertilizantes	100% fertilización orgánica con compost y guano de isla	100% fertilización orgánica con compost y guano de isla
Manejo de residuos orgánicos	Disposición de las cáscaras de cacao sobre el suelo	20 agricultores elaboran compost con las cáscaras de cacao y residuos domésticos
Fijación de carbono por especies forestales	Cacao en monocultivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementación de un sistema agroforestal:</li> <li>19% del área (28,5 ha): SAF completo</li> <li>81% del área (119,5 ha): SAF solo linderos</li> </ul>
Manufactura de insumo agrícolas	Manufactura del combustible y fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manufactura del combustible y fertilizantes</li> </ul>
Transporte de insumo agrícolas	Transporte del combustible y fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transporte del combustible y fertilizantes</li> </ul>

De esta manera, el inventario de GEI recolectó y sistematizó información de las entradas y salidas de cada una de las actividades involucradas en las fases del sistema productivo del cacao: preparación del terreno, establecimiento y mantenimiento (0 a 2 años) y, producción y cosecha (2 a 25 años). Las actividades fuente de emisiones evaluadas en dichas fases fueron: cambio de uso del suelo, uso de fertilizantes, uso de maquinaria y equipos, manejo de residuos

orgánicos, manufactura y transporte de insumos. Los resultados se presentarán en las siguientes unidades: i) Emisiones por ha (kg CO<sub>2</sub>eq/ha/año), ii) Emisiones totales del área de intervención del MdN (t CO<sub>2</sub>eq/año) y iii) Emisiones totales por unidad de producto (kg CO<sub>2</sub>eq/kg de cacao seco). Las emisiones totales corresponden a las emisiones del total del área intervenida (148 ha). En la siguiente Figura se presentan las entradas y salidas del sistema:

Figura 5. Diagrama de la etapa de cultivo.







### 3.1. Emisiones por cambio de uso del suelo

El trabajo de geolocalización de los 40 agricultores de la Central de Curimaná y el uso de la herramienta digital Global Forest Watch, evidenció el nivel de deforestación a causa de la instalación del cultivo de cacao durante el periodo 2001–2020 (Tabla 14 y Figura 6). Dicha herramienta permite diferenciar la pérdida de áreas sensibles que contienen bosque, categorizándolas en bosque primario, área protegida, turba y paisajes forestales intactos. De esas cuatro categorías, se identificó pérdida de bosque en el bosque primario y en los paisajes forestales intactos.

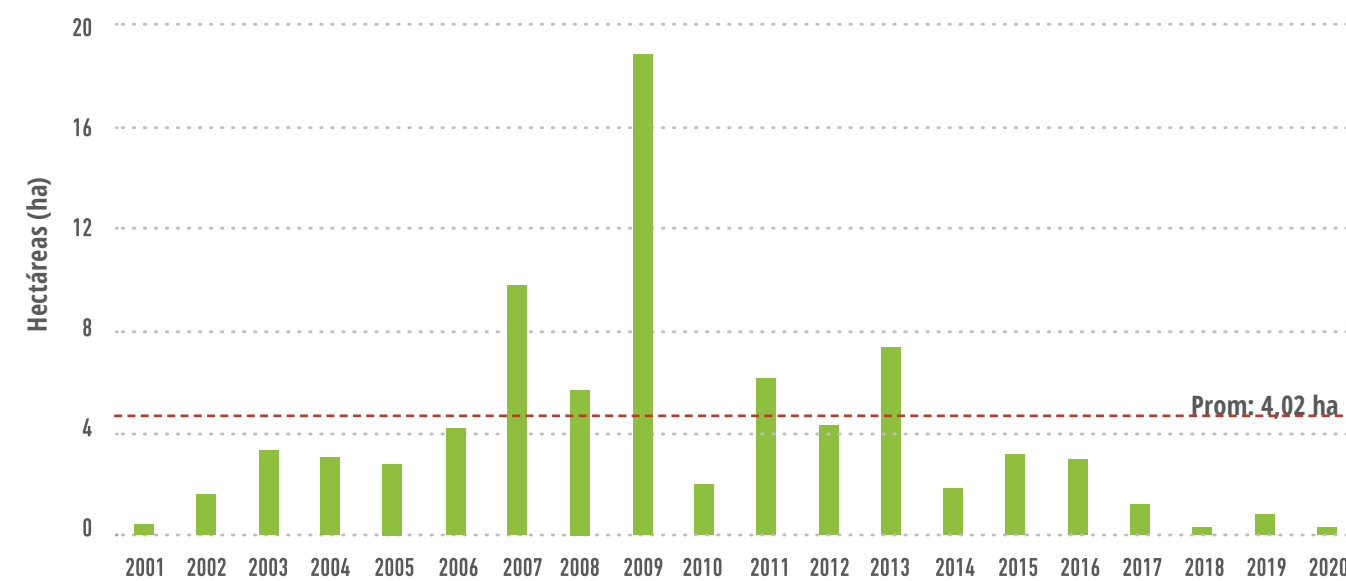
A partir del histórico de deforestación (2001–2020), se calculó una tasa de deforestación anual de 4,02 ha/año, la misma que se aplicó para la estimación de emisiones por cambio de uso de suelo.

Tabla 13. Conversión de tierras forestales a cultivo de cacao (2001–2020).

USO PREVIO DEL SUELO	Deforestación Total – GFW (ha) 2001–2020 <sup>c</sup>	Deforestación anual (ha) 2001–2020 <sup>d</sup>	Deforestación estimada (ha) 1997–2021 <sup>e</sup>	Deforestación estimada (ha) 1998–2022
Bosque primario <sup>a</sup>	69,65	3,48	87,06	83,58
Paisaje de bosque intacto <sup>b</sup>	10,81	0,54	13,51	12,97
<b>Pérdida de bosque total</b>	<b>80,46</b>	<b>4,02</b>	<b>100,58</b>	<b>96,56</b>

- a. De acuerdo con la herramienta Global Forest Watch (GFW, 2008), se denomina bosque primario a la pérdida de bosques antiguos con poca perturbación humana.
- b. De acuerdo con la herramienta GFW, el concepto paisaje de bosque intacto hace referencia a la pérdida de paisajes forestales previamente no-fragmentados, es decir, paisajes lo suficientemente grandes para retener toda la biodiversidad nativa y que no mostraron signos de alteración humana significativa a partir de 2016.
- c. Información extraída de la herramienta GFW, donde se analizó la deforestación entre el periodo 2001–2020. Los valores corresponden a la deforestación acumulada.
- d. La deforestación anual se calculó dividiendo la deforestación total entre el periodo de análisis 2001–2020 (20 años).
- e. 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.
- f. Corresponde a la deforestación acumulada entre 1998–2022. Este valor se utilizó para el modelo de negocio, considerando cero deforestación en el 2022.

Figura 6. Conversión de tierras forestales a cultivo de cacao (2001–2020).



Los datos del contenido de carbono del uso previo del suelo (bosque primario), del cultivo de cacao y el arreglo SAF-cacao 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 respectivamente:



Tabla 14. Reservas de carbono de diferentes tipos de coberturas.

RESERVA DE CARBONO	TONELADAS DE CARBONO (t C/HA)		
	BOSQUE PRIMARIO <sup>1</sup>	PLANTACIÓN DE CACAO <sup>2</sup>	SISTEMA AGROFORESTAL DE CACAO <sup>3</sup>
Biomasa aérea	111,6	33,6	76,4 – 116,8
Biomasa subterránea	31,7	-	-
Materia orgánica muerta	33,6	8,4	8,4
Carbono orgánico del suelo	71,4	25,6	25,6
<b>TOTAL (t C/ha)</b>	<b>248,3</b>	<b>67,6</b>	<b>110,4 – 150,8</b>

- 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 S. (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 (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.
- Plantación de cacao:** los valores corresponden a un cultivo maduro de cacao (>20 años) en la región Ucayali del estudio de Ramírez et al. (2014). La biomasa aérea se calculó utilizando el valor de 64,28 kg/árbol reportado por Ramírez et al., considerando la densidad de siembra de 1.111 especies/ha declarada por el grupo focal y una fracción de carbono de 0,47.
- Sistema agroforestal:** se ha considerado dos tipos de arreglos agroforestales: SAF linderos y SAF-completo. Los valores de biomasa aérea se obtuvieron de la suma la biomasa aérea del cacao (33,57 t C/ha) más la biomasa aérea de cada arreglo SAF: 42,89 t C/ha SAF linderos y 83,25 t C/ha SAF-completo. El detalle de las estimaciones de la biomasa aérea de los SAF se encuentra en la sección Fijaciones de carbono por especies forestales. Los valores de materia orgánica muerta y carbono orgánico del suelo fueron tomados de Ramírez et al. (2014).

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. Para efectos del presente estudio, a los paisajes forestales intactos se les asignó la reserva de carbono de un bosque primario.

La línea base incluye las emisiones por la pérdida de biomasa del bosque debido a la deforestación de 4,02 ha en el 2021 y las emisiones por la pérdida de carbono orgánico del suelo que involucra la deforestación acumulada entre 1997–2021 (100,58 ha). El MdN, a pesar de no presentar deforestación para el año 2022, incluye las emisiones por la pérdida del carbono del suelo en 96,56 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 15. Emisiones de GEI por cambio de uso del suelo.

COBERTURA PREVIA	PÉRDIDA DE C EN BIOMASA (kg c/ha)	PÉRDIDA DE C EN EL SUELO (kg c/ha)	N MINERALIZADO (kg n/ha)	EMISIONES POR HA (kg CO <sub>2</sub> eq/ha/año)	EMISIONES TOTALES (t CO <sub>2</sub> eq/año)
<b>Línea base<sup>1</sup></b>					
<b>Bosque primario</b>	176.924,9	45.800,0	3.053,3	<b>22.498,1</b>	<b>3.329,7</b>
<b>Modelo de negocio<sup>2</sup></b>					
<b>Bosque primario</b>	0	45.800,0	3.053,3	<b>4.669,0</b>	<b>691,0</b>

- Las emisiones de CO<sub>2</sub>eq resultan de la multiplicación de la pérdida de C en biomasa por la fracción de área que sufrió deforestación en el año 2021 (4,02 ha = 2,72% bosque primario), más la pérdida de C y N del suelo multiplicado por la fracción de área que sufrió deforestación entre 1997–2021 (67,96% bosque primario) entre 25 años de amortización.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub>eq resultan de la pérdida de C y N del suelo multiplicado por la fracción de área que sufrió deforestación entre 1998–2022 (65,24% bosque primario) entre 25 años de amortización.





Como se evidencia en la Tabla anterior, la implementación de los acuerdos cero deforestación como parte del MdN, evita la emisión de cerca de 18 t CO<sub>2</sub>eq/ha/año, al pasar de 22.498,13 kg CO<sub>2</sub>eq a 4.669,07 kg CO<sub>2</sub>eq. La intervención en las 148 ha que hacen parte del MdN representa una reducción de emisiones de 2.638,70 t CO<sub>2</sub>eq/año.

## 3.2. Emisiones por uso de maquinaria y equipos

En la siguiente Tabla se presentan los datos de actividad del uso de combustible fósil en la línea base y el MdN. En el sistema de producción actual de cacao, el principal gasto de combustible es generado por el uso de la guadaña en labores de limpieza del terreno y deshierbe. En el MdN, el consumo de combustible se incrementó con la

implementación del sistema de riego por goteo, el cual es implementado a 20 agricultores que ocupan el 78% del área total intervenida (114,8 ha). El sistema de riego involucró el consumo de 0,5 gal/día durante 5 meses (meses de menor lluvia).

Para el cálculo de las emisiones en la línea base, el 2,7% del área presentó conversión del uso del suelo e implicó la preparación del terreno, el 19% del área se encontró en la fase de mantenimiento y 81% en fase de producción. En el caso del MdN no se presentan emisiones por preparación del terreno (al no haber deforestación), mientras que 19% del área se encontró en la fase de mantenimiento y 81% en fase de producción.

Al totalizar las emisiones para las 148 ha de la intervención, se evidencia que la implementación del riego por goteo en el MdN causa un incremento en las emisiones de GEI. El MdN genera 64,25 t CO<sub>2</sub>eq/año adicionales en comparación a la línea base.

Tabla 16. Emisiones de GEI por el uso de combustible en maquinaria y equipos.

MAQUINARIA	NIVEL DE ACTIVIDAD		EMISIONES POR HA		EMISIONES TOTALES	
	LB	MdN	LB	MdN	LB	MdN
	kg/ha	kg/ha	kg CO <sub>2</sub> eq /ha/año	kg CO <sub>2</sub> eq /ha/año	t CO <sub>2</sub> eq/ año	t CO <sub>2</sub> eq/ año
Preparación terreno	1,5	0	0,30	0	0,05	0
Mantenimiento	7,5	7,5	10,79	10,79	1,60	1,60
Producción	7,5	7,5	45,22	45,22	6,69	6,69
Sistema de riego	0	75	0	434,44	0	64,30
<b>Subtotal</b>			<b>56,31</b>	<b>490,45</b>	<b>8,33</b>	<b>72,59</b>



## 3.3. Emisiones por uso de fertilizantes

El uso de fertilizantes nitrogenados genera la emisión directa e indirecta de N<sub>2</sub>O. En el sistema de producción actual de cacao y en el modelo de negocio se empleó el guano de isla (12% de N) y el compost de la marca FOSAC (3,7% de N) para la fertilización orgánica durante la fase de producción. Los agricultores declararon no fertilizar durante la fase de mantenimiento (19% del área), mientras que el 81% del área restante fertilizó según los presentado en la Tabla 17. En ambos sistemas se aplicó la misma cantidad de fertilizantes.

Tabla 17. Emisiones de GEI por el uso de fertilizantes.

FERTILIZACIÓN	NIVEL DE ACTIVIDAD		EMISIONES POR HA		EMISIONES TOTALES	
	LB	MdN	LB	MdN	LB	MdN
	kg/ha	kg/ha	kg CO <sub>2</sub> eq /ha/año	kg CO <sub>2</sub> eq /ha/año	t CO <sub>2</sub> eq/ año	t CO <sub>2</sub> eq/ año
<b>PRODUCCIÓN</b>						
Guano de Isla	150,00	18,00	70,07	70,07	10,37	10,37
Compost	400,00	14,80	57,62	57,62	8,53	8,53
<b>Subtotal</b>			<b>127,69</b>	<b>127,69</b>	<b>18,90</b>	<b>18,90</b>



### 3.4. Emisiones por manejo de residuos inorgánicos

En el sistema de producción actual de este cultivo, las cáscaras vacías de cacao son dispuestas en el suelo para su descomposición natural, donde parte del N contenido en los residuos se libera como N<sub>2</sub>O de forma directa e indirecta. Dado que la temporada de mayor cosecha coincide con los meses de menor lluvia y las cáscaras se dejan sobre el suelo de forma dispersa, se considera que dichos residuos de cosecha sufren una descomposición aeróbica. Como ha sido expuesto en la sección de Metodología, la

cantidad de residuos de cosecha está en función de la producción (10 kg cáscara peso húmedo/kg de cacao seco), la cual es de 1164,14 kg de cacao seco/ha. Además, se consideró una humedad del 80% de la cáscara de cacao y un porcentaje de nitrógeno en materia seca de 1,2%.

El MdN plantea la implementación de composteras en 20 parcelas, para la elaboración de compost a partir de las cáscaras vacías de cacao y residuos domésticos. Dada la falta de información no se ha podido estimar el impacto en termino de emisiones de esta práctica. Sin embargo, como el compost sería utilizado en la misma parcela, se han considerado las mismas emisiones para ambos escenarios. El 19% del área se encontró en fase de mantenimiento (sin generación de residuos) y 81% en fase producción (con generación de residuos).



Tabla 18. Emisiones de GEI por el manejo de residuos orgánicos.

FERTILIZACIÓN	kg peso seco/ha	NIVEL DE ACTIVIDAD		EMISIONES POR HA		EMISIONES TOTALES	
		LB	MdN	LB	MdN	LB	MdN
		kg N/ha	kg N/ha	kg CO <sub>2</sub> eq /ha/año	kg CO <sub>2</sub> eq /ha/año	t CO <sub>2</sub> eq/ año	t CO <sub>2</sub> eq/ año
<b>PRODUCCIÓN</b>							
Cáscara de cacao	2.328,27	28,17	28,17	81,83	81,83	12,11	12,11
<b>Subtotal</b>				<b>81,83</b>	<b>81,83</b>	<b>12,11</b>	<b>12,11</b>

### 3.5. Fijaciones de carbono por especies forestales

Para la estimación de las fijaciones de carbono de las especies forestales que forman parte del sistema agroforestal del cacao, se estableció un arreglo teórico con base en lo propuesto por la UNODC para las regiones cacaoteras de Perú. Se optó por aplicar el arreglo SAF-completo a las áreas que se encontraban en fase de mantenimiento (28,5 ha) y el SAF-linderos a las áreas en producción (119,5 ha). En la siguiente Tabla se muestran los dos arreglos agroforestales del modelo de negocio.

Tabla 19. Arreglo agroforestal de cacao.

TIPO DE ARREGLO	NO./HA	ESPECIES
<b>SAF-completo</b>		
Árboles forestales de rápido crecimiento (linderos)	67	Capirona
	67	Bolaina
Árboles forestales de lento crecimiento (interior)	40	Tornillo
	40	Shihuahuaco
Árboles frutales – guaba	36	Guaba
<b>Total SAF-completo</b>	<b>250 árboles</b>	
<b>SAF-linderos</b>		
Árboles forestales de rápido crecimiento (linderos)	67	Capirona
	67	Bolaina
<b>Total SAF-linderos</b>	<b>134 árboles</b>	





Para cada una de las especies forestales seleccionadas, se estimó la captura de carbono por un periodo de 25 años (coincidiendo con la vida útil del cacao) y se calculó la fijación anual por hectárea. Para dicha estimación se usaron las ecuaciones alométricas descritas en la Tabla 8. En la siguiente Tabla, se presenta el carbono fijado en la biomasa aérea de forma anual por las especies forestales del SAF-cacao completo.

**Tabla 20.** Estimación del carbono fijado por las especies forestales del SAF-cacao.

ESPECIE	NO. DE ÁRBOLES	EDAD	DAP (cm)	BIOMASA (kg/arb)	BIOMASA (t/ha)	CARBONO <sup>a</sup> (t/ha)	CARBONO (t/ha/año)
Capirona	67	25	33,32	931,93	62,44	29,35	1,17
Bolaina	67	25	25,44	430,00	28,81	13,54	0,54
Tornillo	40	25	-	1.536,21	61,45	28,88	1,16
Shihuahuaco	40	25	18,73	186,81	7,47	3,51	0,14
Guaba	36	20	-	470,98	16,96	7,97	0,32
<b>Total</b>	<b>250</b>					<b>83,25</b>	<b>3,33</b>

a. Se considera una fracción de carbono de 0,47 en la biomasa seca.

De acuerdo con el tipo de arreglo implementado para el área de mantenimiento (19% del área total) y producción (81% del área total) del modelo de negocio, se estimó la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado por hectárea.

**Tabla 21.** Estimación del CO<sub>2</sub> fijado por los arreglos SAF-cacao.

ARREGLO SAF-CACAO	NIVEL DE ACTIVIDAD		FIJACIONES POR ha		FIJACIONES TOTALES	
	CARBONO	CO <sub>2</sub>	LB	MdN	LB	MdN
	(t/ha/año)	(t/ha/año)	kg CO <sub>2</sub> eq/ha/año	kg CO <sub>2</sub> eq/ha/año	t CO <sub>2</sub> eq/año	t CO <sub>2</sub> eq/año
SAF-completo	3,33	-12,21	0	-2.352,75	0	348,21
SAF-linderos	1,72	-6,29	0	-5.078,07	0	751,55
<b>Subtotal</b>			<b>0</b>	<b>-7.430,82</b>	<b>0</b>	<b>-1.099,76</b>



Como se muestra en la Tabla anterior, la instalación de un sistema agroforestal en el cultivo de cacao permite incrementar las reservas de carbono en 7,43 t CO<sub>2</sub>eq/ha/año. Mientras que la intervención en las 148 ha implica un incremento de 1.099,76 t CO<sub>2</sub>eq/año. Esta acumulación de carbono en las especies forestales es un carbono almacenado a largo plazo.

### 3.6. 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, se incrementan las emisiones, en particular, por la manufactura del combustible del sistema de riego por goteo. Además, la siembra de los árboles forestales implica la adición de roca fosfórica.

Al totalizar las emisiones para las 148 ha de la intervención, se evidencia que el MdN genera un incremento de 20,23 t CO<sub>2</sub>eq/año en comparación a la línea base.

Tabla 22. Emisiones de GEI por manufactura de insumos.

	NIVEL DE ACTIVIDAD		EMISIONES POR ha		EMISIONES TOTALES	
	LB	MdN	LB	MdN	LB	MdN
MANUFACTURA INSUMOS	kg/ha	kg/ha	kg CO <sub>2</sub> eq / ha/año	kg CO <sub>2</sub> eq / ha/año	t CO <sub>2</sub> eq / año	t CO <sub>2</sub> eq / año
<b>Preparación del terreno</b>						
Combustible y aceite	4,29	0	0,09	0	0,01	0
Fertilizante (Roca fosfórica)	0	25,00	0	7,48	0	1
<b>Mantenimiento</b>						
Combustible y aceite	20,81	20,81	3,24	3,24	0,48	0,48
<b>Producción</b>						
Combustible y aceite	20,81	20,81	13,59	13,59	2,01	2,01
Fertilizantes	629,00	629,00	66,46	66,46	9,84	9,84
Bolsas de cosecha	1,10	1,10	0,39	0,39	0,06	0,06
<b>Sistema de riego</b>						
Combustible	0	201,57	0	129,29	0	19,13
<b>Subtotal</b>			<b>83,77</b>	<b>220,45</b>	<b>12,40</b>	<b>32,63</b>

### 3.7. 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 (ver Tabla 10 y Tabla 11). 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, el MdN incrementa sus emisiones, principalmente, por el combustible empleado en el sistema de riego por goteo. Al totalizar las emisiones para las 148 ha de la intervención, se evidencia que el MdN genera un incremento de 3,84 t CO<sub>2</sub>eq/año en comparación a la línea base.

Tabla 23. Emisiones de GEI por transporte de insumos.

	NIVEL DE ACTIVIDAD		EMISIONES POR HA		EMISIONES TOTALES	
	LB	MdN	LB	MdN	LB	MdN
TRANSPORTE INSUMOS	t/km/ha	t/km/ha	kg CO <sub>2</sub> eq / ha/año	kg CO <sub>2</sub> eq / ha/año	t CO <sub>2</sub> eq / año	t CO <sub>2</sub> eq / año
<b>Preparación del terreno</b>						
Combustible y aceite	3,63	0	0,02	0	0	0
Fert. y plaguicidas	0	36,23	0	4	0	0,71
<b>Mantenimiento</b>						
Combustible y aceite	17,59	17,59	0,54	0,54	0,08	0,08
<b>Producción</b>						
Combustible y aceite	17,59	17,59	2,28	2,28	0,34	0,34
Fertilizantes	1.116,44	1.116,44	74,38	74,38	11,01	11,01
Bolsas de cosecha	0,11	0,11	0,06	0,06	0,01	0,01
<b>Sistema de riego</b>						
Combustible	0	170,33	0	21,17	0	3,13
<b>Subtotal</b>			<b>77,28</b>	<b>103,21</b>	<b>11,44</b>	<b>15,28</b>





# 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 (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 permite compensar las emisiones generadas por el cultivo de cacao e incluso convertir al sistema en un sumidero de carbono al almacenar 1,74 t CO<sub>2</sub>eq/ha/año o 257,24 t CO<sub>2</sub>eq/año al considerarse las 148 ha intervenidas por el modelo.

La reducción de emisiones se debe principalmente a la no deforestación de bosque primario para el establecimiento de nuevas plantaciones de cacao, ya que la firma de los acuerdos de conservación permite bajar a cero la deforestación anual de 4,02 ha que ha estado presente en el área de influencia del proyecto. Es así como el MdN evita la emisión de 2.638,70 t CO<sub>2</sub>eq/año en las 148 ha intervenidas, al pasar de 3.329,72 t CO<sub>2</sub>eq/año en la línea base a 691,02 t CO<sub>2</sub>eq/año. A pesar de que la implementación del MdN no genera un cambio de uso del suelo, el valor de 691,02 t CO<sub>2</sub>eq/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 stock de carbono en el sistema, la instalación de un sistema agroforestal incrementa la reserva de carbono en la biomasa área. La presencia de árboles forestales permite la captura de 1.099,76 t CO<sub>2</sub>eq/año, lo cual convierte a la parcela de cacao en un sistema que fija carbono.



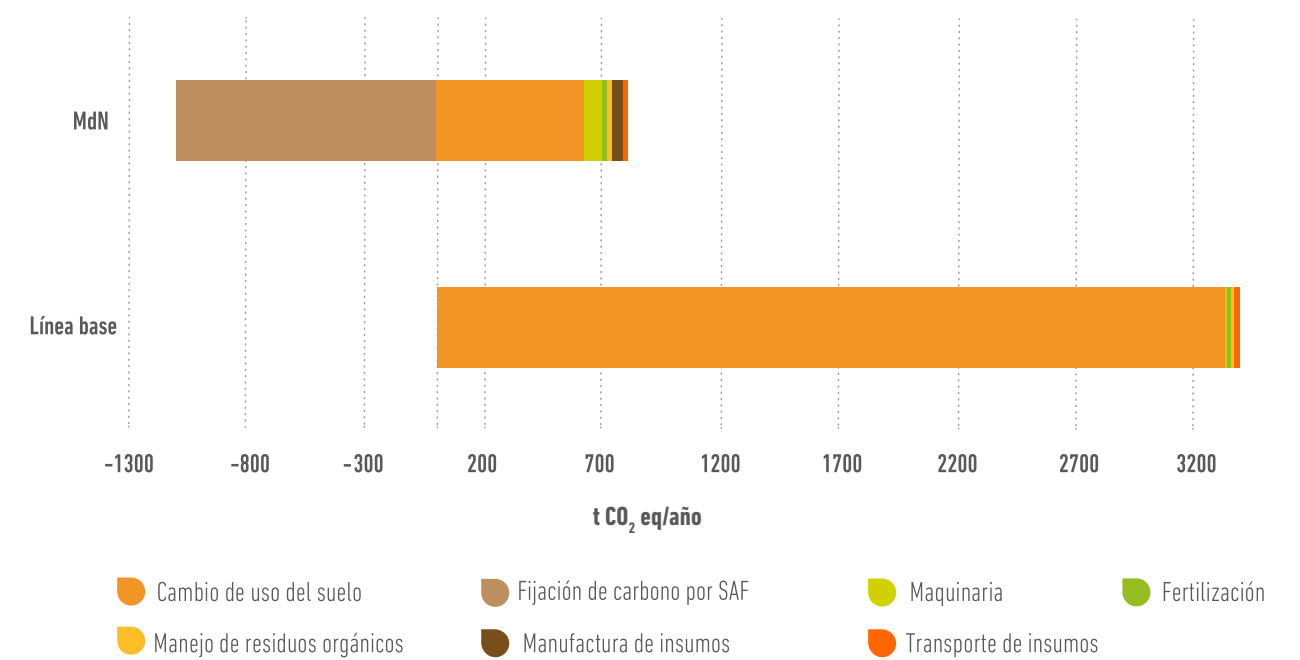
Por otro lado, el MdN también implica ciertas emisiones debido, principalmente, a la tecnificación del sistema de riego que incrementa el consumo de combustible en la parcela. Esta mejora productiva incrementa las emisiones en las actividades de maquinaria, manufactura y transporte. Sin embargo, su impacto 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 24.** Emisiones y remociones de GEI totales en línea base y MdN.

ACTIVIDADES	EMISIONES POR ha		EMISIONES TOTALES	
	LB	MdN	LB	MdN
	kg CO <sub>2</sub> eq/ha/año	kg CO <sub>2</sub> eq/ha/año	t CO <sub>2</sub> eq/año	t CO <sub>2</sub> eq/año
Cambio de uso del suelo	22.498,13	4.669,07	3.329,72	691,02
Maquinaria	56,31	490,45	8,33	72,59
Fertilización	127,69	127,69	18,90	18,90
Manejo residuos orgánicos	81,83	81,83	12,11	12,11
Fijación carbono en forestales	0	-7.430,82	0	-1.099,76
Manufactura de insumos	83,77	220,45	12,40	32,63
Transporte de insumos	77,28	103,21	11,44	15,28
<b>BALANCE TOTAL</b>	<b>22.925,02</b>	<b>-1.738,12</b>	<b>3.392,90</b>	<b>-257,24</b>



**Figura 7.** Emisiones y remociones totales de GEI en línea base y MdN.



Al analizar únicamente las fuentes de emisiones y su aporte en la línea base y el MdN, se hace aún más evidente la relevancia del cambio de uso del suelo como fuente de emisiones en el sistema productivo del cacao. En la línea base, el cambio de uso del suelo representa el 98% de las emisiones totales con una deforestación anual promedio de 4,02 ha de bosque primario (que equivale al 2,72% del área total intervenida). En el MdN, a pesar de que se elimina la práctica de deforestación y se evita una considerable cantidad de emisiones, el cambio de uso del suelo sigue teniendo una participación importante como fuente emisora de GEI con una tasa del 85%. Esto se debe a la deforestación en

los últimos 25 años, donde el 65% del área de cacao establecida se desarrolló a expensas de la deforestación de bosque. A través de los acuerdos de conservación, este valor disminuirá 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 para la línea base fueron la fertilización y la manufactura de insumos. Mientras que para el MdN destacan el uso de maquinaria y la manufactura de insumos. Como ya ha sido mencionado, en el MdN la tecnificación del sistema de riego implicó un mayor consumo y producción de combustible.



**Tabla 25.** Participación de cada fuente en el total de las emisiones de línea base y del MdN.

CONCEPTO	LÍNEA BASE		MdN	
	t CO <sub>2</sub> eq/año	%	t CO <sub>2</sub> eq/año	%
Cambio de uso del suelo	3.329,72	98,1%	691,02	82,0%
Maquinaria	8,33	0,2%	72,59	8,6%
Fertilización	18,90	0,6%	18,90	2,2%
Manejo de residuos orgánicos	12,11	0,4%	12,11	1,4%
Manufactura de insumos	12,40	0,4%	32,63	3,9%
Transporte de insumos	11,44	0,3%	15,28	1,8%
<b>TOTAL</b>	<b>3.392,90</b>		<b>842,52</b>	

### Emisiones totales por unidad de producto

Como parte del diseño del MdN, se consideró la tecnificación del sistema de riego, pasando de un riego por secado a un riego por goteo en el 78% del área intervenida. La implementación del riego por goteo permite mejorar los rendimientos del cacao al tener riego durante la época de baja precipitación. En el presente estudio se consideró un incremento conservador del 25% en el rendimiento en las áreas beneficiadas con el sistema de riego. Esta práctica tuvo un enfoque principalmente económico e incrementó las emisiones a nivel de área en el MdN, como se expuso anteriormente.

Cuando se considera el incremento del rendimiento de cacao y se expresan las emisiones en unidades de kg de cacao seco, no se logra compensar el impacto del alto consumo de combustible del sistema de riego. Como se muestra en la siguiente Tabla, solo bajo el efecto del sistema de riego (sin considerar el cambio de uso del suelo y el SAF-cacao), las emisiones del MdN terminan siendo el doble que las de la línea base en unidades de producto. Se estima que para igualar las emisiones de línea base, el rendimiento tendría que multiplicarse por 2,7. En consecuencia, bajo las condiciones expuestas, la implementación del sistema de riego por goteo no constituye una práctica de mitigación de emisiones a nivel de producto.

En los otros escenarios, donde se considera el efecto del cambio del uso del suelo o el SAF-cacao, el MdN presenta menores emisiones por unidad de producto que la línea base.

**Tabla 26.** Balance total de emisiones de GEI por unidad de producto en línea base y MdN.

ESCENARIOS	LB		MdN	
	t CO <sub>2</sub> eq/año	kg CO <sub>2</sub> eq/kg cacao seco	t CO <sub>2</sub> eq/año	kg de CO <sub>2</sub> eq/kg cacao seco
Total sin CUS <sup>a</sup> y sin SAF	63,18	0,45	149,68	0,90
Total con CUS y sin SAF	3.392,90	24,39	840,71	5,06
Total sin CUS y con SAF	63,18	0,45	-948,26	-5,71
Total con CUS y con SAF	3.392,90	24,39	-257,24	-1,55

a. CUS: Cambio de uso del suelo.





# 5 CONCLUSIONES

HACIA UNA CADENA DE CACAO QUE  
CONTRIBUYA A LA CONSERVACIÓN DE BOSQUES Y  
REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO



El sector cacaotero en la región de Ucayali tiene el desafío de aumentar la productividad, reduciendo al mismo tiempo los posibles impactos negativos en términos de deforestación y emisiones de GEI.

Con el fin de cuantificar el potencial de mitigación de emisiones de GEI por la implementación del MdN en el cultivo de cacao en el departamento de Ucayali, en las 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 40 productores priorizados por el Comité Central de Curimaná.

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. Se diseñó un MdN que asegure la no deforestación, incremente las reservas de carbono mediante su secuestro y almacenamiento en los sistemas agroforestales y aumente el rendimiento de la parcela, gracias a la firma de acuerdos de conservación con los productores, la siembra de árboles para migrar de monocultivo a arreglos agroforestales y la implementación de sistemas de riego. La implementación conjunta de estas prácticas permite compensar las emisiones generadas por el cultivo de cacao e incluso convertir al sistema en un sumidero de carbono.

El trabajo de geolocalización de los 40 agricultores de la Central de Curimaná y el uso de la herramienta digital Global Forest Watch, determinó una tasa de deforestación promedio anual de 4,02 ha/año. La implementación de los acuerdos cero deforestación como parte del MdN, evita la emisión de cerca de 18 t CO<sub>2</sub>eq/ha/año, al pasar de 22.498,13 kg CO<sub>2</sub>eq a 4.669,07 kg CO<sub>2</sub>eq. La intervención en las 148 ha que hacen parte del MdN representa una reducción de emisiones de 2.638,70 t CO<sub>2</sub>eq/año.



En el sistema de producción actual de cacao, el principal gasto de combustible es generado por el uso de la guadaña en labores de limpieza del terreno y deshierbe. En el MdN, el consumo de combustible se incrementó con la implementación del sistema de riego por goteo, el cual es implementado a 20 agricultores que ocupan el 78% del área total intervenida (114,8 ha). El sistema de riego involucró el consumo de 0,5 gal/día durante 5 meses (meses de menor lluvia), lo que genera un incremento de 64,25 t CO<sub>2</sub>eq/año en el MdN.

La instalación de un sistema agroforestal en el cultivo de cacao permite incrementar las reservas de carbono en 7,43 t CO<sub>2</sub>eq/ha/año. Mientras que la intervención en las 148 ha implica un incremento de 1.099,76 t CO<sub>2</sub>eq/año.

Se evidencia que la implementación del MdN permite compensar las emisiones generadas por el cultivo de cacao e incluso convertir al sistema en un sumidero de carbono al almacenar 1,74 t CO<sub>2</sub>eq/ha/año o 257,24 t CO<sub>2</sub>eq/año al considerarse las 148 ha intervenidas por el modelo.

Cuando se considera el incremento del rendimiento de cacao por la implementación del sistema de riego y se expresan las emisiones en unidades de kg de cacao seco, no se logra compensar el impacto del alto consumo de combustible del sistema de riego. Se estima que para igualar las emisiones de línea base, el rendimiento tendría que multiplicarse por 2,7. En consecuencia, bajo las condiciones expuestas, la implementación del sistema de riego por goteo no constituye una práctica de mitigación de emisiones a nivel de producto.

## 6. Referencias

- Alvarado JR; da Veiga JB; de Santana AC. 2008. Quantificação do carbono em sistemas de uso-da-terra no Distrito de José Crespo E Castillo, Peru. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 16(3):139–152.
- Callo-Concha D; Krishnamurthy L; Alegre J. 2002. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 8(2): 101–106.
- Campos-Vega R; Nieto-Figueroa KH; Oomah BD. 2018. Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: renewable source of bioactive compounds. Trends Food Sci Technol 81:172–184. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>
- 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. 133p.
- Díaz P; Fachin G; Tello C; Arevalo L. 2016. Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable (RINDERESU) 1(2):57–67.
- ECOINVENT. Database. Version 3.3 2016. Disponible en: <http://www.ecoinvent.org/database/>
- Feuz D; Sckold M. 1990. Typical farm theory agricultural research. Department of Economics Staff Paper Series. 22 p. Recuperado de: <https://bit.ly/3FCzPsA>
- Flores Y. 2021. Modelos alométricos para estimar la biomasa aérea en plantaciones forestales con especies nativas en Selva Baja-Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Comunicación directa.
- GCF Task Force. 2019. Atacando la deforestación por commodities: es hora de ponerse aburridos. Recuperado de: <https://bit.ly/39aUPdR>
- Hartemink AE. 2003. Soil fertility decline in the tropics: with case studies on plantations. CABI. 384 p.
- Jacobi J; Schneider M; Bottazzi P; Pillco M; Calizaya P; Rist S. 2013. Agroecosystem resilience and farmers' perceptions of climate change impacts on cocoa farms in Alto Beni, Bolivia. Renewable Agriculture and Food Systems 30(2):170–183. <https://doi.org/10.1017/S174217051300029X>
- Hougni D; Schut A; Woittiez L; Vanlauwe B; Giller K. 2021. How nutrient rich are decaying cocoa pod husks? The kinetics of nutrient leaching. Plant Soil 463:155–170. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04885-1>
- 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/3yWJP5d>
- 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/3w7mx44>



- 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 SK; 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://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- 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/39Ohxsx>
- IPCC. 2015. Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://bit.ly/3l52cq6>
- IPCC. 2019. The 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Recuperado de: <https://bit.ly/37BnWqe>
- 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>
- Khanahmadi S; Yusof F; Chyuan Ong H; Amid A; Shah H. 2016. Cocoa pod husk: a new source of CLEA-lipase for preparation of low-cost biodiesel: an optimized process. J Biotechnol 231:95–105. <https://bit.ly/3yuAgni>
- 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.
- Mansur D; Tago T; Masuda T; Abimanyu H. 2014. Conversion of cacao pod husks by pyrolysis and catalytic reaction to produce useful chemicals. Biomass Bioenergy 66:275–285. <https://bit.ly/3lzi6Br>
- 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. 155 p.
- Marín M; Andrade H; Sandoval A. 2016. Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. Revista U.D.C.A. actualidad y divulgación científica 19(2):351-360.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016a. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero con año base 2016. MINAM. Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016b. Guía No. 1: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero–Sector Energía. Recuperado de: <https://bit.ly/3sv2Ot8>
- 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.
- Nair PKR; Nair VD; Kumar, B M; Haile SG. 2009. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. Environmental Science and Policy 12(8): 1099–1111. Recuperado de: <https://bit.ly/3MntP9X>
- Ortiz O; Villamizar R; Naranjo C; Garcia R. 2016. Carbon Footprint of the Colombian Cocoa Production. Engenharia Agrícola 36(2):260–270
- Pocomucha V; Alegre J; Abregú L. 2016. Socioeconomic analysis and carbon stock in agroforestry systems with cocoa (*Theobroma cacao* L.) Ecología Aplicada 15(2).
- Ramírez C; Panduro G; Miranda E. 2014. Captura de carbono en un sistema agroforestal con *Theobroma cacao* en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú. Tzhoecoen 6(2):165–180.
- Schneider M; Andres C; Trujillo G; Alcon F; Amurrio P; Perez E; Weibel F; Milz J. 2016. Cacao and total system yield of organic and conventional agroforestry vs. monoculture systems in a long-term field trial in Bolivia. Experimental Agriculture 53(3):351–374. Recuperado de: <https://bit.ly/3wh3Mdw>
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2020. Deforestación y degradación. Disponible en: <https://bit.ly/3MePxgg>
- UNODC & DEVIDA (Oficina de las Naciones Unidas Contra las Drogas y el Delito & Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas). 2014. Paquete tecnológico del cultivo del cacao fino de aroma. <https://bit.ly/384jNeS>
- Valenzuela L; Vásquez R; Rojas R; Villalba MI; Phillips O; López G; Chama V; Monteagudo A; Bellota D; Huillaca Y; Pallqui N. 2015. 2015. Línea base para el monitoreo de la vegetación en la Reserva Comunal El Sira (RCS). Arnaldoa 22(1):243–268.
- WRI (World Resources Institute). 2008. GHG Protocol tool for mobile combustion. Version 2.2. Disponible en: <https://bit.ly/3w7n4TC>
- Zavala W; Merino E; Peláez P. 2018. Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. Scientia Agropecuaria 9(4):493–501.







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 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](http://www.cgiar.org)